Les élèves peuvent-ils résoudre des problèmes ?

par A. DUMAS-CARRÉ*, D. GIL** et M. GOFFARD***

Dans cet article, nous présentons une expérience qui s'est déroulée avec des élèves de Terminale. Nous essayons de montrer qu'une nouvelle approche de la résolution de problème, est possible, approche qui permet de faire face aux difficultés rencontrées par les élèves et qui n'est pas un simple apprentissage de la répétition d'exercices déjà vus.

INTRODUCTION

De nombreux faits expérimentaux ont mis en évidence les graves difficultés qu'éprouvent les élèves à résoudre des problèmes papier-crayon dans un domaine spécifique comme celui de la physique. Beaucoup d'élèves constatent METTES et al. (1980) ne savent comment commencer : ils cherchent simplement une formule adéquate ou bien se limitent à attendre la solution du professeur. En général les chercheurs s'accordent à reconnaître que les élèves ne sont pas capables d'aborder de nouveaux problèmes (GILBERT, 1980 ; GIL-PEREZ et MARTINEZ-TORREGROSA, 1983 ; CAILLOT et DUMAS-CARRÉ, 1987).

Il n'est donc pas étonnant que la résolution de problèmes fasse partie, depuis quelques décennies, des lignes prioritaires de recherche et constitue une des questions qui intéressent le plus les enseignants.

En général, ces recherches ne mettent en cause que le comportement des «novices» ou «mauvais révolveurs», si on tient compte de l'échec généralisé des élèves quand il font face à des problèmes nouveaux, ceci revient à faire pratiquement le constat de l'incapacité des élèves à résoudre des problèmes de physique. Ceci est, selon nous,

* L.I.R.E.S.P.T. Université Paris VII.

** Servei Formatió Permanent Universitat Valencia.

*** Lycée Henri IV Paris.

une vision trop simpliste et il faudrait, étant donné l'importance des échecs constatés, une large révision critique de la façon donc on enseigne à résoudre des problèmes.

Dans d'autres travaux (GIL-PEREZ, MARTINEZ-TORREGROSA et SENENT, 1988) nous avons montré comment les enseignants peuvent s'interroger sur les pratiques habituelles des activités de résolution de problèmes et concevoir des démarches non seulement plus efficaces, mais aussi plus cohérentes avec les récents développements théoriques sur l'apprentissage des sciences (DRIVER et OLDHAM,. 1986). Ici, nous essaierons d'aller plus loin en montrant la possibilité pour des élèves :

- de comprendre la nature de leurs difficultés,
- de concevoir des approches efficaces et cohérentes avec ce qu'est la résolution d'un vrai problème, résolution qui est loin de la simple répétition des solutions déjà connues (parce qu'expliquées par le professeur). Pour cela, nous transcrirons le déroulement d'un cours réalisé avec un groupe de 17 élèves de Terminale du Lycée Henri IV à Paris.

1. QU'EST-CE QU'UN PROBLÈME ?

Ce petit problème a été proposé aux élèves de terminale :

«Un objet se déplace sur une trajectoire rectiligne, l'équation horaire du mouvement est : $s = 40\,t + 25 - 5\,t^2$ (s en m, t en s). Quelle sera la <u>distance</u> qu'il aura <u>parcourue</u> au bout de 5 s ?».

La totalité des réponses - obtenues en très peu de temps - a donné comme distance parcourue 100 m (en remplaçant simplement t par 5 s dans l'équation du mouvement).

Nous avons alors demandé quelle est la distance parcourue au bout de 6 s. Les résultats (85 m) ont montré aux élèves que «quelque chose ne marchait pas». Une petite discussion a permis aux élèves de se rendre compte que l'objet avance en décélérant, s'arrête et revient en arrière. Les résultats corrects étaient donc 85 m (au bout de 5 s) et 100 m (au bout de 6 s). Le problème était évidemment assez simple (et ils ont réussi à le résoudre sans difficulté <u>après</u>). Pourquoi, en général, les élèves, comme d'ailleurs des enseignants placés dans les mêmes conditions (GIL-PEREZ, MARTINEZ-TORREGROSA, et SENENT,

1988) le résolvent-ils mal ? Telle est la question qui nous paraît intéressante.

Nous proposons aux élèves - organisés en petits groupes de 4 ou 5 pour faciliter les échanges - de discuter des raisons de leur échec. Ils font ainsi référence à une certaine ambiguïté terminologique (distance parcourue, déplacement, espace ou distance à l'origine), qui est un indice du traitement superficiel des concepts et de l'utilisation presque exclusive d'exemples où ces concepts se confondent (ce qui serait le cas si on avait donné comme équation $s = 40\ t + 5\ t^2$: tout le monde aurait obtenu un résultat correct). Les élèves évoquent surtout un opérativisme mécanique, une tendance à simplement chercher des équations et à substituer les données etc... Agissant ainsi, ils reproduisent les critiques que des professeurs - quand on les «déstabilise» d'une façon semblable à celle que nous avons décrite ici - font de leur façon d'enseigner la résolution de problèmes. L'échec dans la résolution de problèmes ne peut pas être imputée simplement aux erreurs de calcul et aux lacunes de compréhension des élèves. Il faut chercher d'autres causes.

Nous proposons aux élèves - comme nous l'avons fait avec les professeurs (GIL et al. 1988) - de procéder à une révision critique plus profonde, qui essaie de ne laisser aucun aspect dans l'ombre et de ne rien accepter comme «évident», en commençant par analyser l'idée même de problème. Nous demandons aux petits groupes de réfléchir à ce qu'est un problème, quel sens ils donnent à ce concept, et quand ils considèrent qu'ils se trouvent face à un (vrai) problème.

Les réponses, presque sans exception, associent l'idée de problème à celle de difficulté, de situation pour laquelle on n'a pas de réponse toute faite. Un élève dit : «C'est quelque chose dont la solution ne nous apparaît pas immédiateemnt clairement». C'est d'ailleurs l'idée avancée en général par ceux qui, dans la recherche sur la résolution de problèmes, se sont posé la question (PRENDERGAST, 1986). Il est intéressant alors de demander aux élèves de chercher dans quelle mesure la façon dont on leur enseigne à résoudre les problèmes est cohérente avec cette idée de problème. Une fois encore, les élèves montrent une capacité critique qui conduit à des réponses assez proches de celles des professeurs (GIL et al. 1988).

Ils signalent ainsi que les problèmes sont expliqués (et par les professeurs et par les textes) comme <u>quelque chose qu'on doit savoir</u>

faire. Le professeur, pour qui la situation n'est pas un problème, l'explique «le plus clairement possible», sans doute, sans tâtonnements ; comme dit un élève : «Le professeur expose la solution de manière logique de telle sorte qu'elle s'impose à l'élève». On peut ainsi mémoriser la solution et la répéter dans des situations semblables, mais sans apprendre ce qu'il faudrait faire devant un véritable problème. Il n'est pas étonnant que l'attitude la plus fréquente des élèves soit alors de «reconnaître un exercice déjà fait ou d'abandonner la résolution».

2. COMMENT ABORDER UNE SITUATION POUR LAQUELLE ON N'A PAS DE RÉPONSE TOUTE FAITE ?

Les élèves, peu familiers de la démarche scientifique, ont du mal à répondre clairement à une telle question. Néanmoins, les réponses produites à la demande d'énumérer ce qu'ils considèrent comme à faire devant un vrai problème, permettent une reformulation qui souligne les aspects suivants :

– Avant tout se faire une idée de la situation (puisque «on ne sait pas», puisque «on est perdu») ; faire une étude qualitative qui aide à cerner le problème, à clarifier son but, à simplifier si nécessaire la situation pour pouvoir l'approcher sans trop de difficulté.

– Imaginer des «tentatives de réponses», faire des hypothèses sur, par exemple, les facteurs pertinents à considérer, et comment ils interviennent, quels sont les résultats qu'on peut espérer dans des cas particuliers (ayant une signification physique claire) etc. Il s'agit, en définitive (et puisqu'on ne connaît pas la solution) de penser en termes d'hypothèse et non de chercher «la bonne réponse», la certitude. Ces hypothèses, - construites bien sûr , à la lumière des connaissances qu'on a - vont orienter le travail, dépassant ainsi le simple «essai et erreur» ou la quête de la réponse «toute faite».

– Penser à des chemins (au pluriel) de résolutions possibles, fondés par les connaissances dont on dispose, et grâce auxquelles on pourra mettre à l'épreuve les hypothèses avancées. Cette tâche de construction de chemins de résolution possibles fait appel aux connaissances, aux principes déjà acquis. Il faut insister ici sur le fait qu'il ne s'agit pas simplement de «trouver» le(s) bon(s) principe(s). Une fois encore, les constructions des chemins de résolution - bien qu'orientées par les hypothèses avancées, par l'analyse qualitative et la modélisation initiale - restent des «constructions tentatives» qui demandent de l'imagination et des essais.

– Approcher la situation à des niveaux de complexité différents, décomposer le problème en sous-problèmes, etc. (LARKIN et REIF, 1979 ; CAILLOT et DUMAS-CARRÉ, 1987).

– Analyser soigneusement les résultats obtenus, par rapport, bien sûr, aux hypothèses émises et aux connaissances acquises ; il s'agit de «douter» systématiquement, de ne rien accepter sans évidence suffisante : a-t-on obtenu le même résultat en suivant des chemins différents ? Les résultats confirment-ils les hypothèses faites (en particulier les résultats prévus dans des cas particuliers ayant une claire signification physique) ?

Il se dessine ainsi une démarche dont l'essentiel est d'accepter comme normal d'être perdu (sans tomber donc dans le travers de «reconnaître ou abandonner») et de se donner des outils pour chercher :

- analyse qualitative,
- hypothèses pour cerner et orienter la recherche,
- construction de chemins alternatifs de résolution,
- analyse attentive des résultats et de tout le processus de résolution, ce qui fera souvent revenir en arrière, réviser les hypothèses, modéliser la situation d'une autre façon, etc.

Tout ceci donne à la résolution le caractère d'une véritable recherche loin des «problèmes type» et de l'apprentissage des solutions «bien expliquées» par les professeurs.

Il faut prendre le temps nécessaire pour clarifier ces idées en partant des réflexions des élèves. Il est particulièrement important de signaler que la demande habituelle de commencer par voir quelles sont les données et les inconnues est incohérente. Cette quête n'a évidemment de sens qu'à la lumière d'une bonne connaissance de la situation (fruit d'une analyse qualitative assez poussée) et des hypothèses sur les grandeurs pertinentes, etc.

Il est aussi utile de signaler qu'il convient de faire des résolutions littérales - non numériques - jusqu'à la fin, de façon à rendre possible l'analyse des résultats (influence de facteurs pertinents, cas limite...) ainsi que la révision de la façon dont les principes ont été appliqués. De toute façon, il n'est pas intéressant de trop prolonger ce débat «dans l'abstrait». Il vaut mieux, après une première approche de l'idée de résolution de problème comme activité de recherche, «se mettre en situation» et en profiter pour approfondir la réflexion.

3. LES ÉLÈVES FACE À UNE SITUATION PROBLÉMATIQUE

Une bonne façon de tester la capacité des élèves à emprunter dans la résolution de problèmes une démarche qui aspire à être scientifique est d'enlever dans les énoncés habituels, les données (numériques ou non) qui font des problèmes des situations complètement fermées et facilitent les traitements purement opératifs. Il s'agit donc de transformer un énoncé comme celui ci :

> «Sur un mobile de masse 5 000 kg se déplaçant à la vitesse de 20 m/s agit une force de frottement de 10 000 N. Quelle sera la vitesse du mobile 75 m après le début du freinage ?»

en :

> «Un conducteur commence à freiner en voyant le feu rouge ; quelle vitesse aura la voiture quand elle arrivera au carrefour ?»

ou bien :

> «Le train s'écrasera-t-il contre le rocher ?»

Nous avons utilisé un énoncé comme ce dernier dans le cours que nous décrivons ici. De cette façon, les élèves se sont trouvés devant une situation très ouverte où n'était évident ni ce qu'on pouvait faire ni même ce qu'on devait chercher (pas de donnés ni de situation «claire»...). Ceci leur a permis de voir comment même dans des situations où l'on est très perdu, une attitude de recherche peut faire avancer :

– en prenant des décision provisoires sur la situation, par exemple une simplification s'est imposée : étude du déplacement du train sur un plan horizontal.

– en définissant un but précis : quelle sera la vitesse du train lorsqu'il arrivera au niveau du rocher ?

– en faisant des hypothèses sur les facteurs pertinents : la force de freinage, la masse du train, la vitesse initiale du train et la distance à parcourir.

– en étudiant les sens de variation de la vitesse avec ces différents facteurs : exemple si la force de freinage augmente, la vitesse du train diminue, à la limite si la force est nulle, alors la vitesse restera constante.

Ceci a permis aussi de concrétiser et de compléter la vision du modèle de résolution comme activité de recherche.

Voyons maintenant, en application, comment les élèves ont abordé ce second problème :

> «Quel angle formera avec la verticale un pendule attaché au plafond d'un wagon de train ?»

En premier lieu, nous avons demandé aux petits groupes de concevoir la situation, d'introduire les simplifications nécessaires, etc. Il s'agissait de voir quelle est leur façon d'approcher une situation relativement ouverte et de la modéliser.

Les réponses obtenues montrent l'intérêt que peut avoir cette façon de poser les problèmes. En effet, deux des petits groupes ont considéré que le train était en mouvement, «avec vitesse constante, pour avoir un angle constant vers l'arrière». Les deux autres groupes, par contre, ont (correctement) considéré qu'une accélération est nécessaire. La discussion a rapidement permis un accord sur la deuxième proposition. De cette façon, le problème a fait ressortir une préconception bien connue : c'est précisément en exprimant des idées qualitatives, en faisant des hypothèses, que les préconceptions peuvent être explicitées, ce qui fera des problèmes ainsi conçus de véritables occasions de conflit cognitif et partant, de changement conceptuel (POSNER et al. 1982).

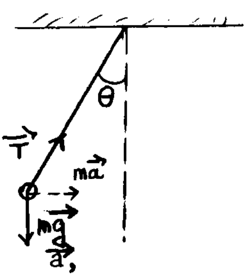
Ajoutons que tous les groupes ont fourni des précisions qui indiquent une analyse qualitative assez fine de la situation. Ils ont signalé qu'il faudrait considérer que le train avance dans une plaine «sans montée ni descente» et que l'accélération est constante «vers l'avant ou bien vers l'arrière». Par contre, aucun des groupes n'a pensé à la possibilité d'un changement de direction comme autre cause de déviation du pendule par rapport à la verticale ; le professeur a fait référence à cette éventualité, contribuant ainsi à la clarification du débat et à la compréhension d'une situation physique qui fait appel à des connaissances et des idées que l'orientation habituelle de la résolution de problèmes laisse dans l'ombre.

Acceptant alors comme situation celle d'un train qui accélère vers l'avant (avec accélération constante), nous proposons donc d'approfondir les idées qualitatives exprimées et de construire des hypothèses en les développant le plus possible.

Dans les propositions des 4 groupes concernant les facteurs pertinents apparaissent l'accélération a et l'intensité du champs de pesanteur g ; 3 des groupes font aussi référence à la masse m du pendule. Le groupe qui considère que la masse du pendule n'a pas d'influence, le fait parce qu'un des élèves est arrivé à la résolution complète et que dans son résultat - correct - la masse n'apparaît pas. De toute façon, les autres groupes ont l'intuition que la masse du pendule intervient et ne son pas prêts à se laisser convaincre. En principe donc, ils considèrent que l'angle θ doit être fonction de a, g et m : $\theta = f\,(a, g, m)$. Mais ils vont plus loin dans l'explication de leur hypothèse. Ainsi les 4 groupes estiment que plus l'accélération est grande, plus l'angle est grand et que si $a = 0$ (mouvement uniforme) l'angle doit être nul, cas limite intéressant parce qu'il affecte les idées initialement exprimées.

Pour ce qui a trait à l'influence de g, l'accord intervient aussi : plus g est grand, plus l'angle est petit ; et ils s'intéressent au cas limite où $g = 0$; ils imaginent la situation et affirment que : «dans ce cas l'angle devrait être de 90º». Pour la masse, ils conçoivent que plus elle est grande, plus l'angle doit être petit (l'influence de la masse irait dans le même sens que celle de g, augmentant le poids «qui tire le pendule vers le bas»). Pour une masse nulle, d'ailleurs «disparaît toute possibilité d'angle».

Les stratégies de résolution et la résolution elle-même ne présente pas de difficulté pour ces élèves. Ils construisent des schémas comme celui ci-dessous en tenant compte de deux forces qui agissent sur le pendule : la tension $\vec{T}$ du fil (qu'ils ont considéré inextensible et sans masse) et le poids $m\vec{g}$, ayant une force résultant $m\vec{a}$ dans la direction de $\vec{a}$, c'est-à-dire dans la direction du mouvement du train.



Des relations trigonométriques simples leur permettent d'obtenir θ.

Certains groupes ont commencé par considérer le sinus ou le cosinus, ce qui a fait intervenir $\vec{T}$, «mais $\vec{T}$ dépend des facteurs retenus» ! et ils finissent par l'éliminer. On peut voir ici le rôle d'orientation joué par les hypothèses et par les analyses qualitatives : ils ne se sont pas contenté d'écrire la première relation considérée (par exemple : $\cos\theta = \frac{mg}{T}$) parce qu'ils ne retrouvaient pas dans ces relations les hypothèses émises.

L'analyse des résultats permet de constater, sans difficulté, que l'influence de g est conforme aux prévisions, en particulier avec les cas limites considérés. Le problème posé par la disparition de la mase ne se traduit pas simplement par une constatation du type «on s'est trompé». Au contraire, les réflexions qualitatives avaient fait penser que sans un objet de masse m le fil ne peut pas être tendu et donc qu'on ne peut pas parler d'angle. Un des groupes fait ainsi remarquer que comme $\tan\theta = \frac{ma}{mg}$ il faut qu'il y ait une masse, n'importe laquelle, mais non nulle, sinon on aurait $\frac{0}{0}$ ce qui est un cas d'«indétermination». Cette petite discussion «soulage» les élèves et aboutit à une formulation qui leur permet une meilleure compréhension que dans le cas où l'on se contentait d'affirmer que la masse n'intervient pas : «elle intervient dans la tension $\vec{T}$ et sans tension il n'y a pas d'angle». Ceci souligne l'intérêt de calculer la tension : nous proposons donc de résoudre le nouveau problème (en partant de la même situation) et de commencer par expliciter les hypothèses. Dans ce cas il y a accord général sur le fait que T = f (a, g, m,).

Le sens de l'influence de chaque facteur est aussi facilement établi. Les différence entre les groupes apparaissent dans la considération des cas limites. Un groupe conclut hâtivement que «plus grand sera $\vec{a}$, plus grand sera $\vec{T}$ et pour $\vec{a} = \vec{0}$ on aura $\vec{T} = \vec{0}$». **Un autre groupe répond (avec une meilleure analyse de la situation) que «dans ce cas, le fil pendra avec un angle nul et que la tension sera alors égale au poids mg».**

Un court débat s'engage aussi pour comprendre que si g = 0, la tension doit être T = ma. La résolution ne renconrtre pas de difficulté et conduit à : $T = m\sqrt{a^2 + g^2}$.

Il faut signaler pourtant que certains groupes, au lieu de penser à appliquer directement le théorème de Pythagore, ont fait usage de relations trigonométriques. Un des groupes s'est précisément trompé en suivant cette voie, et a obtenu une expression non cohérente avec les hypothèses faites. Il est alors revenu en arrière et a refait le calcul correctement. On voit à nouveau l'importance des hypothèses pour orienter la résolution et «remédier» aux erreurs.

UNE PRISE DE CONSCIENCE

Jusqu'à quel point la démarche introduite peut-elle améliorer le taux de réussite des élèves ainsi que leur intérêt pour la résolution de problèmes ? Ce n'est pas évidemment un cours de quatre heures seulement qui peut donner la réponse. Il existe déjà des résultats, basés sur le travail fait tout au long d'une année scolaire, qui semblent donner une réponse positive à cette question (GIL-PEREZ et MARTINEZ TORREGROSA, 1987) et une étude semblable est envisagée en France, débutant pendant l'année scolaire 1988-89. Mais l'objectif du cours était de montrer qu'il est possible de mettre les élèves eux-mêmes en situation de prendre conscience des inconvénients de l'opérativisme habituel et de participer à la construction d'une démarche aspirant à être scientifique, d'accepter comme normal «d'être perdu», sans essayer de «reconnaître» une situation déjà rencontrée. De ce point de vue les résultats sont, comme nous l'avons décrit, encourageants : la nature des critiques faites par les élèves et les propositions qui en découlent méritent d'être retenues et constituent une nouvelle preuve de la nécessité (et possibilité) d'un profond changement dans la résolution de problème et dans tout l'apprentissage des sciences, lequel ne peut pas continuer à être une simple transmission de connaissances déjà élaborées (DRIVER et OLDHAM, 1986).

RÉFÉRENCES

M. CAILLOT et A. DUMAS-CARRÉ (1987) PROPHY : Un enseignement d'une méthodologie de Résolution de problèmes de

Physiques, In Résolution de problèmes en mathématiques et en physique, Rapports de recherches, (12) 199-244 Paris : INRP editors.

R. DRIVER and V. OLDHAM (1986) A constructivist approach to curriculum development in science, Studies in Science Education, 13, 105-122.

D. GIL and J. MARTINEZ-TORREGROSSA (1987) La resolucion de problemas de fisica. Madrid Edition MEC, Vicens Vives.

D. GIL and J. TORREGROSSA and F. SENENT (1988) El fracaso en la resolucion de problemas de fisica : una investigacion orientada por nuevos supuestos, Ensenenza de las ciencias 6 (2).

G.L. GILBERT (1980) How do I get the ansewer, J Chem Educ, 57 79-81.

J. LARKIN and F. REIF (1979) Processing information for effective problem solving, Engeneering Education December 1979 285-288.

C.T.C.W. METTES, A. PILOT, J.H. ROOSINK and H. KRAMERS-PALS (1980) Teaching an learning problem solving in science. Part I : A general strategy, Journal of Chemical Education, 57 882-885.

C.T.C.W. METTES, A. PILOT, J.H. ROOSINK and H. KRAMERS-PALS (1981) Teaching an learning problem solving in science. Part II : Learning Problem Solving in a thermodynamics course, Journal of Chemical Education 58 51-55.

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

W.F. PRENDERGAST (1986) Terminology of problem solving, Problem Solving News Letter, 8 (2) 1-7.