

LE PROBLÈME DE PHYSIQUE ET SA PÉDAGOGIE

Monique Goffard
Andrée Dumas-Carré

Dans cet article, nous essayons de définir des modèles pédagogiques utilisables en situation scolaire. Pour ce faire, nous nous sommes inspirées des travaux de M. Lesne concernant la formation d'adultes, que nous rappellerons dans une première partie ; nous décrivons ensuite trois cas d'enseignement/apprentissage de la résolution de problèmes en physique. Ces trois cas se situent dans des contextes différents et sont analysés en dégagant les rapports qu'enseignant et enseignés entretiennent avec le savoir et le pouvoir. Les modèles élaborés à partir de là peuvent constituer une grille de lecture des activités menées dans une classe.

Le problème de physique joue, dans l'enseignement, un rôle important. Élément d'évaluation, il est aussi utilisé pour l'apprentissage des concepts. Or, s'il est fréquent que les enseignants consacrent des heures de cours à corriger ou à faire faire des problèmes à leurs élèves il est rare qu'un enseignement de la résolution de problèmes soit mis en place. Par ailleurs, quel est l'enseignant qui, après avoir travaillé avec ses élèves ne s'est jamais posé la question suivante : quel est le type de pédagogie que j'utilise ? Directive ou non ? Comment analyser ce que je fais en classe ?

Nous avons tenté, à travers diverses expériences, de mettre en place dans nos classes un enseignement de la résolution de problèmes ; nous essayerons de décrire les différents cas et de les étudier en dégagant des pistes d'analyse des situations pédagogiques. Nous avons utilisé comme grille de lecture, des modèles élaborés en sociologie de l'éducation. Ces modèles s'intéressent aux rapports que formateur et personnes en formation entretiennent avec le savoir et le pouvoir, au cours d'un acte de formation. Nous commencerons par rappeler les éléments essentiels des modèles utilisés.

une tentative
d'enseignement
de la résolution
de problème

1. LES MODES DE TRAVAIL PÉDAGOGIQUE DE M. LESNE

Nous avons emprunté ce terme et différentes notions à M. Lesne (1977) mais nous avons dû en adapter un certain nombre dans la mesure où M. Lesne s'intéresse à la formation d'adultes et non à celle d'adolescents.

1.1. La formation : pratique sociale

Le terme de travail pédagogique est rarement employé lorsqu'il s'agit de la formation d'enfants ou d'adolescents. Il semble que le terme de travail soit dégradant et l'on parle plus volontiers de vocation. Le "bon enseignant" est bien sûr celui qui possède une bonne formation dans sa discipline, mais aussi un certain charisme pour communiquer des informations à son public, et cela il l'a dès sa naissance... La pédagogie serait donc, une fois franchi le seuil de la classe, du domaine privé.

Nous avons pourtant cherché à appliquer, à la formation d'adolescents, les hypothèses que M. Lesne a formulées concernant la formation d'adultes. Il considère celle-ci comme une pratique sociale de transformation et son analyse part des éléments qui constituent cette pratique à savoir :

- l'objet du travail, c'est-à-dire la transformation des compétences et des capacités des individus, adultes en formation ou adolescents en situation scolaire,
- les moyens du travail qui sont les instruments que le formateur utilise et les tâches proposées au cours des séances de formation, ces instruments et ces tâches constituant la méthode pédagogique,
- l'activité déployée qui est essentiellement intellectuelle,
- le résultat des transformations opérées.

Par ailleurs, M. Lesne analyse sous l'angle du savoir et du pouvoir les rapports qu'entretiennent formateur et personnes en formation. A partir de là plusieurs modes de travail pédagogique sont définis dont nous rappellerons quelques traits.

1.2. Le mode de travail pédagogique de type transmissif à orientation normative

Dans ce mode de travail :

- *"le lieu du savoir et du pouvoir se situe essentiellement chez le formateur,*
- *la relation formateur/personnes en formation est perçue, vécue, conçue comme une relation dissymétrique," il y a savoir et pouvoir de l'un, non savoir et non pouvoir des autres ;*
- *la transmission des connaissances se fait en référence à un savoir présenté comme neutre et cumulatif et le formateur cherche à "réduire l'écart entre le modèle de savoir dont il est dépositaire et les savoirs des personnes en formation" ;*
- *"le formateur assure pleinement le pouvoir" (initiative des interactions, régulation de l'écart par rapport au modèle, évaluation).*

éléments pour
définir une
pratique sociale

savoir et pouvoir
du formateur

1.3. Le mode de travail pédagogique de type incitatif à orientation personnelle

- Le sujet de la formation est la personne, et sa motivation est une condition nécessaire ;
- *"l'utilisation du groupe caractérise ce mode de travail"* et les personnes en formation éprouvent la satisfaction d'avoir trouvé une solution au problème avec l'ensemble du groupe ;
- *"le formateur n'est plus le seul intermédiaire entre le savoir et les personnes en formation"* qui sont amenées à s'organiser pour accéder directement au savoir ;
- le pouvoir revient aussi bien au formateur qu'aux personnes en formation et peut prendre une forme coopérative ou autogestionnaire.

la formation par le groupe

1.4. Le mode de travail pédagogique de type appropiatif centré sur l'insertion sociale

Les traits dominants de ce mode peuvent être résumés ainsi :

- *"l'insertion sociale réelle est un point de départ et un point d'arrivée, mais aussi un référent constant, théorique et pratique du travail pédagogique"* ;
- l'individu est agent de sa formation en même temps qu'il agit socialement ;
- l'objectif est d'aider à l'appropriation cognitive du réel par une action pédagogique reliée étroitement aux activités réelles des personnes en formation ;
- le savoir possède un double statut, scientifique et social ;
- *"le pouvoir démocratique est exercé dans un travail en commun des personnes en formation et du formateur"*.

théorie en formation et pratique professionnelle sont étroitement liées

A partir d'exemples choisis en sciences physiques, nous serons conduites à adapter de tels modèles ; en effet, la formation d'adultes s'adresse à des agents sociaux qui ont une activité professionnelle et l'insertion sociale est une donnée qui transforme la formation. Le va-et-vient entre théorie en formation et pratique professionnelle est non seulement possible mais enrichit formateur et personnes en formation. Les adolescents ne sont que de futurs agents sociaux, en situation d'apprentissage, c'est-à-dire que le rapport enseignant/enseigné est obligatoirement dissymétrique. Le terme de pouvoir notamment doit être entendu avec ses deux acceptions : aussi bien pouvoir de décider, de réguler l'action, d'évaluer, mais aussi possibilités d'action et si, en dernier ressort, dans l'enseignement, le professeur évalue le travail de l'élève, une certaine délégation du pouvoir est à envisager. Par ailleurs, il s'agit de former des élèves dans une discipline scientifique et les questions qui se posent en physique ne font pas partie du quotidien de l'élève si bien

que les termes de pratique et d'appropriatif ne peuvent pas être entendus de la même façon. Ces modèles nous ont servi de guide pour analyser les situations d'enseignement/apprentissage et élaborer une grille de lecture, c'est pourquoi nous conserverons les termes employés par Lesne.

2. LE PROBLÈME POUR APPRENDRE

2.1. Le cadre de la recherche

Le premier cas d'enseignement que nous décrivons se situe dans l'ensemble des recherches menées en résolution de problèmes et qui choisissent de comparer les comportements des experts et ceux des novices pour amener ceux-ci aux performances de ceux-là.

Nous sommes restées dans le cadre des programmes français de 1982 et 1987 ; ceux-ci présentent les connaissances à acquérir comme le font Reif & Heller (1982) lorsqu'ils décrivent les connaissances de l'expert en physique dans le domaine de la mécanique. Le savoir à transmettre est organisé en :

le savoir organisé
de l'expert

- connaissances fondamentales ou premières comme les formules qui définissent les concepts et les lois,
- connaissances auxiliaires qui sont des procédures d'application des lois et des cas particulièrement importants, prototypes de catégories de problèmes, par exemple, le mouvement circulaire uniforme comme cas particulier lors de l'étude de l'accélération.

La transmission de ce savoir, suggérée par les Instructions Officielles qui accompagnent les programmes, reprise par les manuels, est assez standardisée : à partir d'une expérience suffisamment démonstrative et bien exploitée, la formule mathématique est introduite et sert de définition du concept. Autant que possible, la même expérience permet d'énoncer une loi dans laquelle le concept intervient. Par exemple, une expérience au cours de laquelle deux mobiles se séparent, appelée expérience d'éclatement, sert à introduire la formule associée à la quantité de mouvement d'un solide : $p = mv_G$, et à énoncer la loi de conservation de cette quantité pour un système isolé de deux solides, dans un référentiel déterminé. Ceci étant fait, divers exemples permettent d'utiliser la formule et la loi dans des situations plus ou moins variées. Les problèmes servent alors à donner du sens au concept introduit, à le mettre en scène. Ce sont des problèmes d'application.

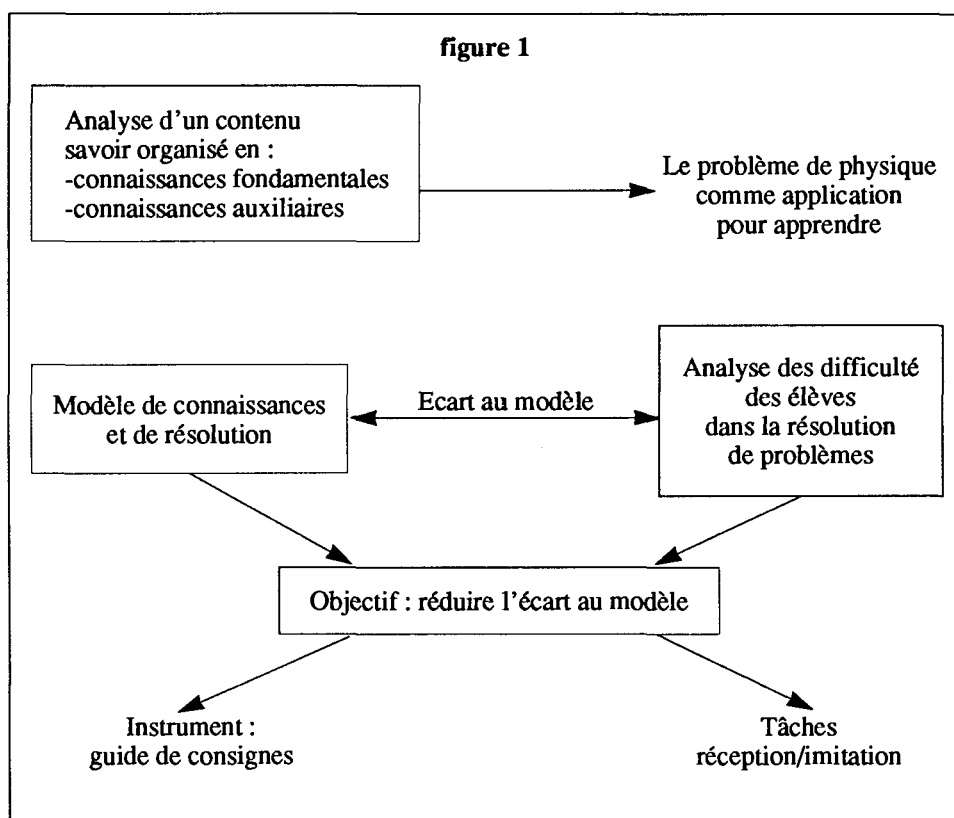
le problème
d'application et
les difficultés des
élèves

Les élèves disent ne pas toujours voir le rapport entre les expériences qui leur sont présentées ou qu'ils font en classe et celles décrites dans les problèmes ; ils rencontrent, face à ces exercices, de sérieuses difficultés ; nous avons étudié celles-ci lors d'entretiens que nous avons réalisés avec les

élèves de Seconde et Première (élèves de 16-17 ans) et constaté qu'ils n'arrivent pas à résoudre faute d'une représentation efficace de la situation décrite dans l'énoncé. Nous nous sommes intéressées à la mécanique.

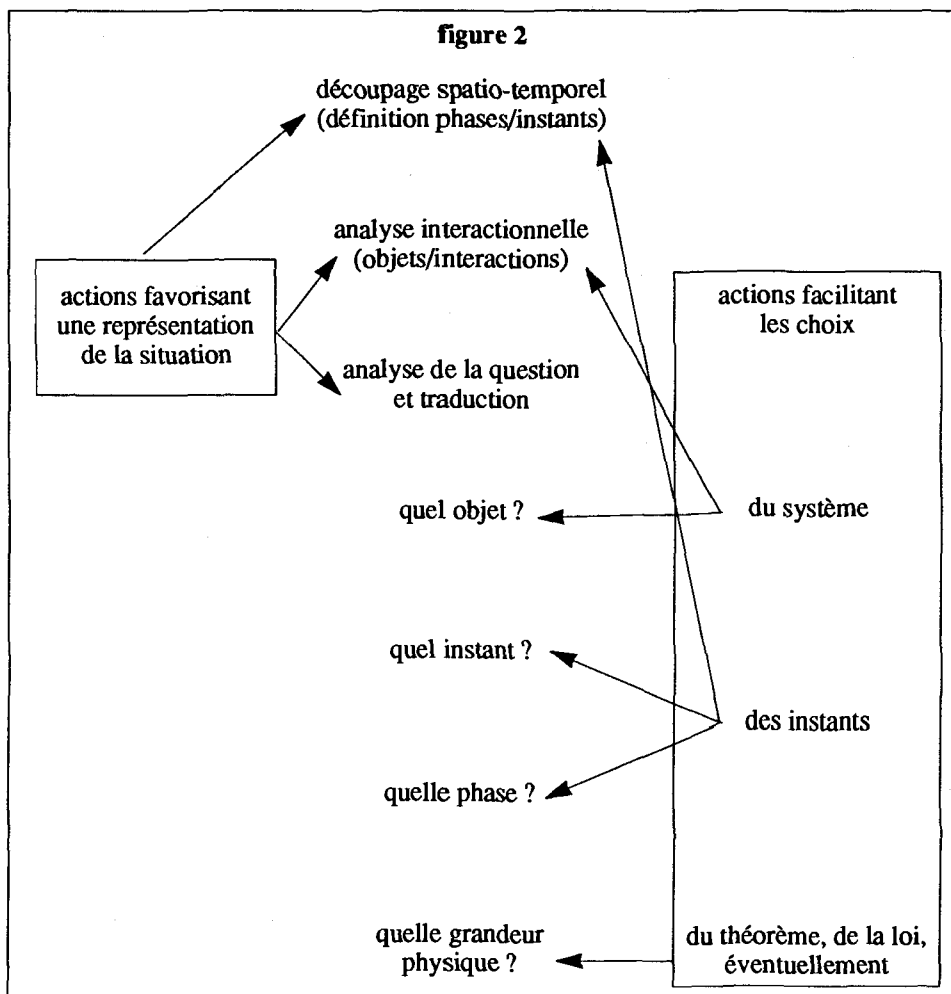
Caillot et Dumas-Carré (1987) ont construit un modèle prescriptif de résolution qui a servi de base aux travaux du groupe de recherche Prophy, celui-ci a élaboré la méthode de résolution de problèmes que nous avons utilisée.

Notre objectif est alors de réduire l'écart entre la résolution de l'élève et celle construite comme référence. La figure 1 résume l'ensemble de notre démarche.



un guide de
consignes

Nous avons construit un instrument : le guide de consignes et fixé des tâches aux élèves qui sont une suite d'actions à réaliser. Celles-ci peuvent permettre une bonne représentation de la situation et faciliter les choix ultérieurs nécessaires à la résolution du problème. Ceci est précisé dans la figure 2.



Nous avons expérimenté dans quatre classes différentes ; l'utilisation du guide a été pratiquement toujours la même.

Au cours des situations d'enseignement, l'enseignant montre, sur un exemple, comment il utilise le guide, espère que l'élève a compris et l'élève, sur un autre exemple, essaye de faire comme l'enseignant. Par la suite, les élèves sont invités à réaliser seuls, sur des problèmes plus ou moins nouveaux, l'ensemble des actions du guide.

2.2. Résultats

Nous avons réalisé des entretiens dans les quatre classes concernées, avec et sans guide de consignes : classes de lycées polyvalents ou d'enseignement général, public ou

privé, de Paris ou sa banlieue ; nous avons analysé des copies d'élèves. Les résultats sont identiques.

Lorsque les élèves doivent utiliser le guide pour résoudre le problème :

- le rapport n'est pas toujours établi entre les analyses qui permettent une représentation du problème et sa mise en équation,
- des actions du guide ne sont pas réalisées ou le sont avec difficulté notamment les analyses spatio-temporelles et interactionnelles ainsi que l'analyse des travaux des forces qui s'exercent sur un système.

comment les
élèves utilisent-ils
le guide ?

Si les élèves résolvent le problème sans guide, ils manifestent deux attitudes :

- ceux qui résolvent le problème comme si l'apprentissage n'avait pas eu lieu,
- ceux qui réinvestissent des éléments du guide au moment jugé opportun. L'organisation de la résolution correspond alors, en partie, au guide et comprend une longue phase de compréhension au cours de laquelle l'élève construit sa représentation en utilisant des aides fournies par le guide et une planification de la résolution avant l'écriture d'une relation mathématique qui est tardive.

Nous tenterons une analyse de cette expérience menée en précisant les rapports au savoir et au pouvoir qu'établissent enseignants et élèves.

2.3. Le rapport au savoir et au pouvoir est dissymétrique

Nous dirons que, dans le cadre de la pédagogie coutumière, le savoir est celui du professeur. Les connaissances préalables des élèves ne sont pas prises en compte. Le pouvoir de l'élève est peu utile ; en effet, la construction d'un concept résulte d'un processus d'abstraction, personne n'ayant jamais vu une force, une énergie ou une tension électrique, dans le mode d'exposition décrit, qui prend en charge l'abstraction. Est-il possible, à partir d'une expérience, de parvenir à la formule mathématique qui serait en quelque sorte inscrite dans l'expérience et qui est censée décrire les propriétés d'un système physique ? Le lent processus qui, à travers diverses situations expérimentales, par des comparaisons, des analogies, des différenciations, conduirait l'élève à prendre conscience de la possibilité de décrire ces situations à l'aide d'un invariant qui est constitutif du concept à définir, n'est pas possible avec le modèle d'enseignement proposé traditionnellement. La formule mathématique ne peut pas être première car, en elle-même, cette formule n'a pas de sens physique. Si elle en a un pour l'enseignant dont les connaissances sont plus vastes et mieux structurées, elle ne représente, pour l'élève, que des symboles.

savoir du
professeur

non pouvoir de
l'élève

Le guide que nous avons construit ne change pas ce rapport au savoir ; il est construit par des enseignants et chercheurs, leur structuration des connaissances n'est pas la même que celle des élèves ; l'élève en apprentissage, ne se pose pas encore toutes les questions auxquelles il devrait répondre pour faire un découpage spatio-temporel ou une analyse des travaux des forces, ce qui entraîne notamment une non réalisation de ces actions.

Il y a donc savoir de l'enseignant et non savoir de l'élève.

Le rapport dissymétrique au savoir s'accompagne d'un rapport dissymétrique au pouvoir. Les discussions qui s'instaurent dans la classe, aussi bien durant le cours que durant les séances de résolution de problèmes, se situent essentiellement entre l'enseignant et un élève, exceptionnellement entre plusieurs élèves. C'est l'enseignant qui décide, organise, régule toute l'action pédagogique. Les élèves peuvent poser des questions mais dans un champ bien déterminé. L'élève n'est pas autonome dans sa résolution, et les tâches qui lui sont fixées accentuent cette dissymétrie ; les difficultés conceptuelles d'apprentissage des aides introduites, les représentations des élèves sont ignorées.

Nous dirons qu'il y a cohérence entre le cadre de la recherche, les instruments construits et les tâches fixées aux élèves ; mais les élèves n'acceptent pas le guide. Il y a incohérence entre l'objectif : rendre l'élève autonome face à la résolution de problème et le moyen choisi.

Cette cohérence dans le dispositif et son dysfonctionnement nous interrogent.

Même si l'on admet que le savoir du physicien est découpé en formules, lois et procédures, l'enseignement et l'apprentissage doivent-ils suivre le même schéma ? Les procédures de résolution sont-elles des connaissances auxiliaires et indépendantes ? Peut-on, en apprentissage, faire l'économie des possibilités préalables des élèves ? Les analyses spatio-temporelles et interactionnelles, par exemple, sont des constructions abstraites qui introduisent des modélisations et nécessitent un apprentissage non seulement de l'utilisation de ces outils mais surtout des concepts sous-jacents.

Notre recherche met ainsi le doigt sur un manque à combler : l'enseignement de la résolution de problèmes n'est pas habituellement pris en compte et les élèves rencontrent des difficultés dans cette importante activité.

Ces interrogations nous ont conduites à un nouvel essai.

3. LE PROBLÈME POUR APPRENDRE ET ÉLABORER UNE MÉTHODE DE RÉOLUTION

3.1. Le rapport au pouvoir évolue

Nous ne décrivons pas la totalité de la séquence didactique qui a duré tout un trimestre. Nous sommes restées dans le cadre des programmes et des Instructions Officielles, mais sans distinguer l'apprentissage des concepts de celui des procédures.

Nous avons cherché à modifier le rapport au pouvoir ; cela sous-entend :

- s'intéresser aux difficultés des élèves et à leur progression,
- abandonner le guide de consignes pour
- conduire l'élève à construire sa propre méthode de résolution.

comment
changer le
rapport au
pouvoir ?

Changer le rapport au pouvoir c'est changer les instruments et les tâches proposées aux élèves. C'est lui proposer des tâches qu'il peut réaliser et lui faire acquérir les outils dont il peut avoir besoin.

Changer le rapport au pouvoir c'est aussi changer les relations dans la classe, c'est apprendre aux élèves à écouter l'autre, à ne pas considérer l'enseignant comme le seul interlocuteur.

Mais changer le rapport au pouvoir n'est-ce pas changer le rapport au savoir ? Conduire l'élève à construire sa méthode de résolution, c'est s'intéresser à ce que l'élève sait faire et peut faire, donc à ses connaissances, c'est repérer les acquis et les obstacles.

3.2. Une séquence d'apprentissage : exemple

Nous avons utilisé aussi bien des expériences que des exercices papier-crayon ou, chaque fois que cela était possible, des situations-problèmes.

En mécanique, en classe de Première Scientifique, les obstacles à surmonter sont nombreux, nous prendrons un exemple : celui de l'apprentissage du découpage spatio-temporel. Savoir réaliser ce découpage facilite la représentation des situations décrites dans les problèmes. L'application du théorème de l'énergie cinétique nécessite une maîtrise de cette réalisation.

des obstacles à
surmonter

Les notions d'instant et de phase, rarement abordées dans l'enseignement, sont difficilement distinguées par les élèves ; en effet, un instant est, au niveau des phénomènes, une phase de courte durée alors qu'en physique un instant est de durée nulle. Il s'agit de conduire l'élève du niveau descriptif phénoménologique à celui de l'abstraction. Par ailleurs, il n'est pas possible d'ignorer le fait que les élèves ont rencontré le principe d'inertie en classe de Seconde et qu'ils ne l'ont pas accepté, dans leur majorité ; celui-ci concerne des phases de mouvement uniforme. Nos objectifs

sont donc, en nous appuyant sur ce que les élèves connaissent, de différencier les phases de mouvement rectiligne uniforme ou varié ; de relier ces phases aux forces extérieures s'exerçant sur le mobile en mouvement.

La première question qui se pose à l'enseignant est de faire émerger le problème, de faire en sorte que la connaissance à acquérir soit problématique pour l'élève afin que ce dernier s'empare du problème pour chercher à le résoudre, l'enseignant l'aidant au cours des différentes étapes : la séquence en comprend plusieurs.

• **Première étape**

Il est tout d'abord, pour l'enseignant, nécessaire de repérer les acquis, les obstacles. Pour l'élève, il est souhaitable qu'il apprenne à discuter.

repérer les acquis

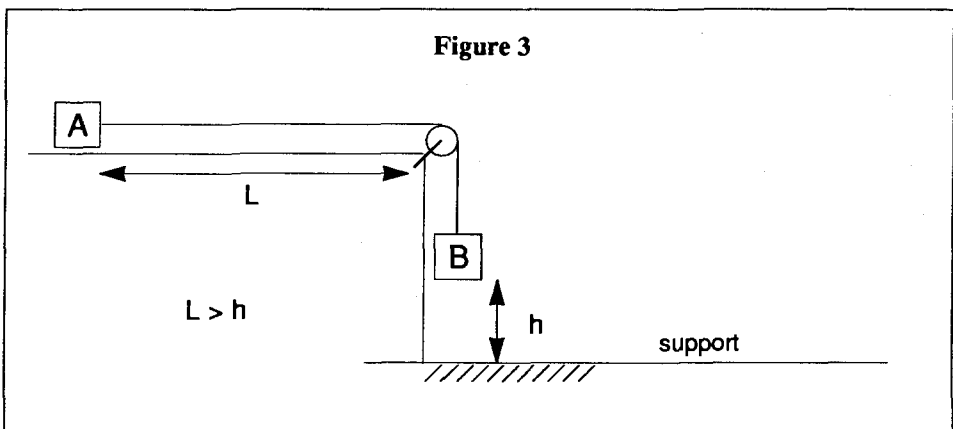
Un questionnaire anonyme est posé, il porte sur diverses situations faisant appel au principe d'inertie, une discussion de classe suit ce questionnement. Il apparaît, au cours de la discussion et en réponse au questionnaire, que le principe d'inertie est mal maîtrisé par 85% des élèves.

Les rôles changent : l'enseignant intervient dans la discussion pour aider les élèves à s'exprimer ou, dans la correction du questionnaire, il ne fait que donner les résultats bruts, sans aucun jugement ; les élèves s'expriment, apprennent à discuter, s'écouter, confrontent leurs opinions.

Il y a insatisfaction, malaise de certains parce que désaccord et parce que l'enseignant n'apporte pas la bonne réponse.

• **Deuxième étape**

L'enseignant propose une expérience : elle est schématisée à la figure 3.



Le mouvement de l'objet A, mobile sur coussin d'air, comporte deux phases, l'une uniformément accélérée lorsque l'objet est tiré par le fil tendu, l'autre rectiligne et uniforme

quand l'objet B repose sur le support et que A est encore en mouvement sur la table.

les élèves voient
l'expérience
avec les
connaissances
qu'ils possèdent

Le mouvement du mobile A est enregistré. Les élèves réalisent l'expérience. Une représentation de la situation sous forme de schémas annotés est alors demandée à chaque élève ; les représentations sont ramassées et classées au cours de la séance. Trois cas se présentent : ceux qui n'ont pas vu le support où B repose et ne décrivent qu'une phase, ceux qui, ayant vu le support, font cesser le mouvement de A en même temps que celui de B, et ceux (15%) qui ont vu les deux phases. Les élèves sont informés des résultats.

Les élèves soulèvent alors plusieurs questions : ils ont tous réalisé la même expérience et ne la décrivent pas de la même façon. Quelle est donc la situation ? Comment la représenter ? Y a-t-il deux phases et pourquoi ? Que permet de dire le document enregistré ? C'est l'ensemble du groupe classe qui propose des solutions pour chercher à répondre aux questions posées.

le problème
émerge et les
élèves le
résolvent

L'expérience est alors reprise, le document enregistré est analysé par les groupes et met nettement en évidence les deux phases du mouvement, la réalisation des représentations interactionnelles et spatio-temporelles est introduite par l'enseignant, comme moyen d'analyser les phases d'un mouvement ; cet outil sera nommé "bande dessinée" ; cette introduction se fait en s'appuyant sur les travaux et les réflexions des élèves.

Une seule expérience ne suffira pas à surmonter les obstacles que représentent à la fois le principe d'inertie et le découpage spatio-temporel ; la suite du cours de mécanique de Première permet de revenir sur ces questions et d'étendre la définition des phases aux mouvements oscillatoires.

3.3. Le rapport au savoir évolue aussi

Nous essaierons d'analyser, avec cet exemple, l'évolution des rôles de l'enseignant et de l'élève liée à l'évolution des tâches et à une réduction de la dissymétrie enseignant/enseigné.

Les situations d'apprentissages mises en place sont variées et permettent de tenir compte des connaissances des élèves.

l'enseignant est
attentif et
enregistre

Dans la phase exploratoire, la tâche de l'enseignant ne consiste pas à contrôler la justesse de ce qui est dit. Il ne s'agit pas d'évaluer, mais de mettre en place un apprentissage. Le questionnaire rendu aux élèves ne comporte aucune remarque, car à cette étape, que la réponse soit juste ou fautive, n'a qu'une importance secondaire. L'enseignant observe la manière dont l'élève s'exprime, perçoit les choses et, dans cette situation, il apprend autant de l'élève que l'élève apprend de lui ; sa tâche, durant la discussion, est d'être l'organisateur des prises de paroles ; il facilite l'expression des élèves en leur demandant de préciser, autant que possible leurs assertions, quelles qu'elles soient, d'utiliser, au besoin, des exemples ; lorsque ces justifica-

tions sont apportées, il est possible que des contradictions apparaissent dans le raisonnement, il ne les soulève pas si elles échappent à la classe (ce qui est rare). Il peut y avoir conflit de points de vue, le professeur alors ne tranche pas, il essaye d'être neutre ; il organise la discussion en proposant, sur le mode interrogatif, des convergences entre les idées émises, il fait en sorte que les élèves prennent l'habitude de s'écouter les uns les autres ; il renvoie les questions qui lui sont posées à la classe. Il s'agit de faire admettre aux élèves que leurs pairs sont aussi leurs interlocuteurs.

L'objectif après cette étape, est de faire naître une interrogation pour essayer de conduire les élèves à remettre en question ce qu'ils disent. L'enseignant a, en effet, au cours de la phase exploratoire, pu repérer un obstacle qu'une seule séance de travaux pratiques ne permettra pas de lever : quelle relation existe entre les forces qui s'exercent sur un système et la variation de la vitesse de ce système ? Il met en place une situation qui permet cette remise en question. La première discussion a permis aux élèves de confronter leurs arguments ; mais tant que les élèves manipulent, réalisent des schémas il n'y a pas d'interrogation pour eux, ils obéissent à la demande du professeur. Pourquoi exiger d'eux une "bande dessinée" alors qu'ils ne pourront la faire correctement que s'ils analysent les forces qui s'exercent sur le solide en mouvement ; ils ne feront pas cette analyse spontanément lors de la réalisation de l'expérience. Le problème va naître des divergences, du conflit entre les connaissances des élèves, l'expérience "vue" et l'expérience réalisée. La situation créée entraîne pour beaucoup des questions et une motivation pour résoudre l'énigme. L'enseignant fixe ensuite des tâches aux élèves pour organiser leur recherche : analyse des interactions, mesures précises, exploitation des mesures. Les notions de phase et d'instants, présentes dans les productions d'un grand nombre d'élèves, deviennent explicites lorsque le professeur les fait apparaître au tableau, dans une "bande dessinée".

un moyen pour
faire naître un
problème

La situation créée permet à l'élève de confronter son expérience à celle des autres, ses connaissances préalables avec celles en cours d'élaboration dans la classe. Les discussions ont lieu entre les groupes et entre groupes et enseignant.

Ce mode de travail pédagogique, à tendance appropriative, se situe dans un cadre limité : celui de l'apprentissage d'une méthode de résolution que l'élève est libre ou non d'utiliser pour résoudre des problèmes. Il a nécessité :

- une analyse des outils à introduire, pour déterminer les objectifs de l'enseignement,
- une prise en compte de la réflexion des élèves,
- une utilisation de leurs connaissances,
- un climat de classe favorable à l'expression de chacun pour déterminer les obstacles à surmonter.

3.4. Résultats

La suite du cours de mécanique de Première a permis de revenir sur les notions introduites ; différentes séquences ont eu lieu pour introduire les concepts et les aides à la résolution de problème élaborées par le groupe PROPHY. Nous avons cherché alors à savoir si les élèves s'étaient construits une méthode de résolution et s'ils utilisaient les outils introduits. Nous avons, pour cela, après enseignement, réalisé, à un mois d'intervalle, deux entretiens avec cinq élèves sur des problèmes nécessitant l'application du théorème de l'énergie cinétique et comportant plusieurs phases. Nous avons fait les constatations suivantes.

- Chaque élève a sa propre manière de résoudre. Le même élève, à un mois d'intervalle, effectue les mêmes actions dans le même ordre : soit un dessin pour voir puis une suite de schémas, soit un schéma et une description orale de la situation et de son évolution, soit aussi l'étude d'une phase (celle sur laquelle porte la question) totalement, jusqu'à sa mise en équation avant de passer à l'autre phase.
- Certains analysent les phases et décrivent l'évolution au moment où ils analysent les forces s'exerçant sur le système, reliant ainsi analyse spatio-temporelle et interactionnelle.
- Ils savent, en général, ce qu'ils ont à faire et le font. Ils connaissent les éléments de planification et l'énoncé du théorème sert de base à cette planification. La phase de compréhension de la situation est assez longue et a lieu avant toute mise en équation.
- Certains différencient encore mal le champ des concepts de force et travail d'une force.

Il y a donc, semble-t-il, dans ce deuxième essai une plus grande cohérence entre l'objectif (permettre à l'élève de construire sa méthode de résolution), les instruments (des aides utilisables enseignées en même temps que les concepts) et les tâches (résolution d'exercices utilisant ces aides). Le rapport au pouvoir évolue tout en restant dissymétrique et le rapport au savoir évolue aussi.

L'exemple que nous venons d'exposer se situe dans le cadre des Instructions Officielles existantes ; il montre qu'il est possible de faire évoluer la formation en s'intéressant davantage à l'apprentissage des élèves qu'à l'organisation de ce que dit l'enseignant ; mais **la manière dont est considérée la physique** est une limite importante fixée par le système. En effet la physique apparaît plus comme un ensemble de concepts construits, organisés de manière hiérarchisée que comme une science qui se pratique et qui possède ses modes de raisonnement spécifiques. La grille de capacités élaborée par l'Inspection Générale et qui sert de base à l'évaluation dans les classes et au baccalauréat en décrit une qui est la pratique d'une démarche scientifique,

les élèves possèdent leurs méthodes de résolution

le système institutionnel limite le mode de travail pédagogique

cela sous-entend que l'élève soit formé dans ce sens ; nous pensons que cela est difficile à réaliser dans les conditions actuelles ; les élèves ne savent pas penser comme des scientifiques et un apprentissage devrait être mis en place. Par exemple, se poser une question de physique n'est pas une activité spontanée de l'élève, cela s'apprend ; de même, les activités de modélisation d'une situation, de choix des conditions de son étude pourraient être enseignées.

4. LE PROBLÈME COMME ACTIVITÉ DE RECHERCHE

Dans un travail mené en commun avec une équipe de chercheurs espagnols (D. Gil Perez et ses collaborateurs), nous avons tenté en France une expérience pour développer le modèle déjà décrit dans cette revue (Dumas Carré et al., 1989 et Dumas Carré et al. 1992) et pour analyser le mode de travail pédagogique qui pouvait être utilisé.

4.1. Le cadre de l'expérience

Dans une classe de Première S, dans le cadre d'un projet d'établissement, les élèves et l'enseignant disposent de séances spécifiquement consacrées à la résolution de problèmes. Ces séances, d'une heure trente ont lieu en plus de l'horaire normal et la classe est partagée en deux groupes de 16 à 18 élèves. Les élèves ont bénéficié, au cours des heures habituelles, des aides cognitives élaborées par le groupe Prophy.

Une séance est ainsi organisée :

- les élèves constituent des groupes de 2 à 5 participants ;
- les activités fixées font alterner recherche en petit groupe, production au tableau des résultats des recherches et discussions de l'ensemble du demi-groupe classe autour des résultats affichés.

Nous avons enregistré, à chaque séance, en vidéo, le travail d'un groupe (rarement le même d'une séance à l'autre) et le travail du demi-groupe classe, lors des discussions d'ensemble.

4.2. Schéma de déroulement d'une séance

Au début d'une séance, l'enseignant propose un problème qui décrit de manière phénoménologique une situation ; celle-ci n'est jamais totalement précisée. Après un premier travail de groupe, une discussion menée par le professeur permet de s'entendre sur la situation à étudier par tous ; les décisions sont prises en fonction des propositions des élèves et de leurs connaissances. Par exemple, à partir de la question : un objet est lancé, jusqu'où monte-t-il ? Le problème

une autre gestion
de la classe

problématiser
une situation

deviendra : le lancer de l'objet est vertical (car les élèves ne sauraient pas, à ce niveau, traiter d'un lancer oblique), les frottements dus à l'air seront considérés comme négligeables (parce que les élèves préfèrent souvent commencer par un cas qui leur paraît plus simple). Il est possible, qu'à ce stade, tous les éléments de modélisation ne soient pas envisagés, l'enseignant ne les précise alors pas dans l'immédiat. (Ce problème est posé, dans les manuels, de la façon suivante : un objet considéré comme ponctuel est lancé verticalement vers le haut avec une vitesse initiale v , calculer l'altitude maximale qu'il atteindra ; on donne $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$).

Un deuxième travail de groupe mettra les élèves en situation de :

émettre des hypothèses

- définir de quels facteurs dépend l'altitude atteinte par l'objet,
- d'envisager comment varie l'altitude atteinte lorsque l'on fait varier séparément chacun de ces facteurs,
- de considérer les cas limites ayant un sens physique.

Les groupes consignent leurs résultats au tableau et une discussion s'engage. L'enseignant demande à chacun de rechercher les points communs aux différentes productions et les divergences. Les élèves discutent alors essentiellement de leurs désaccords et justifient leurs points de vue ; le professeur n'intervient que pour faire préciser aux élèves leurs raisonnements. Par exemple, pour ce problème posé, certains groupes proposent, comme facteurs déterminants l'altitude atteinte, la masse de l'objet ou encore la force que la main exerce pour lancer l'objet, l'altitude étant d'autant plus grande que la force est plus grande. D'autres groupes, rétorquent que la force intervient lors de la phase de lancement pour communiquer une vitesse à l'objet et que le facteur déterminant est donc la vitesse initiale et non la force de la main. Les élèves ne sont pas toujours convaincus par les arguments de leurs pairs et le professeur n'utilisera pas l'autorité que lui confèrent ses connaissances pour les départager ; les facteurs ont été émis à titre d'hypothèses, le droit au désaccord, au tâtonnement et à l'erreur est une nécessité si l'on veut que l'élève ose s'exprimer.

planifier la résolution

Un autre travail de groupe permettra de choisir les théorèmes à utiliser pour résoudre le problème et de planifier le traitement de ce dernier. A ce niveau, avec le problème posé, les élèves peuvent appliquer le théorème de l'énergie cinétique ou le principe de conservation de l'énergie mécanique. Certains élèves étudieront la phase de lancement suivie de celle où l'objet est lâché, d'autres n'envisageront que la montée. L'affichage au tableau des résultats, la discussion et l'évaluation de la relation obtenue permettront de clarifier l'étude de la situation envisagée. L'exemple que nous avons pris semble, a priori, élémentaire ; mais il est, faute d'un découpage temporel cohérent, source de difficultés pour les élèves ; habituellement celles-ci sont esquivées car l'énoncé, en ne fournissant que les deux données nécessaires à

l'obtention d'un résultat, restreint l'étude à la seule phase de montée, rendant inutile une analyse temporelle et un repérage des deux phases.

4.3. Les rapports au savoir et au pouvoir sont modifiés

Nous chercherons à montrer que, avec cette façon de travailler, une séance se construit à partir des connaissances des élèves, mais il est difficile de déterminer si la modification du rapport au savoir entraîne celle du rapport au pouvoir ou si c'est l'inverse.

deux conceptions différentes entraînent des représentations différentes

Les élèves expriment leurs manières de concevoir la situation proposée par l'enseignant au cours de leurs discussions intra-groupes et, après affichage au tableau du résultat de leurs recherches, dans les discussions inter-groupes. Dès la première tâche fixée, il y a extériorisation des conceptions des élèves, de la façon dont ils se représentent la situation ; les élèves, ayant bénéficié des aides élaborées par le groupe PROPHY, sont en mesure d'explicitier, de communiquer cette représentation. Celle-ci porte aussi bien sur la description qu'ils font que sur les hypothèses qu'ils émettent concernant les facteurs pertinents pour le problème. Deux conceptions, ou deux analyses différentes entraînent des représentations différentes et la discussion s'engage alors entre les élèves. Par exemple, dans le problème donné, les élèves qui envisagent la force de la main comme facteur pertinent, considèrent la totalité de la situation alors que les autres ont déjà fait, implicitement, un découpage temporel et ne s'intéressent qu'à la phase où l'objet est déjà lancé.

Un autre exemple permet de reproduire une discussion entre élèves. Le problème posé est le suivant :

"Un ressort horizontal fixé à un mur est retenu comprimé par une ficelle. Une bille est posée contre l'extrémité du ressort. On brûle la ficelle. Décrire la suite..."

le ressort se détend instantanément

Élève 1 : *"On a la boule et puis c'est attaché ; ça c'est la première phase ; ensuite, la deuxième phase, le fil s'est consumé, la bille a un mouvement et donc le ressort il est détendu, et donc entre ces deux instants, on a la ficelle qui se consume... Dès que la ficelle aura fini de se casser, gtoc, la bille va partir. En un instant le ressort se détend, la bille part, quitte le ressort."*

Élève 2 : *"Il y a une phase d'accélération quand même, quand la bille est propulsée par le ressort... Pour que la bille passe d'une vitesse nulle à une vitesse non nulle... Il faut du temps."*

Élève 3 : *"Quand le ressort se détend, si on prend le bout du ressort, il va moins vite au début qu'à la fin donc... Le ressort se détend et ça, ça demande du temps..."*

La description donnée par l'élève 1 (détente instantanée) est très différente de celle donnée par les élèves 2 et 3. Ces

représentations différentes sont les indices de conceptions sous-jacentes différentes.

La discussion s'organise très vite entre les groupes, sans que le professeur ait à intervenir ; de fait, les résultats étant affichés au tableau, les informations sont à la disposition de tous, tout élève est en mesure de prendre la parole s'il la demande, l'enseignant n'a une place privilégiée que parce qu'il connaît un peu plus de physique que les élèves. L'affichage au tableau permet aussi de créer un climat d'écoute attentive dans la classe ; toutes les propositions des élèves prennent un intérêt, sont discutées, cela entraîne une motivation de leur part et les échanges verbaux se font dans le respect de chacun. Il est vrai que lorsque les élèves argumentent, les concepts physiques ne sont pas toujours explicites ; par exemple, dans le cas du ressort que nous avons cité, les élèves ne parlent pas de transfert d'énergie, ni même d'énergie cinétique, comme l'aurait probablement fait l'enseignant ; mais les élèves étant sur le même registre, il est possible qu'ils se comprennent mieux.

Quel est alors le rôle de l'enseignant ? Il est présent, lors du travail de groupe pour aider les élèves à orienter leurs recherches. Il essaye de répondre à une question par une autre mettant l'élève sur la voie, il ne donne que rarement une solution toute faite. Lors des discussions, il est organisateur ; mais il est surtout le point de référence et celui qui expliquera ce qui n'a pas été compris et que la discussion n'a pas permis d'éclaircir.

Si les conceptions des élèves sont discutées, les connaissances physiques qu'ils sont en train d'acquérir le sont aussi. Ils sont en apprentissage, les concepts ne sont pas encore bien différenciés les uns des autres ou la signification physique d'un théorème n'est pas totalement perçue. Par exemple, dans le problème de l'objet lancé, la masse de l'objet n'intervient pas dans l'expression de la relation donnant l'altitude atteinte par l'objet. Les élèves comprennent bien que mathématiquement il y a eu simplification, et que ce facteur disparaît ; mais physiquement ? Le travail du poids de l'objet est bien résistant au cours de la montée, le poids joue, donc la masse. C'est l'enseignant qui fera prendre en compte aux élèves le fait qu'au départ, à vitesse égale, un objet plus massif possède une énergie cinétique plus grande qu'un objet léger ; les deux corps montant finalement à la même altitude, à condition de négliger les frottements de l'air.

Le traitement littéral du problème ne permet pas toujours à tous d'aboutir à une expression juste ; là encore, c'est évidemment, en dernier recours, l'enseignant qui tranche. Les élèves attendent d'ailleurs de lui qu'il reprenne le pouvoir ; mais lorsqu'il le fait, les explications qu'il apporte s'appuient sur une recherche collective, sur des arguments échangés, sur un travail de chacun.

élèves et
enseignant
disposent des
mêmes
informations

les connaissances
à acquérir sont
discutées

5. CONCLUSION

Nous avons décrit et analysé différents exemples d'enseignement/apprentissage de la résolution de problèmes ; ils nous permettront de préciser deux types de modes de travail pédagogique en situation scolaire.

5.1. Le mode de travail pédagogique de type transmissif

Le premier cas s'intéresse essentiellement à l'enseignement et non à l'apprentissage. Si l'objectif d'aider les élèves à surmonter les difficultés rencontrées lors de la résolution de problèmes classiques a été, pour certains élèves, atteint, il a en partie été détourné ; en effet, l'utilisation du guide de consignes outil performant élaboré en référence à un modèle est devenu l'objectif ; par ailleurs, celle-ci a déterminé une certaine gestion de la classe. Nous dirons que, dans ce cas, le mode de travail pédagogique est de type transmissif, nous précisons ainsi ses caractéristiques :

- l'enseignement est centré sur le contenu des connaissances à acquérir,
- l'objectif de la formation est fixé en référence à un modèle jugé satisfaisant,
- le rôle du professeur est de réduire l'écart entre le modèle de savoir et le savoir de l'élève,
- la dissymétrie de la relation enseignant/enseigné est accentuée par une sous-utilisation du savoir et des possibilités de l'élève.

5.2. Le mode de travail pédagogique de type appropriatif

Le deuxième cas décrit une séquence d'apprentissage d'outils conceptuels pour élaborer une représentation d'un problème de mécanique. L'enseignant, avec cet objectif, a mis en place une situation problème en tenant compte des connaissances des élèves et des obstacles qu'ils devaient franchir pour acquérir des notions connues comme difficiles. Les rapports au savoir et au pouvoir s'en sont trouvés modifiés et ont évolué vers un mode de travail pédagogique de type appropriatif ; néanmoins, celui-ci s'est trouvé limité par le cadre institutionnel des programmes qui ne considèrent pas toujours la physique comme une science qui se pratique. Dans le troisième cas, la référence au travail de recherche scientifique est explicite ; un des objectifs est d'apprendre à l'élève à procéder comme un scientifique qui doit d'abord cerner son problème et faire un certain nombre d'hypothèses avant de se lancer dans un traitement quantitatif. Ces deux derniers exemples permettent de préciser ce que l'on peut entendre par mode de travail pédagogique de type appropriatif en situation scolaire :

non savoir/non
pouvoir de
l'élève

la référence à la
recherche
scientifique

- l'enseignement n'est pas uniquement centré sur le contenu des connaissances à acquérir mais s'intéresse aux relations que professeur et élèves entretiennent avec ce contenu,
- l'enseignant met en place des situations qui utilisent les possibilités des élèves et les conduisent vers un projet de résolution,
- les connaissances ne sont plus une barrière entre partenaires, mais une nécessité pour résoudre les problèmes posés,
- ces connaissances sont articulées sur une pratique des élèves organisée par le maître. Les activités sont choisies pour favoriser l'appropriation du savoir.

Pour être cohérent avec un tel mode de travail pédagogique il est nécessaire d'admettre que le professeur ne détient pas seul le savoir et le pouvoir ; mais qu'en déléguant le savoir, il délègue aussi le pouvoir. Cela sous-entend :

- favoriser l'expression en évitant que le dialogue ne s'établisse qu'entre enseignant et enseigné,
- prendre en compte toutes les questions et les conceptions des élèves pour les utiliser, les discuter, les faire fonctionner pour montrer leurs limites,
- organiser les tâches des élèves afin d'utiliser leurs possibilités, tâches qui ne sont pas gratuites.

Un certain nombre d'arguments militent en faveur de ce mode de travail pédagogique ; si, en tant que formateur, on se préoccupe plus des apprentissages de l'élève que de son activité propre d'enseignant, il n'est pas possible d'ignorer ce que les élèves savent et peuvent faire, il est nécessaire de cerner les obstacles avant de commencer à agir, faire l'économie de ces approches aboutit à travailler en aveugle.

Il n'est pas nécessaire que tout l'enseignement ait lieu sous les formes que nous avons décrites, mais l'introduction de quelques séances de ce type modifie le comportement des élèves et celui du professeur : le mode de travail pédagogique de type transmissif majoritairement dominant actuellement peut alors sensiblement évoluer.

Monique GOFFARD
Andrée DUMAS-CARRÉ
GDSEPT Paris 7

pour déléguer le
savoir, déléguer
le pouvoir

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CAILLOT M. & DUMAS-CARRÉ A. (1987)- "PROPHY : un enseignement d'une méthodologie de résolution de problèmes de physique". *Collection Rapports de recherches n°12*, pp. 197-244, Paris : INRP.

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 n°8*, pp.135-160.

DUMAS-CARRÉ A., GOFFARD M. & GIL D. (1992)- "Difficultés des élèves liées aux différentes activités cognitives de la résolution de problèmes". *ASTER n°14*, pp.53-75.

LESNE M. (1977) - *Travail pédagogique et formation d'adultes, éléments d'analyse*. Paris : PUF.

REIF F. & HELLER J.I.(1982) - "Knowledge structure and problem solving in physics". *Educational psychologist*, 17, pp. 102-127.