

# DEUX APPROCHES POUR MODIFIER LES ACTIVITÉS DE RÉOLUTION DE PROBLÈMES EN PHYSIQUE DANS L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE : UNE TENTATIVE DE SYNTHÈSE

Andrée DUMAS-CARRÉ,  
Michel CAILLOT,  
Joaquin MARTINEZ TORREGROSSA,  
Daniel GIL

*Dans cet article nous présentons un cadre théorique pour analyser les activités de résolution de problèmes "papier crayon" issu de la confrontation des recherches menées par deux équipes (Gil Perez D. et Martinez Torregrossa J. en Espagne et Caillot M. et Dumas-Carré A. en France) dans le domaine de la physique.*

*Le point de départ commun des deux équipes est de considérer que l'échec généralisé des élèves ne peut être imputé seulement (ni principalement) à des caractéristiques ou des lacunes des élèves, mais que la plus grande responsabilité doit être cherchée du côté de la didactique habituelle. Ce qui doit être remis en question de façon prioritaire est la conception même des activités de résolution de problèmes. Cette remise en question de la conception didactique commence par une interrogation sur le concept de problème lui-même. De même, le comportement habituellement retenu comme modèle (celui de l'expert) est remis en question ; le comportement proposé comme modèle est celui du chercheur scientifique.*

## INTRODUCTION

L'enseignement des disciplines scientifiques utilise largement les activités de résolution de problèmes papier/crayon (1) ; Ces activités consomment une grande part du temps d'enseignement soit à titre d'activités d'apprentissage soit pour évaluer les acquisitions des élèves. Après avoir passé autant de temps à résoudre des problèmes on pourrait donc s'attendre à ce que les

1. Nous utilisons l'expression problèmes papier/crayon pour opposer d'une part les problèmes dans lesquels la situation physique à étudier est présentée par un texte écrit, la solution aussi étant écrite et obtenue par application de connaissances déjà acquises et d'autre part les problèmes expérimentaux dans lesquels la situation n'est pas décrite mais existe concrètement, la solution aussi étant expérimentale

rôle des activités  
de résolution de  
problèmes

élèves soient de bons résolveurs. Or il n'en est rien et, à tous les niveaux, lycée aussi bien qu'université, on reconnaît que, en définitive, une très faible proportion d'élèves est capable de performances satisfaisantes, dès lors que le problème à résoudre s'éloigne, si peu que ce soit, de la simple répétition d'un exercice déjà vu. Qu'ont donc appris les élèves au cours de ces heures consacrées aux activités de résolution de problèmes ? Ont-ils appris à résoudre des problèmes, c'est-à-dire une méthodologie, une stratégie qui leur permettrait d'affronter des problèmes nouveaux, d'utiliser des connaissances génériques dans une situation qui ne ressemblerait pas à celles déjà étudiées ? D'après la constatation précédente la réponse est non.

Le but de cet article est de poser un cadre théorique permettant d'analyser cette divergence entre les intentions (amener les élèves à être capables de résoudre des problèmes nouveaux) et les résultats (la majorité des élèves n'est capable que de répéter des solutions connues) puis de présenter, de comparer et de tenter une synthèse entre des enseignements spécifiquement destinés à l'apprentissage de la résolution de problèmes mis au point indépendamment par deux équipes de chercheurs : une équipe espagnole, Gil D. et Martinez Torregrossa J., et une équipe française, Caillot M. et Dumas-Carré A. (ce travail a été fait dans le cadre de la R.C.P. "Résolution de Problèmes en Mathématiques et en Physique" de l'Institut National de Recherche Pédagogique. Les deux équipes ont travaillé au niveau du lycée (élèves de 16 à 19 ans), essentiellement dans le domaine de la mécanique.

types de  
recherches sur la  
résolution de  
problèmes

De très nombreux chercheurs se sont intéressés à ces activités de résolution de problèmes, aussi bien des psychologues que des didacticiens de différentes disciplines. Pour les psychologues, il s'agit souvent d'analyser les processus cognitifs qui composent l'activité de résolution, de mettre en évidence des processus de base indépendants et leur articulation, ou de différencier des stratégies - Newel A. and Simon H.A. (1972) ; Simon H.A. (1975) ; Langley P. (1985). Les tâches utilisées pour ces études sont très souvent des devinettes sans contenu conceptuel spécialisé (la tour de Hanoï ou les missionnaires et les cannibales par exemple). Les travaux des didacticiens (ou des psychologues s'intéressant à une discipline spécifique) se développent dans deux directions. D'une part, comme les travaux précédents, ils s'intéressent à l'analyse des processus composants et des stratégies et utilisent souvent le paradigme de comparaison experts/novices - Shaw J.S. (1983) ; Anderson J.R. et al. (1981) ; Lester F.K. (1983) ; Lesh R., Landau M. (1983) ; Kilpatrick J. (1982) ; Reif F. (1983) ; Larkin J.H. (1981) ; Chi M.T.H. et al. (1981) ; Gorodetsky M., Hoz R. (1986) ; Johnstone A.H., Kellett N.C. (1980) ; Mandell A. (1980) ; Heath P.A. et al. (1987). Ceci conduit à des modèles de résolution de problèmes ; ces modèles formalisent le comportement de résolution d'une catégorie d'individus.

D'autre part, de nombreux travaux proposent des modèles d'enseignement/apprentissage destinés plus ou moins explicitement à modifier l'enseignement actuel. Ils ont été opérationnalisés et expérimentés à des degrés divers : Reif F. (1983) ; Mettes C.T.C.W. et al. (1981 et 1982) ; Polya G. (1975) ; Tobin K. (1985) ; Baird J.R. (1986) ; Caillot M., Dumas-Carré A. (1987) ; Gil D., Martinez Torregrossa J. (1983)...

Les plus prescriptifs fournissent des guides de résolution c'est-à-dire décomposent l'activité en pas successifs, et, pour chaque pas énoncent des consignes d'action à exécuter ; la limite d'une telle démarche serait un algorithme de résolution.

A l'opposé, un modèle d'orientation ne donne pas de consignes, ne décompose pas l'ensemble de l'activité en pas élémentaires, il repose sur un ensemble de situations qui mettent les élèves dans l'obligation d'avoir le comportement que l'on veut développer chez eux.

D'autres travaux se situent entre ces deux pôles ; ils proposent des instruments d'analyse qui aident et guident les élèves mais qui sont seulement à disposition sans être intégrés dans des guidages algorithmiques.

La critique que l'on peut faire à nombre de ces travaux est le manque de fondement théorique ; en effet beaucoup de ces propositions s'appuient sur l'expérience en tant qu'enseignant (la connaissance et l'analyse de certaines des difficultés des élèves) ou sur des intuitions. Ceci conduit à des améliorations souvent efficaces (comme le prouvent les résultats publiés) mais partielles.

Mettre en place un modèle susceptible de modifier la pratique habituelle des activités de résolution de problèmes comporte trois volets : définir les caractéristiques de ce que l'on appelle des "problèmes", définir les composantes cognitives de l'activité de résolution de problèmes, enfin proposer des matériels pédagogiques. Un fondement théorique complet est indispensable pour créer un tel modèle d'orientation.

Dans un premier paragraphe nous exposerons les bases théoriques sur lesquelles nous nous appuyons ; ensuite nous développerons notre conception de la situation problème et de l'activité de résolution ; dans le troisième paragraphe nous ferons une analyse critique de la pratique actuelle (pratiques très semblables en Espagne et en France) à la lumière de ces conceptions et pour finir, dans le quatrième paragraphe nous présenterons certaines de nos réalisations pratiques, sans détailler les résultats obtenus qui ont déjà été publiés ailleurs - Gil D., Martinez Torregrossa J. (1983), (1984) et (1987), Martinez Torregrossa J. (1987) ; Caillot M., Dumas-Carré A. (1985) et (1987) ; Dumas-Carré A. (1987) ; Dumas-Carré A., Caillot M. (1987).

différents  
modèles  
d'enseignement/  
apprentissage de  
la résolution de  
problèmes

## I. FONDEMENT THÉORIQUE

où chercher les origines du comportement de résolution habituel des élèves ?

Le point commun de départ des deux équipes est de considérer que le comportement de résolution constaté chez la majorité des élèves ne peut être imputé seulement à des caractéristiques des élèves (ce que supposent implicitement les recherches de type experts/novices) mais que la plus grande responsabilité doit être recherchée du côté de la didactique habituelle : ce qui doit être remis en question de façon prioritaire est la conception même des activités de résolution de problèmes. Cette remise en question de la conception didactique commence par une interrogation sur le concept de problème lui-même et débouche sur une redéfinition complète des activités de résolution.

La pratique actuelle (enseignement expositif puis activités de résolution de problèmes applicatives) repose sur une théorie de l'enseignement/apprentissage de type transmission/réception de connaissances toutes élaborées. Les mauvaises performances des élèves en tant que résolveurs de problèmes de physique prouvent que cette approche n'est pas satisfaisante.

une théorie émergente de l'apprentissage des sciences

Une théorie de l'apprentissage émergeant à l'heure actuelle est celle du constructivisme. Les connaissances ne se transmettent pas toutes élaborées. Chaque apprenant construit ses propres connaissances au travers des situations qu'il expérimente - Novak J.D. (1987) et (1988), Driver R., Oldham V. (1986). Cette idée de construction des connaissances est associée à la vision de l'apprentissage des sciences comme un changement conceptuel à partir des préconceptions et des savoirs préalables acquis - Posner G.J. et al. (1982) et, plus encore, comme un changement conceptuel et **méthodologique** qui tient compte aussi de la méthodologie spontanée des élèves - Gil D., Carroscia J. (1985) ; Hashweh M.Z. (1986). Si les activités de résolution de problèmes doivent servir à l'apprentissage, il faudra qu'elles soient l'occasion et le moyen d'un tel changement conceptuel et méthodologique. Il faudra que la résolution de problèmes permette aux préconceptions d'être exprimées pour susciter des conflits cognitifs.

spécificités de la discipline

Puisqu'il s'agit de physique, les spécificités de cette discipline, son épistémologie propre, ne devront pas être oubliées. Une des caractéristiques essentielles de la physique est qu'il s'agit d'un domaine conceptuel très structuré. Un petit nombre de principes (souvent des principes de conservation) régit le comportement des dispositifs artificiels ou des phénomènes naturels. Chacun de ces principes requiert, pour être valide, que certaines conditions soient satisfaites, ce qui correspond à une infinité de situations physiques particulières. Par addition de conditions supplémentaires ces grands principes généraux (peu nombreux) se spécifient en de nombreuses lois locales, chacune étant valide dans un sous-ensemble de situations physiques. Avoir compris la physique c'est non seulement connaître des lois locales, en connaître les conditions de

validité, mais aussi avoir construit cette structure, avoir établi ces relations hiérarchiques d'inclusion et de généralité. Pour que les activités de résolution de problèmes soient un moyen d'apprentissage il ne suffira donc pas de faire pratiquer des lois locales il faudra surtout que, d'une façon ou d'une autre, cette structure soit présente.

la résolution de problèmes : "mise en scène" des concepts et des principes

Résoudre un problème consiste donc à utiliser des concepts, des principes ou des lois génériques dans une situation particulière, en tenant compte des spécificités de la situation étudiée. C'est donc l'occasion de donner du sens à ces concepts et principes généraux. C'est au travers de leur "mise en scène" dans des cas particuliers que concepts et principes ont une chance de devenir opérationnels, de ne plus être seulement des définitions ou des relations symboliques. C'est en ce sens que les activités de résolution de problèmes peuvent être un des moyens privilégiés de l'apprentissage conceptuel. Larkin J. (1979) insiste aussi sur ce point.

En résumé, les éléments théoriques dont nous devons tenir compte dans l'élaboration d'un modèle de résolution de problèmes sont les suivants :

- l'apprenant construit ses propres connaissances ; l'apprentissage de la physique passe par un changement conceptuel mais aussi par un changement méthodologique,
- apprendre de la physique ce n'est pas seulement apprendre des concepts et des lois c'est aussi apprendre à s'en servir, à les utiliser correctement et consciemment pour traiter des situations particulières.

A la lumière de cette base théorique nous allons maintenant préciser les caractéristiques du problèmes et de la résolution pour que ces activités puissent jouer leur rôle de moyen privilégié d'apprentissage de la physique. Ceci sera l'occasion aussi d'approfondir le fondement théorique que nous venons d'esquisser.

## 2. NOS CONCEPTIONS

### 2.1. Notre conception du problème

Comme l'a montré Prendergast W.F. (1986) la terminologie employée dans ce domaine de recherches demanderait à être clarifiée et unifiée, les différents chercheurs employant les mêmes mots souvent avec des significations différentes. Toutefois sur le concept de "problème" lui-même un accord existe. La définition de Krulik S., Rudnik K. (1980) résume bien ce consensus : *un problème est une situation, quantitative ou non, qui demande une solution, et pour laquelle les individus concernés ne connaissent pas de moyens ou de chemin évident pour obtenir la solution.*

qu'est-ce qu'un problème ?

Un problème est donc une situation ambiguë où, au départ, on ne sait pas ce que l'on va faire et quel chemin on va prendre. Sans difficultés et sans ambiguïté il n'y a pas de problème. Mais l'existence de difficultés ou d'ambiguïtés n'est pas une caractéristique intrinsèque de la situation ; c'est une caractéristique de l'interaction entre la situation et le résolveur. Un problème n'est donc pas un objet ayant une existence autonome, c'est l'interaction entre une situation et un individu à un moment donné. Une même situation peut être un problème pour un individu et ne pas l'être pour un autre. Décider que telle situation est un problème pour tel individu à un moment donné c'est faire (consciemment ou non) une hypothèse sur l'état de connaissance de l'individu concerné (son passé, les expériences qu'il a eues, les situations qu'il a déjà rencontrées et ce qu'il en a tiré, ce qu'il a construit à partir de ces expériences et stocké dans sa mémoire). Les implications de ces remarques sont nombreuses et importantes pour ce qui concerne l'enseignement.

modèle d'action :  
le chercheur  
scientifique

Si on accepte l'idée que faire face à un problème c'est être dans une situation où l'on est perdu, où l'on ne **sait** pas ce que l'on doit faire, le modèle de l'expert (qui, lui, sait) ne peut pas être très utile. Une situation beaucoup plus semblable est celle du chercheur scientifique qui, lui aussi, est face à un vrai problème et ne **sait** pas, dès le départ, comment arriver à la réponse, pire, ne sait même pas s'il existe une réponse. Au lieu d'utiliser comme modèle d'action le comportement de l'expert résolvant les mêmes problèmes que ceux proposés aux élèves et qui, répétons-le, ne sont pas des problèmes pour lui, nous allons retenir comme modèle le comportement du chercheur. C'est donc la méthode scientifique ou la démarche scientifique qui servira de base à notre analyse. Ces termes n'ont pas de définition claire et univoque, certains auteurs Feyerabend P.K. (1979) contestent même l'idée de méthode. Toutefois, la démarche ou l'approche scientifique d'un problème de recherche présente certaines caractéristiques incontournables sur lesquelles les épistémologues sont en accord :

quelques  
caractéristiques  
de la démarche  
scientifique

- l'aspect ambigu des vrais problèmes : le fait qu'ils ne sont pas, au départ, clairement formulés et modélisés, que la clarification du but et la modélisation (pour l'inscrire, dans un cadre théorique connu) sont à faire ;
- l'aspect hypothétique, incertain, sujet à remise en question continue de tout travail de recherche ;
- comme conséquence des deux points précédents, le fait qu'on ne se trouve pas, au départ, avec des données à traiter ; ces données, il faut les construire à partir de la modélisation faite et dans le cadre des hypothèses retenues ;
- la nécessité de ne pas accepter un résultat sans confrontation avec, d'une part, les hypothèses de départ et, d'autre part, le corpus des connaissances déjà acquises.

Cette image imprécise, floue, de la démarche scientifique, où rien ne garantit que l'on arrivera au résultat est loin d'une démarche algorithmique. Notre hypothèse est que ce peut être

un bon modèle pour orienter les activités de résolution de problèmes pour les élèves.

## 2.2. Une nouvelle conception de l'activité de résolution de problèmes

Nous venons de donner quelques arguments pour justifier notre conception de la résolution de problèmes comme une activité ayant des points communs avec celles de recherche. Nous allons maintenant traduire en termes d'activités de résolution de problèmes les caractéristiques et les composantes de la démarche de recherche scientifique.

- La reconnaissance de l'existence d'un problème

Pour qu'il y ait activité de résolution de problèmes (au sens que nous donnons), la première condition à satisfaire est que le résolveur ait conscience du fait qu'il existe un problème. Ceci implique que l'individu concerné ait conscience d'un but à atteindre même si ce but est très vague et, à cet instant, très mal formulé. Cette condition n'est pas toujours satisfaite dans l'enseignement comme nous le développerons dans le paragraphe 3.

La définition du but, sa clarification, éventuellement sa traduction en termes de grandeur physique ou dans un autre langage symbolique est un des éléments clef de l'activité de résolution de problèmes - Birch W. (1986). Cette clarification du but n'est pas une composante autonome, indépendante, elle se fait en parallèle et en interaction avec l'analyse de la situation physique que nous allons développer maintenant.

- La compréhension-représentation qualitative du problème en interaction avec la simplification et la modélisation de la situation

Les nombreux travaux comparant les comportements de résolution des experts et des novices ont montré qu'une différence essentielle concerne cette analyse de la situation ; les experts élaborent, plus ou moins explicitement, une représentation **globale qualitative intégrée** de la situation problème en mettant en œuvre des connaissances compilées - Anderson et al. (1981). Les novices ne constituent au mieux que des îlots de représentation non connectés - Larkin J. (1979) ; Reif F. (1983). Pour nous aussi, cette analyse, cette élaboration d'une représentation du problème est le premier pas indispensable d'une résolution ; cette représentation du problème est faite à partir des informations descriptives fournies par l'énoncé et guidée par les connaissances génériques que le résolveur possède en mémoire ; c'est une première confrontation entre le cas particulier du problème et des connaissances génériques. Mais pour être efficace et utile la représentation ainsi construite doit satisfaire les critères suivants :

la question et le but du problème

comprendre ce qui se passe

- elle doit être **qualitative**. A. Einstein lui-même insiste sur ce point : *"Aucun scientifique ne pense avec des formules. Avant que le physicien commence à calculer il doit avoir dans son cerveau le cours de son raisonnement. Ces derniers, dans la plupart des cas, peuvent être exposés avec des mots simples. Les calculs et les formules viennent après."*

Cet aspect qualitatif repousse à plus tard la prise en compte des données et disqualifie les méthodes ou stratégies qui recommandent de commencer par une analyse des données ou de faire une première lecture de l'énoncé en y extrayant les données. Ce type de stratégie est souvent conseillée par les enseignants. Le comportement spontané le plus fréquemment rencontré chez les élèves est de tenter tout de suite de combiner les données même dans le cas où l'énoncé fournit des données non pertinentes - Selvaratman M. (1974).

- c'est une vue **large, globale** de l'ensemble de la situation ; on ne décide pas encore, à ce stade, de ce qui est pertinent ou ne l'est pas. C'est à cette étape que, si l'énoncé ne modélise pas totalement la situation, les premiers choix sont faits, les premières décisions sont prises, pour inscrire le problème dans un cadre théorique unique (ce qui est indispensable pour pouvoir résoudre). Dans le cas (le plus fréquent actuellement) où la modélisation est totalement faite par l'énoncé, où il n'y a pas de telles décisions à prendre, le résolveur doit accomplir quand même un travail du même ordre : il doit identifier, reconnaître, cette modélisation ces simplifications imposées par l'énoncé. Le fait que l'énoncé les exprime (même clairement et complètement) n'est pas toujours suffisant pour que les élèves en soient conscients.

Cette élaboration d'une représentation globale qualitative est une activité à la fois de prise de conscience, de compréhension mais aussi d'organisation. Ce passage, pour l'élève, d'une description écrite à la représentation mentale d'un événement ne peut se faire que par une certaine organisation et une mise en relation des informations.

Notre position à propos de l'apprentissage est que, pour cette étape cruciale et difficile de la résolution, il est possible d'enseigner, de fournir des aides cognitives. Nous y reviendrons au paragraphe 4.

#### • Les hypothèses

Une des étapes fondamentales d'une activité de recherche est l'émission d'hypothèses et les choix de traitement qui en découlent. Pour inscrire les activités de résolution de problèmes comme activités de recherche cette étape doit nécessairement figurer dans la résolution. De quelles hypothèses peut-il s'agir dans une situation non expérimentale ? Ce sont des hypothèses à propos des paramètres qui vont avoir une influence sur le phénomène étudié. Un pas supplémentaire consiste à émettre des hypothèses sur la nature de cette

la représentation  
globale et  
qualitative

quels paramètres  
jouent et  
comment ?

influence. Pour cela il faut envisager des cas limites et analyser des sens de variation. De plus cette étape est l'occasion privilégiée pour que les préconceptions soient exprimées (par exemple, dans un problème de chute libre dans le vide, très souvent, la masse du corps est proposée comme grandeur ayant une influence sur le temps de chute). Cette expression des préconceptions permet de les expliciter mieux, d'en tirer les conséquences, de les confronter entre élèves, et, enfin, de les mettre en conflit avec le corpus de connaissances déjà acquises.

- Les choix, les chemins de résolutions alternatifs

quel chemin  
prendre ?

Dans une activité de recherche la sélection d'un jeu d'hypothèses est suivie par des **choix** que nous qualifierons de stratégiques. Il s'agit, par exemple, de choisir le dispositif expérimental et la méthode qui permettront de valider l'hypothèse faite à propos de l'influence de tel ou tel paramètre. L'élève résolvant un problème par écrit, les choix ne sont pas de même nature mais ils existent. Il aura à sélectionner, parmi tous les principes et lois qu'il connaît, celui qu'il va utiliser dans la situation particulière traitée. Bien sûr, il s'agit d'une identification plutôt que d'un choix, c'est à partir de ce qu'il sait de chacun des principes et de leurs conditions de validité qu'il fera sa sélection. Mais il en est de même pour le chercheur : c'est tout ce qu'il connaît déjà qui guide et oriente ses choix. Éventuellement, si plusieurs principes sont applicables à la situation étudiée, l'élève aura, de plus, un vrai choix à accomplir. Ceci ne peut être fait que si l'élève a envisagé les différents chemins alternatifs possibles (sans nécessairement les construire et les poursuivre jusqu'au bout). Cet aspect là aussi est un des éléments fondamentaux d'une attitude de recherche. Nous avons qualifié ces choix de **stratégiques** ce mot se justifie doublement. En effet, d'une part faire un choix impose une stratégie pour la suite et, d'autre part, c'est l'analyse prospective des stratégies possibles qui guide les choix.

- La résolution littérale, la résolution numérique

Dans notre conception, la résolution formelle doit être menée jusqu'au bout sous forme littérale, ce n'est qu'une fois le résultat final obtenu sous forme littérale symbolique que les données, les valeurs numériques, sont introduites et que le résultat spécifique du problème est produit. Cette position (totalement en accord avec la pratique habituelle) se justifie d'un point de vue théorique. Un problème repose toujours sur une situation physique particulière, spécifiée, caractérisée par des valeurs des grandeurs physiques. En fait le but des activités de résolution de problèmes, en classe, n'est pas d'obtenir le résultat numérique correspondant à la situation particulière présentée. La situation étudiée n'a d'intérêt qu'à titre d'exemple d'une classe de situations et c'est la méthode de résolution qui importe et non le résultat. Pour que les résolutions de tels

problèmes jouent réellement ce rôle d'exemple, de mise en scène, de concrétisation du général il est indispensable que la résolution soit menée jusqu'au bout au niveau symbolique, les grandeurs physiques y ayant statut de variables ou de paramètres et non pas de simples valeurs numériques. De même, un travail de recherche n'a pas, en général, pour but de produire des valeurs numériques. De même, un travail de recherche n'a pas, en général, pour but de produire des valeurs numériques mais d'établir des relations entre paramètres.

- L'analyse critique du résultat, les vérifications

L'obtention d'un résultat n'est pas la dernière étape d'un travail de recherche. Il reste à critiquer ce résultat, en le confrontant avec les conséquences déduites des hypothèses faites précédemment, en le confrontant aussi avec le corpus des connaissances déjà établies, reconnues par la communauté scientifique. Si cette double confrontation fait apparaître des contradictions alors commence une boucle de remise en question. S'il existait des hypothèses ou des choix alternatifs, négligés dans un premier temps, ils sont alors pris comme nouveau départ. Sinon la boucle remonte jusqu'à l'analyse de la situation et/ou la définition de la question de recherche, pour les compléter et les affiner afin d'être à même de générer de nouvelles hypothèses ou de nouveaux choix.

un résultat doit être vérifié

Il en est de même pour un étudiant résolvant un problème ; il suffit de changer les expressions "connaissances déjà établies et reconnues par la communauté scientifique" par "connaissances que l'étudiant a déjà construites" et "l'analyse de la situation et/ou la définition de la question de recherche" par "la représentation du problème et la clarification du but".

D'autres chercheurs ont insisté sur cette nécessité d'analyse du résultat obtenu et de confrontation avec les connaissances déjà acquises. Reif F. (1983) parle de vérification interne (cohérence, logique du raisonnement) et de vérification externe (confrontation au déjà connu) ; Mettes C.T.C.W. et al. (1981) et (1982) insistent aussi sur l'importance de cette dernière phase.

Nous pensons que cette idée de vérification ne doit pas être réservée à la fin, ne doit pas concerner seulement le résultat final ; c'est tout au long du processus de résolution que des vérifications doivent être faites. Tout, à tout moment, doit être questionné et est susceptible d'être modifié ou abandonné.

Nous venons de donner, en détail, en relation avec la base théorique choisie, notre conception de ce que doivent être des activités de résolution de problèmes. Nous allons maintenant décrire, dans cet éclairage, la pratique actuelle dominante de ces activités dans les classes du secondaire.

### 3. LA PRATIQUE ACTUELLE

Pour analyser cette pratique nous allons séparer deux aspects : les tâches elles-mêmes et ce que l'on en fait, la façon dont elles sont exploitées.

#### 3.1. A propos des énoncés utilisés

- Pour les professeurs

Les "problèmes" que les enseignants donnent à leurs élèves ne sont jamais des problèmes pour eux-mêmes. En effet, ils connaissent et le résultat et le moyen, la route à suivre, pour y arriver. A première vue, ceci n'a pas d'importance à condition que les élèves, eux, soient face à un vrai problème ! En fait, cette non-problématicité, pour les enseignants, influence leur façon d'animer les activités de résolution de problèmes, les points sur lesquels ils insistent et ceux qu'ils passent sous silence. De plus, lorsqu'ils choisissent un énoncé, parmi les critères qui guident ce choix, ne figure pas celui de savoir si, pour les élèves concernés, au moment concerné, il s'agit d'un vrai problème ou simplement d'une tâche de répétition de procédures connues.

- Pour les élèves

Comme nous l'avons déjà dit, une même situation n'est pas également problématique pour tout le monde. Définir un "seuil de problématicité" (Elshout, J.J. (1985) ) pour les élèves d'une classe n'est ni immédiat ni évident, puisqu'il faut faire une hypothèse sur les acquis des élèves (aussi bien conceptuels que de procédures). Ce n'est que par une analyse fine du passé de la classe (les situations déjà rencontrées, les problèmes déjà résolus, et la manière dont ces résolutions ont été faites) et une hypothèse sur ce que les élèves ont construit que ce seuil de problématicité peut être déterminé (de plus l'hypothèse d'une certaine homogénéité est inévitable si l'on raisonne en terme de classe). Les énoncés classiques de manuels peuvent tout à fait être des situations problématiques pour les élèves. Ce n'est pas parce qu'ils ont perdu toute problématicité pour les professeurs qu'ils sont disqualifiés en tant que problèmes pour des élèves débutants ! Cette différence de problématicité d'une même situation pour les élèves et pour leur maître est génératrice de nombreuses incompréhensions : les élèves ne résolvent pas comme le maître l'attend : le maître, lorsqu'il corrige ne fournit pas les informations qui seraient utiles et nécessaires aux élèves pour comprendre et progresser.

- A propos des situations physiques support

Une analyse des situations physiques utilisées dans les énoncés de problèmes qui existent dans les manuels et dans les

les énoncés  
habituellement  
utilisés sont-ils de  
vrais problèmes ?

recueils d'exercices ou annales montre que certaines situations sont privilégiées (Dumas-Carré A, 1987) : elles sont présentes dans tous les manuels et très souvent dans les sujets d'examen, d'autres sont fréquentes enfin d'autres sont absentes, alors même que la définition stricte des programmes les autoriserait. Si l'on considère que les énoncés de problèmes présents dans les manuels et les annales sont une définition implicite de ce qui doit être fait en classe on en déduit que : l'étude de certaines situations est obligatoire (les situations privilégiées) certaines sont recommandées (les situations fréquentes), enfin certaines sont exclues (les situations absentes des problèmes de manuels).

### 3.2. Les activités de résolution de problèmes

La pratique habituelle consiste à laisser les élèves résoudre seuls en fournissant éventuellement les informations qu'ils demandent (généralement des informations de type factuel ou conceptuel, rarement de type procédural, exceptionnellement de type stratégique) et à exposer, ensuite, une solution reconstruite. Des critères généraux de ce que doit être une bonne rédaction sont souvent rappelés : par exemple "précisez le système que vous étudiez" ou bien "faites une résolution littérale complète d'abord".

N'exposer que la solution reconstruite a posteriori conduit à passer sous silence la majeure partie de ce qui, dans la résolution de problèmes, est de l'ordre de l'activité de recherche ; c'est présenter un chemin sûr, sans hésitations, sans erreurs ; c'est donc déproblématiser - Garret R. et al. (1988). Ceci est une conséquence du fait que pour les maîtres il ne s'agit pas d'un problème (ils savent !). Ce qu'ils exposent aux élèves a perdu toute ambiguïté, tout caractère hypothétique pour être transformé en une situation claire, fermée, dans laquelle on va directement et sans difficulté (autre que d'ordre mathématique) des données au résultat.

On peut noter que, dans la solution exposée, ne figurent pas l'analyse et la clarification du but, dès le départ ce but est considéré comme évident. Ceci traduit, de la part des enseignants, la conception suivante : la présence d'une question dans l'énoncé est suffisante pour que les élèves aient conscience d'un but à atteindre ; de plus, elle est suffisante pour que ce but soit clair et bien défini. Or les analyses de protocoles de résolution d'élèves prouvent que souvent ce n'est pas le cas ! Souvent les élèves font des choses (écrivent des équations, combinent des valeurs de grandeurs physiques, énoncent des lois...) sans donner l'impression qu'ils ont conscience d'un but à atteindre. De fait, dans ces cas, les élèves ne savent pas ce qu'ils cherchent ni pourquoi ils alignent des éléments de raisonnement ou des parties de démonstration. Une autre erreur fréquente des élèves consiste à inclure dans les prémisses de leur raisonnement, dès le départ, ce qui doit être démontré obtenu comme but (erreur bien connue aussi des

la pratique  
actuelle :  
déproblématiser  
plutôt  
qu'apprendre à  
résoudre

professeurs de mathématiques). Ce type d'erreur peut aussi être relié à l'absence de définition du but ; dans ce cas, le but a été compris en tant que connaissance de physique mais n'a pas pris son statut de but.

Dans l'exposé d'une solution reconstruite ne figure pas, non plus, l'aspect hypothétique, tentatif qui est au cœur de la résolution. La solution est un chemin sûr, éprouvé, débarrassé de tout doute, de toutes erreurs. De plus, cette solution reconstruite est exposée pas à pas depuis le début jusqu'au résultat, ce qui empêche toute vision globale du chemin de résolution, toute approche stratégique. Cette façon de faire n'apprend rien aux élèves quant aux méthodes de résolution, de plus, elle donne une image fautive de ce qu'est un travail scientifique.

le corrigé : sans  
erreur, sans  
impasse, sans  
hésitation !

### 3.3. Une interprétation de cet état de faits

Si l'on ajoute à cette pratique d'exposition de la solution reconstruite le fait que, pendant la phase d'apprentissage, le maître fait résoudre aux élèves un grand nombre de problèmes utilisant la même procédure de résolution (on peut parler de problèmes isomorphes) on peut interpréter ceci comme révélateur de l'objectif suivant : faire construire aux élèves des **problèmes modèles** qui serviront de **guide d'action** pour résoudre des problèmes appartenant à la même classe. Alors les problèmes privilégiés sont ceux qui serviront de modèle et les problèmes exclus ceux qui ne rentrent pas dans le cadre des modèles enseignés.

Si l'on accepte cette interprétation de la pratique habituelle, il en découle que la stratégie implicitement véhiculée par les activités de résolution de problèmes est une stratégie de résolution par analogie. Cette résolution par analogie présuppose l'existence de **catégories de problèmes**. En effet un modèle de résolution n'a sens que si son utilisateur a délimité ses conditions d'utilisation, s'il connaît les caractéristiques des problèmes justiciables de ce type de résolution ou autrement dit, s'il a construit la catégorie correspondante. La théorie sous-jacente à la pratique actuelle peut donc être interprétée comme suit : les activités de résolution de problèmes ont pour but, en même temps, d'apprendre des procédures-modèles de résolution et de construire les catégories de problèmes correspondantes. Ensuite les élèves résoudront des problèmes nouveaux (mais, en fait, appartenant à une catégorie connue) par analogie.

Dans cette interprétation, aucune place n'est faite à l'enseignement de méthodes ou d'heuristiques de recherche. Un enseignement du type décrit ci-dessus, même parfaitement efficace et réussi, ne permet pas aux élèves de construire les outils nécessaires pour résoudre un vrai problème. Au mieux, ils construisent d'une part les outils pour reconnaître un type de situation et d'autre part les procédures de résolution corres-

c'est la résolution  
par analogie qui  
est implicitement  
visée

pondantes. Au pire, ils construisent un catalogue de situations particulières, chacune associée à un raisonnement. Cette pratique, à notre avis, est en grande partie responsable des comportements de résolution des élèves.

### 3.4. Conséquences sur les comportements de résolution des élèves

Quand on analyse les protocoles de résolution des élèves on constate qu'ils résolvent plutôt par reconnaissance que par analogie. C'est-à-dire que, face à un problème nouveau ils essaient de reconnaître quelque chose qu'ils ont déjà fait, afin de simplement dupliquer des résultats connus. Cette reconnaissance peut être correcte ; il peut aussi y avoir fausse reconnaissance ce qui conduit à des réponses erronées. Enfin l'élève peut ne rien reconnaître du tout, ce qui conduit souvent à l'abandon ou à des tentatives de résolution par combinaisons d'équations. Dans tous les cas, l'activité ainsi développée par l'élève, n'a aucun des caractères d'une activité de recherche ; il ne s'agit donc pas, pour nous, d'activités de résolution de problèmes ! Tous les auteurs de modèles de résolution ne partagent pas cette position ainsi Mettes C.T.C.W. et al. (1981) donnent comme consigne dans leur guide de résolution : *"Établir s'il s'agit d'un problème standard, c'est-à-dire un problème qui peut être résolu par de simples opérations de routine ; si ce n'est pas le cas, chercher des relations entre les données et l'inconnue qui permettront de transformer le problème en un problème standard."*

la stratégie la plus fréquente chez les élèves : "reconnaître ou abandonner"

## 4. GUIDAGE ET CHOIX DE SITUATIONS PÉDAGOGIQUES

Nous allons maintenant détailler et mettre en parallèle les deux travaux faits indépendamment en Espagne par Gil D., Martinez Torregrossa J. et en France par Caillot M., Dumas-Carré A. Ces travaux ont en commun :

- d'avoir été expérimentés en réelle situation de classe,
- une pratique habituelle des enseignants très semblable en Espagne et en France,
- un parti pris heuristique loin de toute idée d'algorithme.

Au moment où ces travaux ont été faits, l'analyse théorique commune présentée ci-dessus n'avait pas encore été faite ; les deux travaux ne reflètent donc pas l'ensemble de cette analyse. Mais ces réalisations différentes, loin d'être contradictoires peuvent être complémentaires.

Une des raisons de ces différences est liée aux conditions différentes de réalisation. En Espagne, les chercheurs eux-mêmes animaient les séances de résolution de problèmes (en

conditions de  
deux  
expérimentations

classe avec des élèves ou avec des maîtres en formation) ; de plus l'intervention ne se limitait pas aux activités de résolution de problèmes seulement ; un travail préalable de type discussion et activités expérimentales concrètes avait déjà modifié la conception et la façon d'aborder une situation problème. En France, une équipe composée de deux chercheurs et quatre enseignants de lycée réfléchissait et mettait au point le matériel pédagogique, ensuite les maîtres utilisaient ce matériel dans leurs classes et rapportaient les résultats qui étaient analysés par l'équipe entière. Au départ, l'intervention ne concernait que les séances de résolution de problèmes, l'enseignement préalable n'étant pas remis en question ; de fait, au cours des quatre années qu'a duré cette recherche, les enseignants ont aussi, partiellement, modifié leur cours. Toutefois il ne s'agissait pas d'une remise en question fondamentale mais plutôt de modifications partielles ou d'ajouts. Cette médiation par les enseignants a conduit l'équipe française à une plus grande formalisation des outils mis au point ; pour la même raison l'équipe française a été tenue de moins s'éloigner de la pratique habituelle.

#### **4.1. Pour la représentation globale qualitative (incluant la clarification du but)**

deux solutions  
différentes pour  
conduire les  
élèves à  
commencer par  
"comprendre ce  
qui se passe"

Les deux équipes ont apporté des réponses différentes à la même difficulté : comment obtenir des élèves qu'ils fassent une analyse qualitative physique, qu'ils se construisent une représentation de ce qui se passe avant d'introduire quelque formalisme que ce soit, avant de commencer à jouer avec des équations.

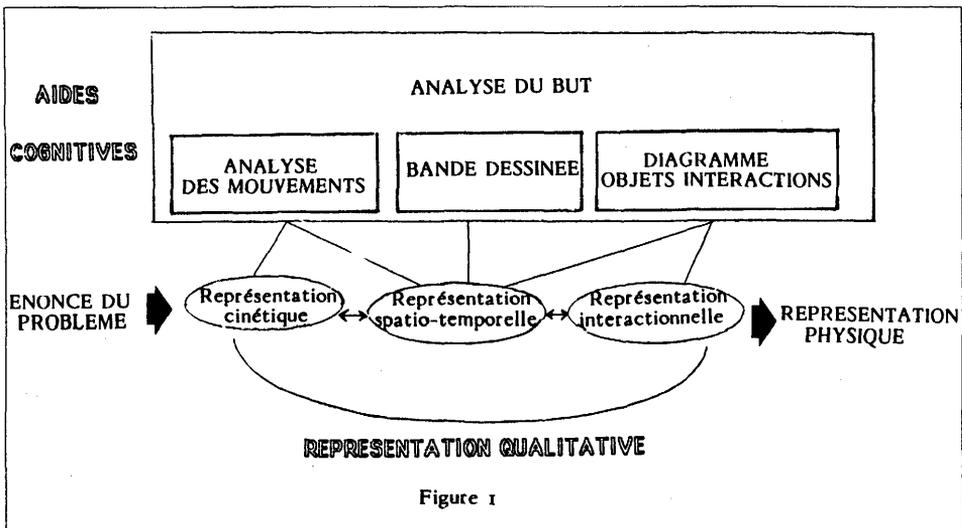
- En France : guidage cognitif de l'élaboration de la représentation

C'est sur ce point qu'a porté l'essentiel du travail de l'équipe française. A ce sujet, la première question à se poser est la suivante : quelles sont les caractéristiques d'une représentation du problème utile à l'élève ? Les élèves, par définition, sont des débutants en physique c'est-à-dire qu'ils ne connaissent pas encore tous les principes (par exemple, en première - niveau auquel se situe l'essentiel du travail de l'équipe française - ils ne connaissent pas encore le principe fondamental de la dynamique, ils n'ont encore rencontré que la statique, le principe de conservation de la quantité de mouvement, le principe de l'inertie et le principe de conservation de l'énergie mécanique). De plus, pour les principes étudiés, les élèves n'ont travaillé que sur certaines classes de problèmes. Leur savoir est donc moins étendu, moins complet que celui des experts ; il est surtout moins compilé (Anderson J. et al., 1981) moins intégré. En conséquence, la représentation du problème utile à l'élève n'est pas exactement semblable à celle faite par les experts. Elle utilise des savoirs plus élémentaires, moins

compilés ; elle se doit d'explicitier au mieux tous les éléments d'information qui y sont inclus et surtout toutes les relations entre ces éléments. L'expert, lui, laisse une grande partie de ces relations implicites ; sa vision étant plus globale, plus intégrante.

A partir de cette analyse l'équipe française a défini des *représentations intermédiaires* et mis au point des *aides cognitives* pour guider l'élaboration de chacune d'elle. Représentation intermédiaire signifie trois choses :

1. elle se situe quelque part entre la description verbale de l'énoncé et la représentation finale formelle en termes de concepts quantitatifs de la physique (voir figure 1).



2. Chacune ne prend en compte qu'un seul aspect de la situation, n'utilise qu'un seul type de grandeur physique.
3. A chaque fois que c'est possible elle est en termes de concepts intermédiaires (par exemple en termes d'interactions qui est un concept semi-quantitatif précurseur du concept de force).

L'élaboration de la représentation ainsi guidée comporte donc deux processus antagonistes et complémentaires : un processus d'analyse, d'éclatement, où l'on n'étudie qu'un seul aspect ; un processus de synthèse qui regroupe, qui relie et articule explicitement ces différents aspects.

Trois représentations intermédiaires ont ainsi été définies :

- La représentation cinétique qui découle de l'analyse des mouvements. On demande aux élèves de repérer les objets en mouvement et ceux au repos ; pour ceux en mouvement de

noter si la vitesse est constante ou non (ceci orientera plus tard le choix du principe). Enfin on leur demande de repérer si certains objets bougent ensemble (soit une prise en compte des contraintes de liaison).

- La représentation spatio-temporelle qui concerne d'une part le découpage temporel, l'analyse du déroulement du phénomène dans le temps, le repérage des instants caractéristiques (ceux pour lesquels "quelque chose" de pertinent change) et des phases (durée comprise entre deux instants caractéristiques) ; d'autre part les configurations correspondantes des objets (mettant en évidence les contacts). Cette représentation spatio-temporelle est concrétisée dans ce que nous avons appelé la *Bande Dessinée* (voir figure 2a).

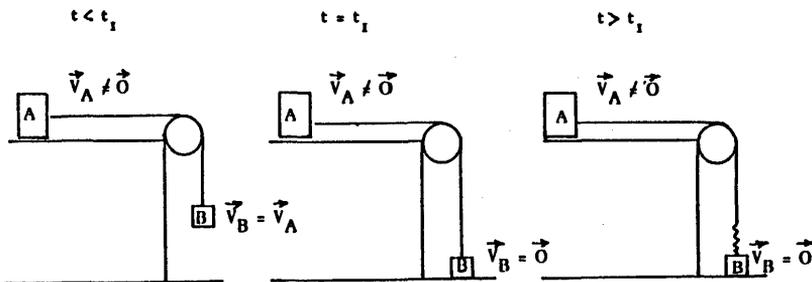
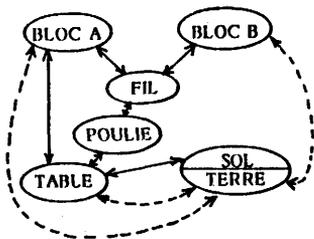


Figure 2 a



Pas de D.O.I. à  $t_1$ .  
Deux interactions changent :  
fil/bloc B disparaît,  
bloc B/sol apparaît.

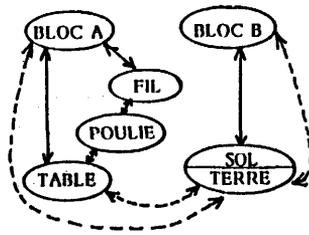


Figure 2 b

Figure 2

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 repose sans frottement sur une table horizontale. Le bloc B 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) A l'instant  $t_1$  le bloc B touche le sol ; déterminer la valeur de l'accélération de A pour  $t_1$ .

- La représentation interactionnelle qui est une nouveauté dans l'enseignement français actuel. Ce qui est analysé ici ce sont les interactions mécaniques qui existent. L'intérêt de raisonner en termes d'interactions est que pour cette analyse il n'est pas nécessaire d'avoir déjà choisi un système (comme c'est le cas pour une analyse en termes de forces). La situation reste globale symétrique, sans que rien n'y soit privilégié. Le choix du système se fera plus tard explicitement et en utilisant cette analyse en interactions. Cette analyse des interactions se concrétise dans ce que nous avons appelé le *Diagramme Objets Interactions* (voir figure 2b).

Aux images de la bande dessinée sont associés les diagrammes objets interactions correspondants ; l'analyse des mouvements ainsi que les informations de l'énoncé (caractéristiques connues des objets tels que les masses par exemple) sont également reportées sur la bande dessinée. Enfin la grandeur cherchée (le but du problème) figure par un point d'interrogation sur l'image concernée de la bande dessinée, relié à l'objet concerné. Ce point d'interrogation est en fait le résultat d'une analyse supplémentaire, élément de l'élaboration de la représentation, qui est l'analyse du but.

Bien évidemment, des boucles sont possibles lors de l'utilisation des aides cognitives guidant l'élaboration des représentations intermédiaires. Des aller et retour entre bande dessinée et diagrammes objets interactions sont fréquents.

La bande dessinée ainsi complétée - figure 2a + 2b - est donc une visualisation qui résume et organise de façon compacte les informations disponibles dans l'énoncé et l'analyse qualitative de la situation. Ce sera le support de la suite de la résolution.

En résumé l'équipe française a fourni aux élèves des aides et des critères pour guider et organiser la mise au point de la représentation du problème. Les problèmes utilisés étaient des problèmes habituels, ceux qu'on trouve dans les manuels. Dans ces problèmes, généralement, la modélisation et les simplifications sont faites. Les choix de modélisation (que l'on pourrait plus classiquement appeler des hypothèses de travail) ne sont pas à la charge de l'élève ; mais l'un des éléments de la construction de la représentation globale qualitative consiste à en devenir conscient, à les prendre en compte. Les aides cognitives, en organisation l'ensemble des informations, aident aussi à cette prise en compte.

- En Espagne : choix de situations problèmes

L'équipe espagnole a apporté un autre type de solution en mettant les élèves dans l'impossibilité de commencer leur travail par une manipulation des équations et des données. Ceci est réalisé en présentant, au cours d'une première étape, des énoncés de problèmes sans données (cette suppression des données a aussi une autre finalité comme nous le verrons plus loin). De plus il est demandé aux élèves de verbaliser cette étape

de représentation en donnant plus d'explications possibles. Aucun guidage explicite n'est donné. Ce qui est dit aux élèves est : de comprendre la situation, de fixer clairement le but et d'imposer des conditions qui permettent d'approcher le problème à un niveau de difficulté adéquat.

des situations

Ces deux approches peuvent être complémentaires : en France les élèves ne sont pas obligés de faire cette représentation qualitative (énoncés habituels) mais des instruments leur sont fournis pour les y aider ; en Espagne les élèves sont mis dans une situation telle qu'ils ne peuvent pas commencer à partir des données donc ne peuvent pas éviter une certaine forme d'analyse qualitative, très événementielle et sans formalisation, mais aucune aide systématique, organisatrice ne leur est donnée pour le faire. Les deux approches se sont révélées fécondes. Il serait envisageable de les associer.

#### **4.2. Pour l'émission d'hypothèses et les choix stratégiques (élaborations de plusieurs chemins de résolution)**

- Hypothèses sur les paramètres pertinents

anticiper  
l'influence de  
certains  
paramètres sur le  
résultat

L'équipe espagnole accorde une très grande importance à l'étape d'émission d'hypothèses (comme étant l'une des composantes incontournables d'une activité de recherche). Il ne s'agit pas ici des hypothèses de travail (choix d'un cadre modélisateur) dont nous avons parlé dans le paragraphe précédent, il s'agit de considérer différents paramètres (grandeurs physiques) et d'émettre des hypothèses quant à leur influence sur le résultat cherché ; influence en tout ou rien d'abord (par exemple : quels sont les facteurs qui vont intervenir sur la durée de la chute ?) et ensuite le mode, le sens de cette influence (par exemple : si la masse augmente la durée de chute va-t-elle augmenter ou diminuer ?). Il s'agit donc de prendre des décisions à propos de ce que l'on considère comme pertinent et de suivre ces hypothèses jusqu'au bout, jusqu'au résultat. Bien évidemment, ce type d'analyse inclut la prise en compte des cas limites, quand on cherche les conséquences de l'hypothèse faite à propos de la pertinence d'un facteur l'un des moyens les plus simples est de donner à ce facteur des valeurs limites. Une autre raison pour considérer cette phase comme essentielle est que c'est une occasion privilégiée pour que les préconceptions soient exprimées ce qui est indispensable comme nous l'avons déjà dit. Là aussi les énoncés de problèmes sans données sont une réponse adéquate.

Par exemple au lieu de l'énoncé classique :

*Une voiture de police poursuit à 120 km/h une automobile qui roule à 100 km/h. En combien de temps la voiture sera-t-elle rattrapée si la distance initiale entre les deux voitures était de 5 km ?*

c'est l'énoncé suivant qui est proposé aux élèves :

*Combien de temps mettra une voiture de police pour rattraper une automobile qu'elle poursuit ?*

Ainsi, dans l'énoncé rien ne signale quels sont les paramètres pertinents et les élèves ne peuvent pas faire autrement que de les déterminer eux-mêmes ; de cette façon, ces déterminations prennent clairement un statut d'hypothèses, ce qui n'est pas le cas lorsque l'énoncé fournit toutes les données (ce sont alors des certitudes). Aucune heuristique spécifique formelle et systématique n'est fournie aux élèves pour les orienter ou les guider. Comme pour l'étape précédente il leur est demandé de verbaliser au maximum.

L'équipe française, contrainte à utiliser des énoncés classiques c'est-à-dire signalant explicitement les paramètres pertinents (soit en les désignant par un symbole littéral soit en leur attribuant une valeur numérique) n'a pas envisagé cet aspect. Toutefois, une analyse systématique des données est demandée, les critères étant : données instantanées (valables à un instant, la vitesse d'un objet par exemple) ou données permanentes (valables tout au long du phénomène, la masse d'un objet par exemple).

- Les choix stratégiques ou les différents chemins de résolution

Sous des terminologies différentes (qui traduisent, en fait, des conceptions légèrement différentes) les deux équipes se sont intéressées au même aspect de la démarche de recherche. Il s'agit maintenant d'inscrire le phénomène étudié dans le cadre de principes ou de loi généraux et de délimiter précisément l'étude faite.

L'équipe française parle de choix stratégiques. A cette étape, on demande aux élèves, à partir de la représentation globale qualitative (dans laquelle figurent les contraintes spécifiques de la situation étudiée), de déterminer les principes qui sont applicables (par comparaison des contraintes spécifiques de la situation et les conditions de validité des principes). Si plusieurs principes sont applicables on leur demande d'en **choisir** explicitement un. Un principe étant choisi, il reste à délimiter l'étude à faire : soit à choisir un système et des instants (en mécanique). Pour que ces choix soient cohérents avec le principe retenu des critères généraux de cohérence et de vérification ont été explicités. C'est donc à partir des informations organisées dans la représentation globale qualitative et à l'aide de critères de cohérence entre principes et systèmes que les élèves sont guidés le long de cette étape de choix stratégiques.

L'équipe espagnole parle de différentes stratégies ou de différents chemins de résolution. Ce qui est demandé aux élèves c'est, dans le cadre des hypothèses faites précédemment, d'envisager plusieurs voies de résolution possibles, reposant

envisager des alternatives ou choisir

sur l'utilisation de différents principes ; il s'agit donc bien de stratégies différentes puisqu'elles reposent sur des choix différents. Ce sont les hypothèses faites et le corpus de connaissances dont disposent les élèves qui guident cette recherche de chemins alternatifs. Il est, comme pour toutes les autres étapes, demandé aux élèves de verbaliser et d'expliquer au maximum.

être conscient et garder le contrôle de l'action au lieu de répéter

L'équipe française ne demande pas d'envisager des solutions alternatives, elle demande que les choix soient faits explicitement, consciemment en s'appuyant sur des critères et non pas seulement par analogie avec des situations déjà vues, par simple reconduction de choix qui ont déjà "marché". Une fois les choix faits, la résolution est menée jusqu'au bout et ce n'est qu'en cas d'échec que les choix sont remis en question et qu'une stratégie alternative est envisagée. L'objectif de l'équipe française, sur ce point précis, est de lutter contre les choix faits implicitement, inconsciemment, par similitude avec du déjà connu.

#### **4.3. Pour la résolution littérale complète avant toute résolution numérique**

Les deux équipes **demandent** aux élèves de mener au bout une résolution symbolique.

De plus, l'équipe française explicite des critères pour que le choix des symboles et des indices soit le plus efficace, le plus cohérent et le plus simple possible. En effet, il est avéré que cette activité de symbolisation est source de grandes difficultés pour les élèves. Quand on étudie les protocoles de résolution on constate que, souvent, leur symbolisation/indiciation est incohérente ou insuffisante ou au contraire redondante et inutilement lourde. Bien symboliser fait partie intégrante de l'élaboration de la représentation. Une symbolisation incohérente peut être un indicateur de mauvaise compréhension de la situation, elle traduit souvent des confusions ; de plus elle est génératrice d'erreurs de traitement. Pour les maîtres le savoir correspondant est devenu implicite, il s'agit de savoir compilé ; c'est la raison pour laquelle ils n'expliquent pas, en cours de résolution au tableau, les raisons pour lesquelles ils ont fait tel ou tel choix de symboles et d'indices.

#### **4.4. L'analyse critique du résultat, les vérifications**

Pour l'équipe espagnole il s'agit effectivement d'une analyse critique qui découle de, et renvoie aux hypothèses faites à propos de l'influence des différents paramètres. C'est l'occasion de mettre les préconceptions en contradiction. Si différents chemins de résolution ont été élaborés cette analyse critique ne se borne pas aux résultats mais inclut aussi la comparaison des différentes voies. Là, comme pour ce qui précède, il n'a pas été mis au point de guidage spécifique. La référence est le corpus

vérifier,  
un critère :  
la cohérence

de connaissances déjà constituées et le guide est la double cohérence entre d'une part le résultat et d'autre part les hypothèses et le corpus de connaissances déjà acquises.

La position de l'équipe française est plutôt de vérification. Des critères généraux de vérification sont explicités en différenciant cohérence interne (vérification du fait qu'il n'y a pas de contradictions entre les différentes étapes du raisonnement) et cohérence externe (vérification qu'il n'y a pas de contradictions entre le résultat obtenu et ce que l'on sait par ailleurs). Cette préoccupation de vérification n'est pas réservée au résultat, chaque fois que c'est possible, en cours de résolution, des critères de vérification sont fournis aux élèves.

### CONCLUSION, PERSPECTIVES

Les deux équipes ne situent pas exactement les activités de résolution de problèmes au même point du déroulement de l'apprentissage. Pour les Espagnols les connaissances sont déjà construites (d'autres travaux de la même équipe concernent d'ailleurs cette construction des connaissances) et la nouvelle orientation proposée vise avant tout à initier un changement de méthodologie et d'attitude des élèves vis-à-vis d'une situation problème. Pour cela la méthode consiste à mettre les élèves dans l'obligation d'effectuer les différentes étapes (le moyen de les y obliger étant, dans un premier temps, la suppression des données dans l'énoncé). Ce qui guide ces différentes étapes ce sont les hypothèses faites au début et la cohérence avec le corpus des connaissances déjà construites. Le rôle du maître est semblable à celui d'un directeur de recherches qui pose les bonnes questions au bon moment et qui ainsi réoriente, quand nécessaire, le travail des élèves. Ce rôle peut être différent d'une situation problème à une autre, d'un groupe d'élèves à un autre ; l'idée directrice étant d'intervenir le moins possible et de laisser la plus grande initiative possible aux élèves. La nouveauté de cet enseignement se situe avant tout dans le choix des situations problèmes.

une future  
collaboration

L'équipe française envisage les activités de résolution de problèmes plutôt dans le processus d'apprentissage, à un moment où les connaissances ne sont pas encore structurées (elles n'ont encore été étudiées qu'à un niveau général mais n'ont pas fonctionné suffisamment pour s'organiser les unes par rapport aux autres). La résolution de problème, guidée par les aides cognitives, est alors conçue comme un moyen pour aider et organiser la structuration. Ce sont des outils conceptuels d'organisation qui sont proposés aux élèves au travers des aides cognitives.

Ces deux approches nouvelles de la résolution de problèmes ont été testées et évaluées. Dans les deux cas on note des

progrès dans les performances des élèves traités par rapport à des élèves témoins.

Le point fondamental de divergence entre ces deux approches est le suivant : l'équipe espagnole agit sur les situations ; son hypothèse est que des situations problèmes bien choisies sont suffisantes pour générer les changements de méthodologie et d'attitudes visés. C'est une perspective constructiviste de l'enseignement/apprentissage.

L'équipe française, elle, n'a pas agi sur les situations (ce sont généralement des problèmes de manuel qui sont utilisés). Elle propose des aides qui guident organisent et résument la représentation du problème ; de plus chaque fois que c'est possible elle explicite des critères (critères de cohérence entre principe et système, critères de symbolisation et d'indicia-tion...). L'hypothèse sous jacente à ce travail est que, pour des débutants tels que des élèves de lycée, expliciter autant que faire se peut est indispensable, surtout en ce qui concerne les critères qui guident les choix. L'expérience qui a été faite, s'inscrivait dans une conception de l'enseignement/apprentissage de type transmissif mais nous pensons que la raison en est conjoncturelle beaucoup plus que fondamentale.

Ces deux réponses différentes aux mêmes difficultés des élèves, qui toutes deux refusent l'expert comme modèle, qui toutes deux ont produit des résultats positifs, mais qui s'ancrent (plus ou moins fortement) dans des conceptions de l'enseignement/apprentissage différentes sont-elles incompatibles ? Y a-t-il contradiction entre une orientation qui met l'accent sur le guidage et l'explicitation et une orientation qui met l'accent sur le choix de situations problèmes adéquates ? En élargissant la question : un enseignement peut-il être à 100 % constructiviste ou bien une association de phases constructivistes et de phases de type transmissif est-elle envisageable ? Pour répondre à ces questions une recherche commune est prévue dans laquelle certains aspects des deux approches seront utilisés.

Andrée DUMAS-CARRÉ  
Michel CAILLOT  
L.I.R.E.S.P.T., Université Paris 7, France

Daniel GIL  
Joaquin MARTINEZ TORREGROSSA  
Formation permanente, Université de  
Valence, Espagne

## RÉFÉRENCES

- ANDERSON J.R., GREENO J.G., KLINE P.J. et NEVES D.M. (1981). Acquisition of problem solving skills, In J. Anderson editor *Cognitive Skills and their Acquisition*. Hillsdale New Jersey. Lawrence Erlbaum Associates.
- BAIRD J.R. (1986). Improving learning through enhanced metacognition : a classroom study. *EUR J SCI EDUC* 8 (3) 263-282.
- BIRCH W. (1986). Towards a model for problem-based learning. *Studies in higher education*, 11 (51) 73-83.
- CAILLOT M. et DUMAS-CARRÉ A. (1985), Activités cognitives et connaissances nécessaires à la résolution de problèmes : un exemple en physique, *Cognitiva 1985* 81-86, Paris. CESTA.
- CAILLOT M. et DUMAS-CARRÉ A. (1987). PROPHY : un enseignement d'une méthodologie de résolution de problèmes de physiques, In *Résolution de problèmes en mathématiques et en physique, Rapports de recherche* 12 199-244, Paris. INRP.
- CHI M.T.H., FELTOVITCH P.J. and GLASER R. (1981). Categorisation and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5 (2) 121-152.
- DRIVER R. et OLDDHAM 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*. Thèse d'état, Paris 7, juin 1987.
- DUMAS-CARRÉ A. et CAILLOT M. (1987), Résolution de problèmes et apprentissage de la physique, In *Didactique et acquisition des connaissances scientifiques GRECO 130071* 165-179, Paris. CNRS.
- ELSHOUT J.J. (1985). Problem solving and education ; state of the art papier, *EARLI Conference, LEWEN, June 1985*.
- FEYERABEND P.K. (1979). *Contre la méthode, esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance*, Paris. Seuil.
- GARRET R., GIL D., MARTINEZ TORREGROSSA J., SATTERLY D. (1988). Turning exercises into problems ; an experimental study with teachers in training. *INTER J SCIEN EDUC* (à paraître).
- GIL D., CARROSCA J. (1985). Science Learning as a conceptual and methodological change. *EUR J. SCIEN EDUC* 7 (3) 213-236.

- GIL D., MARTINEZ TORREGROSSA J. (1983). A model for problem solving in accordance with the scientific methodology. *EUR J SCIEN EDUC* 5, 447-455.
- GIL D., MARTINEZ TORREGROSSA J. (1984). Problems solving in physics : a critical analysis, In *Recherches en Didactique de la Physique*, Paris. CNRS éditeur.
- GIL D., MARTINEZ TORREGROSSA J. (1987). La résolution de problèmes comme instrument de changement conceptuel et méthodologique. *Petit X* 14-15, 25-38.
- GORODETSKY M., HOZ R. (1986). Hierarchical Solution Models of Speed Problems. *Science Education*, 70 (5) 565-582.
- HASEWEH M.Z. (1986). Towards an explanation of conceptual change. *EUR J SCIEN EDUC* 8 (3) 229-249.
- HEATH P.A., WHITE A.L., BERLIN D.F. and PARK J.C. (1987). Decision Making : Influence of Feature and Representation Mode Upon Generation of Alternatives. *J of RES on SCI TEAC* 24 (9) 821-833.
- JOHNSTONE A.H., KELLETT N.C. (1980). Learning Difficulties in School Science - Towards a Working Hypothesis, *EUR J SCI EDUC*, 2 (2) 175-181.
- KILPATRIK J. (1982). What is a problem ? *Problem solving Newsletter* 4 (2).
- KRULIK S. and RUDNIK K. (1980). Problem Solving in school mathematics. *National Council Teachers of Mathematics ; Year Book*, Reston. Virginia.
- LARKIN J. (1979). Processing information for effective problem solving. *Engineering Education*. December 1979, 285-288.
- LARKIN J. (1981). Enriching formal knowledge : a model for learning to solve textbook physics problems, In J. Anderson editor *Cognitive Skills and their Acquisition* 311-334. Hillsdale New Jersey. Lawrence Erlbaum Associates.
- LANGLEY P. (1985). Learning to Search : From Weak Methods to Domain-Specific Heuristics. *Cognitive Science*, 9 217-260.
- LESCH R., LANDAU M. (1983). Conceptual models and applied mathematical problem solving research, In *Acquisition of mathematics concepts and processes*. Chapter 9. NY. Academic Press.
- LESTER F.K. (1983). Trends and issues in mathematical problem solving research, In *Acquisition of mathematics concepts and processes*. Chapter 8. NY. Academic Press.
- MANDELL A. (1980). Problem-Solving Strategies of Sixth-Grade Students Who Are Superior Problem Solvers. *Science Education*, 64 (2) 203-211.

MARTINEZ TORREGROSSA J. (1987). *La resolución de problemas de física como investigación : un instrumento de cambio metodológico*. Tesis Doctoral. Valencia.

METTES C.T.C.W., PILOT A., ROOSINK J.H., KRAMERS PALS H. (1981). Teaching and learning problem solving in science. Part I : A general strategy. *Journal of Chemical Education*, 57, 882-885.

METTES C.T.C.W., PILOT A., ROOSINK J.H., KRAMERS PALS H. (1982). Teaching and learning problem solving in science part II : Learning problem solving in thermodynamics. *Journal of Chemical Education*, 58, 51-55.

NEWEL A., SIMON H.A. (1972). *Human Problem Solving*, New Jersey, Engelwood Cliffs, Prentice Hall.

NOVACK J.D. (1987). Human Constructivism : towards a unity of psychological and epistemological meaning making. *Proceedings of the second international seminar on misconceptions and education*.

NOVACK J.D. (1988). Constructivismo humano : un consenso emergente. *Ensenanza de las Ciencias* 6 (3) (en cours d'impression).

POLYA G. (1975). *How to solve it*, New York. Princeton University Press.

POSNER G.J., STRIKE K.A., HEWSON P.W., GERTZOG W.A. (1982). Accomodation of a scientific conception : towards a theory of conceptual change, *Science Education* 66, 211-227.

PRENDERGAST W.F. (1986). Terminology of problem solving. *Problem Solving Newsletter* 8 (2) 1-7.

REIF F. (1983). Understanding and Teaching Problem Solving in Physics, In *Recherches en Didactique* 3-53, Paris. CNRS éditions.

SELVARATMAN M. (1974). Use of problems in chemistry courses. *Education in Chemistry* 1974, 201-205.

SHAW T.J. (1983). The effect of a Process-Oriented Science Curriculum Upon Problem-Solving Ability. *Science Education*, 67 (5) 615-623.

SIMON H.A. (1975). The functional equivalence of problem solving skills. *Cognitive Psychology*, 7 268-288.

TOBIN K. (1985). Teaching Strategy Analysis Models in Middle School Science Education Course, *Science Education*, 69 (1) 69-82.