

UTILISER DES SITUATIONS - PROBLEMES POUR ENSEIGNER LES SCIENCES PHYSIQUES

Guy ROBARDET
Collectif Recherche-Formation
en didactique des Sciences Physiques
IFM Université Joseph FOURIER
GRENOBLE.- MAI 89

Les professeurs de sciences imaginent que l'esprit commence comme une leçon... Ils n'ont pas réfléchi au fait que l'adolescent arrive dans la classe de physique avec des connaissances empiriques déjà constituées : il s'agit alors, non pas d'**acquérir** une culture expérimentale, mais bien de **changer** de culture expérimentale, de renverser les obstacles déjà amoncelés par la vie quotidienne.

Gaston BACHELARD

Les évaluations et les enquêtes récemment réalisées en France dans les lycées montrent que les élèves éprouvent de sérieuses difficultés lorsqu'on les met en situation de pratiquer véritablement une démarche scientifique. Tout se passe comme s'ils ignoraient pratiquement tout d'elle si bien que cette pratique est généralement exclue des épreuves d'évaluation et des examens. De plus, il faut bien en convenir, nos élèves n'aiment pas la physique telle qu'elle leur est enseignée. L'usage quasi-systématique de la démarche inductiviste dans notre enseignement des sciences physiques semble en grande partie responsable du fait que dans leur majorité, les élèves ne comprennent pas cette matière. Ceci ne va pas, pour le moins, sans poser un problème épistémologique dont il convient de se préoccuper sans tarder.

I - Critique du modèle didactique classique inductiviste

L'enseignement classique des sciences physiques utilise de manière privilégiée la démarche inductiviste. Celle-ci repose sur l'analyse, en classe, d'une expérience prototypique à partir de laquelle sont *mis en évidence* les concepts et les lois. Ce passage des faits à la loi s'appuie sur la rigueur, l'observation et la mesure.

Dans son cours de physique de la classe de seconde (1928), E. VOISIN présente ainsi la démarche inductiviste :

" L'expérience avant toute chose. Dans l'étude d'un sujet quelconque, nous faisons parler l'expérience avant toute chose. Le plus rapidement possible, nous la faisons parler dans ce qu'elle a de plus précis : les mesures. Rassemblés dans des tableaux, les nombres

qui résultent des mesures conduisent, soit à la détermination d'une constante physique, soit à la construction d'un graphique d'où découlent les lois".

Cependant cette démarche qui peut séduire l'enseignant, ne va pas sans présenter de sérieuses difficultés au niveau du fonctionnement cognitif de l'élève :

I.1- L'objectif de cette démarche est l'enseignement du modèle et non pas la modélisation.

L'élève est spectateur d'un raisonnement sans tâtonnements, construit en dehors de lui. Il assiste à la révélation de la loi, à l'introduction des concepts. Même s'il manipule, ce n'est pas lui mais le professeur qui conduit l'exploitation théorique de l'expérience. L'inductivisme évacue le doute : tout doit être clair, parlant, simple. Il s'agit de donner à l'élève "*le sentiment inébranlable qu'il est là dans le domaine des faits*" (LIARD 1904). La conceptualisation doit être rapide. L'apprentissage est programmé. L'élève doit suivre au fur et à mesure que le programme avance.

L'expérience de classe est conçue pour coller au modèle ; elle est donc artificielle, déconnectée de la vie. Cette expérience, au caractère prototypique, tend à enseigner directement le modèle en même temps qu'elle montre les faits. Elle doit permettre de passer le plus vite possible à la mesure. Pour ce faire, elle est volontairement simplifiée, épurée, réalisée au plus proche du modèle afin de coller avec lui, quitte à apparaître considérablement éloignée des phénomènes de la vie courante. En ce sens, les expériences réalisées sur table à coussin d'air constituent un exemple typique de cette situation de classe.

I.2 - L'option inductiviste ne prend pas suffisamment en compte le fonctionnement cognitif de l'élève.

L'option inductiviste vise à transmettre les représentations du maître. Elle ne s'appuie pas, elle ignore même, celles de l'élève. "Toute la recherche en didactique de cette dernière décennie montre à quel point les représentations naïves des élèves résistent à un tel enseignement *experimental*". (JOHSUA et DUPIN 1985). Citons pour mémoire les résistances observées à propos du principe de l'inertie ou des lois de l'électrocinétique par exemple et qui sont si bien décrites par J.L. CLOSSET (1989) ou L. VIENNOT (1979).

Qu'est-ce qui se construit alors dans la tête de l'élève ?

D'une part, dans le meilleur des cas, l'élève accepte le modèle et apprend à le manipuler, cependant que d'autre part, et dans le même temps, il conserve intactes ses conceptions construites sur des situations réelles qu'il considère comme non analysables par la Physique. "Ainsi ce qui disparaît dans ce fonctionnement, c'est le rôle de l'expérimentation permettant à l'élève de **créer** un espace de sens et de construire un savoir nouveau comme solution à une classe de problèmes..." (JOHSUA et DUPIN 1985) "Et quoi qu'on dise, dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir de connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit" (BACHELARD 1938).

Ceci nous conduit à penser que la démarche inductiviste, très généralement utilisée dans l'enseignement des sciences expérimentales, est loin d'être motivante et constructrice de connaissances chez l'élève. Celui-ci assimile plus ou moins intuitivement la *démarche scientifique* qu'on lui propose à du bricolage pour le moins artificiel quand il n'y voit pas une sorte de malhonnêteté intellectuelle comme en témoignent les résultats d'une enquête récemment effectuée par Régine BOYER et Andrée TIBERGHIE (1989) dont voici quelques extraits :

"Tous ont en commun de ne pas contester radicalement l'existence d'un enseignement obligatoire de sciences physiques. C'est sa mise en oeuvre qui est en cause : la connaissance y est hégémonique, et dissociée de l'action. L'accumulation de savoirs apparaît comme une fin en soi propre au système éducatif, alors que le désir de connaissance semble lié au souhait d'action ou de réflexion..."

"... On note donc que les sciences physiques ne provoquent pas un fort intérêt par elles-mêmes, contrairement à d'autres disciplines. Elles ne retiennent qu'une frange de scientifiques". En témoignent ces propos d'élèves :

- *"C'est très scolaire, on ne peut pas s'en servir en dehors du milieu scolaire".*
- *"On est obligé de suivre le programme, c'est pour le niveau le plus élevé".*
- *"Les questions doivent se rapporter au cours seulement,... C'est dommage de se restreindre de poser des questions quand on a de l'intérêt pour quelque chose... Après on ne cherche plus à savoir".*

II - Pour une démarche réellement constructrice du savoir scientifique

A partir de ce constat, nous avons essayé d'élaborer une démarche didactique plus proche de la démarche scientifique. Ici, l'expérience n'est plus première, elle ne vise plus la "mise en évidence des lois". Elle intervient, au contraire a posteriori, pour confirmer ou infirmer une hypothèse. Le raisonnement n'est plus inductif mais hypothético-déductif. Cette démarche repose sur trois critères :

II.1 - Nécessité de prendre en compte les représentations initiales de l'élève.

Avant l'apprentissage, l'élève n'est pas vierge de toute conception. Il a généralement déjà une représentation mentale, souvent erronée, de la chose qu'il doit étudier. Cependant, la réception d'un message, l'analyse d'un fait ne peut être effectuée par l'élève qu'à travers son propre système de représentations. C'est ce système et lui seul qui lui permet de décoder l'information qu'il reçoit . C'est en fonction de l'évolution de celui-ci qu'il construira, révisera ou affinera son savoir La construction du savoir suppose donc la prise en compte des représentations initiales de l'élève.

II.2 - Révision du rôle de l'expérience.

L'apprentissage, c'est-à-dire l'évolution des représentations de l'élève vers un système objectivement et scientifiquement acceptable, ne pourra être réalisé que progressivement, sous le contrôle de l'expérience.

Il sera donc souhaitable de supprimer l'expérience prototypique et de lui substituer toutes les fois que ce sera possible des expériences-tests au moyen desquelles l'élève pourra vérifier lui-même, **a posteriori**, la validité de ses représentations.

Ainsi les concepts, les lois ne découleront plus d'une expérience première; ils seront assimilés par l'élève à la lumière de l'évolution de ses représentations.

II.3 - Bien distinguer le modèle et les faits.

L'option inductiviste repose, nous l'avons dit, sur un enseignement des théories effectué au plus près de l'observation des faits. Le principal inconvénient d'une telle procédure est que l'élève ne fait pas la différence entre les faits et le modèle - l'environnement théorique - qu'il n'a pas élaboré. Il limite alors le raisonnement scientifique en s'en tenant au calcul par l'emploi de formules. On connaît la suite...

Une démarche se proposant de construire un apprentissage réellement scientifique devra donc veiller à bien différencier le modèle et la réalité des faits. A cette fin, il sera prudent de partir de situations expérimentales profondément ancrées dans la réalité quotidienne et non simplifiées a priori, et de conduire l'élève à élaborer lui-même le problème traitable du point de vue de la physique (GIL PEREZ et MARTINEZ-TORREGROSA, 1987). Finis les points matériels, les glissements sans frottements, les pistes rectilignes, les bobines non résistives, les lentilles parfaitement convergentes, les actions mécaniques ponctuelles, les $g = 10$, les angles de 30° ... C'est à l'élève de simplifier s'il veut résoudre au moyen du modèle élaboré en classe. Ainsi, en mécanique par exemple, il sera utile de faire réfléchir et débattre longuement les élèves sur de nombreuses situations prises dans la vie courante, **jamais simplifiées par avance**, et de n'introduire le modèle constitué par le vecteur-force muni de ses lois que lorsque la classe en comprendra la nécessité. Le modèle apparaîtra alors comme l'outil qui permet la résolution. Quant à la simplification nécessaire de la situation, elle sera **décidée et argumentée par l'élève** dans le but de pouvoir lui appliquer le modèle et de déterminer une solution acceptable au problème.

III - Un instrument didactique adapté : la situation-problème

Plusieurs essais effectués en classe nous ont conduits à l'élaboration d'un cadre didactique visant à substituer à la démarche inductiviste une procédure hypothético-déductive. L'instrument de cette procédure, *la situation-problème*, a été décrit en 1983 par Guy BROUSSEAU : Il s'agit "...non pas de communiquer les informations qu'on veut enseigner, mais de trouver une situation dans laquelle elles sont les seules à être satisfaisantes ou optimales - parmi celles auxquelles elles s'opposent - pour obtenir un résultat dans lequel l'élève s'est investi".

Dans le même esprit, Ph. MEIRIEU la définit ainsi : "Il est proposé aux sujets de poursuivre une tâche. Cette tâche ne peut être menée à bien que si l'on surmonte un obstacle qui constitue le véritable objectif d'acquisition du formateur. Grâce à l'existence d'un système de contraintes le sujet ne peut mener à bien le projet sans affronter l'obstacle. Grâce à l'existence d'un système de ressources, le sujet peut surmonter l'obstacle".

L'enseignement de Gaston BACHELARD montre à l'évidence que les obstacles à la construction de la connaissance constituent une difficulté majeure en Sciences Physiques et que le dépassement de ces obstacles est indispensable à la formation de l'esprit scientifique. Forts de ces enseignements et de nos recherches en classe, nous avons pu dégager les attributs d'une situation-problème en sciences physiques :

1.- L'objectif pédagogique visé par une situation-problème est toujours le franchissement d'un obstacle par l'élève. **Ce n'est donc qu'après avoir parfaitement identifié cet obstacle que le maître peut entreprendre la recherche de la situation-problème la plus adaptée.**

2.- L'étude doit être construite autour d'une **situation concrète et non épurée, expérimentale ou théorique, qui doit permettre à l'élève d'anticiper l'observation ou la réponse à la question posée puis de formuler des conjectures ou des hypothèses.**

3.- L'élève, éventuellement placé en présence du dispositif expérimental, doit être conduit à **formuler ses conjectures préalablement à la mise en oeuvre de l'expérience. Il sera ainsi contraint d'explicitier ses représentations.**

4.- La situation-problème doit revêtir un caractère énigmatique pour l'élève et doit donc s'accompagner d'un **besoin de résoudre** : il doit y avoir problème **pour l'élève.**

5.- L'élève **ne doit pas avoir, au départ, les instruments de la résolution.** En ce sens, la situation-problème se distingue de la plupart des problèmes habituellement proposés aux élèves. **C'est le besoin de résoudre qui doit conduire l'élève à élaborer ou à s'approprier les instruments de la résolution.**

6.- La formulation de conjectures vise à révéler à l'élève **l'écart qui existe entre ses représentations et les faits.** Elle suscite, par conséquent, le conflit cognitif et socio-cognitif entre les élèves qu'il conviendra de gérer dans le cadre d'un **débat scientifique**, l'objectif étant de faire évoluer favorablement les représentations.

IV - Un exemple d'utilisation en classe, d'une situation-problème : travail sur la loi d'Avogadro

Ce travail a été réalisé avec une classe de seconde de lycée. Il s'agissait d'amener les élèves à vérifier la loi d'Avogadro, à bien comprendre que cette loi est une conséquence de la structure des gaz et qu'elle s'explique par le modèle microscopique étudié au collège. Si l'on préfère, l'objectif était de mettre le doigt sur le paradoxe apparent de la loi **"des volumes égaux de gaz différents, mesurés à la même température et sous la même pression, contiennent le même nombre de molécules"**.

IV.1 La situation problème proposée à la classe.

IV.1.1 On a rempli devant les élèves quatre bouteilles identiques avec du butane, du dichlore, du dioxygène et du gaz carbonique. Dans les bouteilles, les quatre gaz sont à la même pression et à la même température (valeurs locales)¹.

Consigne donnée à chaque élève qui devait fournir une réponse écrite (travail individuel durée : 5 min.) :

"Selon toi, ces bouteilles contiennent-elles le même nombre de molécules ? Si oui, explique pourquoi. Si non, quelle est celle qui en contient le plus grand nombre et pourquoi ?"

Bien entendu, les élèves n'avaient pas la loi et ne l'avaient jamais expérimentée en classe. Il s'agissait en l'occurrence de repérer les représentations initiales des élèves et de les amener à expliciter ces représentations en s'engageant individuellement par rapport à la question posée.

IV.1.2. Les réponses individuelles ont été ensuite communiquées à la classe. Elles se répartissaient de la façon suivante :

| réponse donnée | nombre de réponses | argumentation avancée |
|--|--------------------|--|
| Les 4 bouteilles contiennent le même nombre de molécules | 0 | |
| La bouteille de dioxygène contient le plus grand nombre de molécules | 14 | La molécule n'a que 2 atomes, elle est petite et il y en aura plus |
| | 2 | La molécule a la masse la plus faible donc il y en aura plus |
| La bouteille de dichlore contient le plus grand nombre de molécules | 5 | Le dichlore a la plus grande masse il y en a donc plus |
| La bouteille de butane contient le plus grand nombre de molécules | 6 | La molécule de butane contient beaucoup d'atomes. il y en aura donc plus dans la bouteille |
| | 1 | Elle contient beaucoup d'hydrogène et l'hydrogène est très léger |
| | 1 | La molécule de butane est longue donc plus compressible. On pourra en mettre plus |

Inutile de dire que les élèves ont été très surpris par la diversité de leurs réponses et surtout par les différents arguments avancés. Remarquons que personne n'a fourni la réponse exacte ce qui était d'ailleurs attendu. Un premier débat spontané entre les élèves s'est traduit par le retrait des quatre dernières argumentations et des conjectures correspondantes. A l'issue du débat, tout le monde s'accorde sur le dioxygène même si les arguments diffèrent.

¹ Nous avons dû écarter le dihydrogène qui diffuse trop facilement hors des récipients et le gaz de ville qui est un mélange d'air et de méthane.

IV.1.3 On pouvait dès lors s'attaquer au travail collectif de vérification des hypothèses. La consigne suivante fut donc donnée à la classe (travail en petits groupes de 4 à 5 élèves. durée : 15 min.).

"Comment pourrait-on déterminer le nombre de molécules de chacun des gaz contenus dans les bouteilles ? Faites une proposition de mesure expérimentale ou de calcul. Dans ce dernier cas , indiquez les données qui vous seraient utiles".

Selon les groupes, les élèves proposent deux méthodes :

a.- Un calcul est possible en partant du volume v d'une molécule de chaque gaz. On connaît le volume V des bouteilles donc $N = \frac{V}{v}$.

b.- Une mesure de la masse m des gaz contenus dans les bouteilles permettrait d'avoir la réponse puisqu'on connaît la masse molaire moléculaire M de chacun.

$$N = \frac{m}{M} * N_A \quad (\text{constante d'Avogadro})$$

IV.1.4 On a alors proposé à la classe de procéder aux deux vérifications. La première fut réalisée immédiatement, la deuxième fit l'objet d'une séance de travaux expérimentaux dont le protocole fut conçu avec la classe lors d'un débat :

- Quelle balance choisir.
- Influence de la nature des bouteilles (on avait choisi des bouteilles d'eau minérale).
- Comment tenir compte de l'air présent dans une bouteille "vide" ?
- Que faire de la poussée d'Archimède ? etc.

La séance de mesures terminée, les résultats obtenus ayant été affichés, on a demandé à la classe de les comparer avec les valeurs obtenues par le calcul² (tableau ci-dessous).

| | butane | dioxygène | dichlore | gaz carbonique |
|--|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| M en g/mol | 58 | 32 | 71 | 44 |
| vol. d'une molécule (en 10^{-29} m^3) | 20,3 | 5,28 | 9,33 | 7,08 |
| N par la mesure de la masse | $3,6 \cdot 10^{22}$ | $3,7 \cdot 10^{22}$ | $3,6 \cdot 10^{22}$ | $3,6 \cdot 10^{22}$ |
| N calculé par les volumes | $0,73 \cdot 10^{25}$ | $2,9 \cdot 10^{25}$ | $1,6 \cdot 10^{25}$ | $2,1 \cdot 10^{25}$ |

IV.2 le débat scientifique.

Les élèves constatent très vite que, même si les calculs portant sur les volumes semblent conforter la conjecture retenue, les deux méthodes conduisent à des résultats différents. Cela n'avait pas été prévu.

² Les volumes des molécules ont été obtenus à partir des volumes de Van der Waals en cm^3 par mole.

Il faut alors choisir et argumenter.

"- Le calcul par les masses est faux : on trouve toujours la même chose.

- Oui mais le nombre de molécules dépend du remplissage... on peut toujours en mettre plus et le calcul effectué n'en tient pas compte...".

"Qu'est-ce que tu veux dire par en mettre plus ?".

"- Ça veut dire rapprocher les atomes.

- Non , les molécules, elles se serrent, on en met plus .

- Mais alors, c'est le calcul par les volumes qui est faux... il ne tient compte que du volume des molécules.

- C'est comme si elles étaient serrées les unes contre les autres. La valeur calculée représente le nombre maximum qu'on pourrait mettre mais pas celui qui y est réellement et qui est plus petit".

"Et entre les molécules de gaz qu'est-ce qu'il y a ?

"- De l'air.

- Rien.... Du vide.

- Des molécules de vide.

- Idiot, le vide ça veut dire rien !

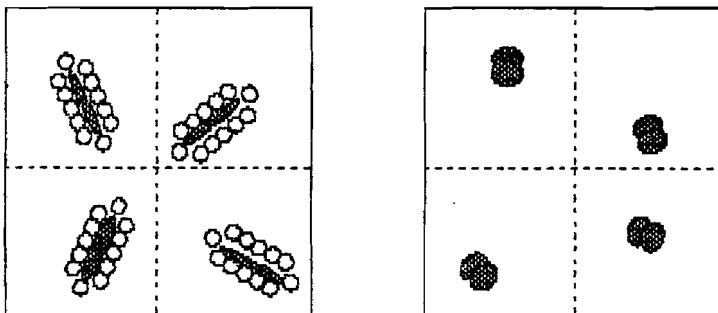
- Mais alors s'il n'y a rien entre les molécules c'est le calcul par les masses qui est exact.

- Impossible, on trouve toujours pareil.

- !... !..."

Il fallait sortir de l'impasse, et inciter les élèves à se représenter les molécules de gaz dans un modèle compatible avec les résultats expérimentaux obtenus pas les masses.

Dans la séquence décrite ici, une représentation a été proposée aux élèves à ce stade de la discussion :



La construction de la représentation par les élèves eux-mêmes, aurait certainement été préférable, cependant, l'évolution du débat a été positive.

*"- Ah oui, ça veut dire qu'elles ont le même encombrement.
- Leurs mouvements sont pareils".*

"Alors quel est le calcul acceptable et pourquoi ?"

*"- Ce qui compte , c'est la place qu'elles prennent dans leur mouvement.
- Il y en a le même nombre dans toutes les bouteilles, peu importe ce qu'elles sont".*

Dès lors que les élèves avaient bien saisi qu'il fallait analyser la situation au moyen du modèle microscopique des gaz, ils devenaient capables de donner tout son sens à la loi d'Avogadro. C'était le moment d'institutionnaliser le savoir c'est-à-dire, pour l'enseignant, d'écrire la loi et de demander aux élèves de calculer la valeur du volume molaire moléculaire correspondant aux conditions de l'expérience, ce qui fut fait sans difficulté.

IV.3 - Evaluation de l'apprentissage.

Quelques jours après, les élèves ont eu à résoudre le problème suivant au cours d'une interrogation écrite :

*"Une cartouche de "gaz de camping" contient 420 g de butane liquide. Calcule le volume de gaz qu'on pourra espérer recueillir de cette cartouche lors de son utilisation.
Parmi les données ci-dessous, tu pourras utiliser celles qui conviennent".*

Formule du butane : C_4H_{10} densité : 2,00 volume d'une molécule : $2,09 \cdot 10^{-28} \text{ m}^3$.

Volume molaire dans les conditions locales : 25 l. mol^{-1} .

Masses molaire atomiques exprimées en g.mol^{-1} C : 12 H : 1.

Le problème a été parfaitement bien traité par la moitié des élèves. En majorité, les autres élèves ont montré qu'ils avaient compris la loi d'Avogadro même s'ils ne sont pas parvenus à la solution. Fait remarquable, aucun élève n'a utilisé les données superflues non pertinentes. A l'issue de ce travail, aucune erreur sur l'emploi de cette loi ne fut plus jamais constatée dans cette classe. En particulier la loi n'a jamais été employée pour des liquides ou des solides, ce qui est une erreur couramment rencontrée.

V.- En conclusion

Comme on le voit, ce qui caractérise la démarche pédagogique que nous venons d'exposer, c'est qu'ici, il y a dès le début, appropriation d'une problématique par la plus grande partie de la classe. Traditionnellement, le problème est utilisé pour vérifier l'efficacité d'un enseignement et le statut de l'expérimental vise plutôt à illustrer ou à confirmer la démarche d'exposition de l'enseignant. Ici, au contraire, le problème se situe en amont de l'apprentissage son rôle est de susciter des questions et des actions dans le but de construire un savoir nouveau. L'expérience est ici le moyen de valider ou d'invalider les anticipations des étudiants. Le statut du vrai ou du faux est également modifié comme l'est d'ailleurs celui de la réussite et de l'échec : l'important n'est pas qu'une conjecture soit vraie ou fausse mais qu'elle existe et soit clairement formulée. Même fausse, elle aura permis une fois écartée, un progrès de la connaissance.

Plusieurs exemples de situations didactiques construites sur une démarche hypothético-déductive et mettant en jeu le débat scientifique en classe ont été expérimentés tant en sciences physiques qu'en biologie ou en mathématiques et ce en collège comme en lycée. Toutes les fois les réactions des élèves furent pertinentes et positives et les évaluations qui suivirent attestèrent un bon niveau de compréhension. Ces résultats positifs et la prise en compte progressive aux examens de la capacité de l'élève à conduire une démarche expérimentale³, ne peuvent que nous encourager à rechercher plus systématiquement la mise en oeuvre, en classe, de telles situations d'apprentissage.

Références :

- J.P. ASTOLFI et M. DEVELAY, 1989, *La Didactique des Sciences* (Que sais-je ? P.U.F).
- G. BACHELARD, 1938, *La formation de l'esprit scientifique* (Vrin).
- N. BALACHEFF, 1987, Construction et observation d'une situation didactique : La somme des angles d'un triangle. (*Equipe de didactique des Mathématiques et de l'Informatique. Université Joseph FOURIER GRENOBLE*).
- R. BOYER et A. TIBERGHIE, 1989, Des opinions de professeurs et d'élèves sur l'enseignement des sciences physiques au lycée (*Bulletin de l'Union des Physiciens* N° 712 pp 305-322).
- G. BROUSSEAU, 1981, Problèmes de didactique des décimaux (*Recherche en Didactique des Mathématiques* Vol.2 N° 3).
- A.F. CHALMERS, 1988, *Qu'est-ce que la Science ?* (La Découverte).
- J.L. CLOSSET, 1989, Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique. (*Bulletin de l'Union des Physiciens* N° 716 pp 931-949)
- D. GIL PEREZ et J. MARTINEZ-TORREGROSA, 1987, La résolution de problèmes comme activité de recherche : un instrument de changement conceptuel et méthodologique. (*Petit x* N° 14-15 pp 25-38. IREM Grenoble).
- S. JOHSUA, 1985, *THESE* : Contribution à la délimitation du contraint et du possible dans l'enseignement de la physique (essai de didactique expérimentale).
- M. LEGRAND, 1989, La crise de l'enseignement, un problème de qualité. Le rôle spécifique des mathématiques. (*Equipe de didactique des Mathématiques et de l'Informatique. Université Joseph FOURIER GRENOBLE*). Editions Aléas.
- Ph. MEIRIEU, 1988, *Apprendre, oui mais comment ?* (E.S.F).
- J. VIARD, 1989, L'homme au troisième millénaire face à l'incertitude. (*Rapport du groupe de prospective - Alliance Universitaire de Grenoble*).
- L. VIENNOT, 1979, *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire* (Hermann).

³ La liste des capacités à évaluer en Sciences Physiques a été publiée et commentée dans le BUP n° 687 d'octobre 86 et dans le B.O. n° 3 spécial de juillet 87. Les conditions de prise en compte de cette liste aux épreuves du Baccalauréat ont fait l'objet d'une circulaire publiée au B.O. n° 35 d'octobre 87. De plus, un mode d'emploi de la liste des capacités figure dans les référentiels de Sciences Physiques de la classe de seconde parus récemment et disponibles dans les Centres de Documentation des lycées.