

Objets simples et savoir complexe : lorsque la transposition aboutit à des modèles pseudo-scientifiques

par Daniel BEAUFILS

Institut National de Recherche Pédagogique
Département Technologies Nouvelles et Éducation
91, rue G. Péri - 92120 Montrouge
& IUFM Versailles - Centre d'Orsay C.A.P.E.S.
Bâtiment 470 - 91405 Orsay Cedex

La préparation à l'épreuve sur dossier du C.A.P.E.S. de sciences physiques est vraiment une activité formidable ! Non peut-être pour les étudiants qui passent le concours, mais pour les formateurs un tant soit peu intéressés par la didactique qui, en se plongeant dans les ouvrages scolaires, découvrent alors un monde parfois étrange... Les textes du savoir que l'on lit dans ces modes de transmission que sont les manuels, brochures pédagogiques et autres fiches¹ non seulement s'éloignent parfois significativement des attendus fixés par les programmes officiels, mais contiennent des «objets» qui semblent bien n'exister que dans l'enseignement : après la première phase de transposition (transposition externe opérée par la noosphère) on peut donc ainsi étudier le fonctionnement de la seconde transposition²...

Les textes d'un savoir à enseigner ? Car là est bien la question : certains documents présentent des contenus qui ont été érodés d'avoir sans doute été trop bien rodés, ou qui présentent des modèles (parfois réduits à l'extrême) comme une réalité expérimentale... Dès lors ces savoirs sont inopérants en dehors de l'exercice *local*, et il arrive même qu'ils constituent un *ensemble incohérent* : d'un chapitre à l'autre les «lois» ou «concepts» ne fonctionnent pas de la même façon... Nous avons eu l'occasion d'attirer l'attention sur ce type de situation à propos

-
1. Que ce soit en provenance du Ministère, de C.R.D.P. ou d'éditeurs privés.
 2. Cf. Y. CHEVALLARD [1985] pour les concepts de transposition et de noosphère, ainsi que A. TIBERGHEN (1989), J.-L. MARTINAND (1986), G. ARSAC (1994), S. JOSHUA et J.-J. DUPIN (1993) cités en bibliographie.

du passage du chapitre de mécanique classique à celui des actions électromagnétiques en classe de lycée³ ; dans la suite nous voulons montrer que les difficultés d'enseignement peuvent surgir dans un domaine simple, comme celui des piles et des ampoules tel qu'il est abordé au collège. L'analyse nous ramènera ensuite à une réflexion sur les enjeux d'une formation des maîtres.

1. UNE SITUATION SIMPLE D'ÉLECTRODINAMIQUE

1.1. Des objets simples...

Si nous avons choisi le domaine de l'électrodynamique c'est, d'une part, parce que dans les manuels scolaires il constitue un monde plein de surprises et, d'autre part, parce qu'il a fait l'objet de nombreux travaux de didactique. Citons ici rapidement les premières études sur le raisonnement séquentiel en électrodynamique, les difficultés générales de prédiction qualitative concernant le fonctionnement de circuits simples, la question de la relation théorie-expérience dans les expériences quantitatives sur les courants, etc.⁴. Notre propos n'est pas d'illustrer une nouvelle fois ces résultats bien connus aujourd'hui⁵ mais, en illustrant quelques-unes des difficultés qu'il peut y avoir à enseigner un peu de physique à un niveau élémentaire, d'attirer l'attention sur l'importance des connaissances de didactique ou, du moins, sur celle d'acquiescer ne serait-ce que quelques réflexes de vigilance en la matière. Même si le monde des piles et des ampoules est un monde d'objets simples, le domaine reste celui d'un savoir complexe⁶...

Considérons, pour être concret, les quatre exercices suivants tirés de différents chapitres d'ouvrages scolaires pour la classe de quatrième :

3. Voir l'article «*Enseignement de science expérimentale : questions de vigilances*» dans le B.U.P. n° 776, p. 1283.
4. Voir notamment les travaux de J.-L. CLOSSET et S. JOSHUA : cf. les ouvrages et articles cités en bibliographie.
5. Et prises en compte, précisément, dans l'élaboration des textes des nouveaux programmes de collège et de lycée.
6. Voir par exemple A. TIBERGHIE (1994).

Exercice n° 1

On réalise le montage schématisé ci-dessous.
Les tensions nominales sont indiquées sur la figure 1.

- a - Quelles lampes brillent normalement ?
- b - Quelles lampes sont en surtension ?
- c - Y a-t-il des lampes en sous-tension ?

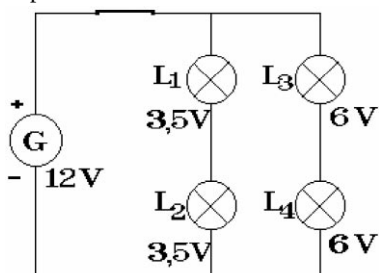


Figure 1

Exercice n° 2

Votre camarade semble satisfait de son montage schématisé ci-dessous : quand il manœuvre l'interrupteur il commande l'allumage de la lampe.

- a - Quel élément du montage est mal branché ?
- b - Compléter les phrases :
 - dans le circuit, la lampe s'allume quand l'interrupteur est ..., et elle s'éteint quand l'interrupteur est ...
 - normalement, quand l'interrupteur est ouvert, le courant ... la lampe est ... et le générateur ne débite pas.
 - or, ici quand l'interrupteur est fermé, le courant ne passe pas par la ... mais par ... Dans ce montage on dit que les bornes du générateur sont ...

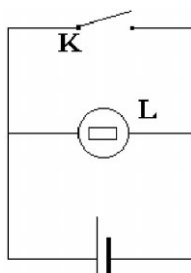


Figure 2

Exercice n° 3

Un circuit comporte deux lampes L_1 et L_2 et deux interrupteurs K_1 et K_2 . Quelle doit être la position de K_1 et celle de K_2 pour réaliser les trois situations suivantes ?

- a - L_1 et L_2 brillent.
- b - L_1 brille et L_2 est éteinte.
- c - L_1 et L_2 sont éteintes.

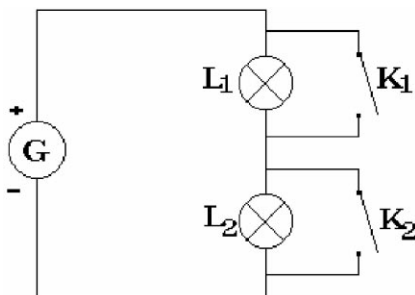


Figure 3

Exercice n° 4

Le générateur ci-après a une tension constante de 6 V, et les lampes L_1 et L_2 portent l'indication 6 V ; 0,3 A.

- a - K étant ouvert, la lampe brille-t-elle normalement ?
- b - K étant fermé, L_1 brille-t-elle autant, plus ou moins que précédemment ? L_1 brille-t-elle autant plus ou moins que L_2 ?

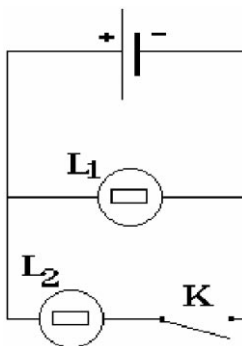


Figure 4

1.2. ... des phénomènes moins simples...

Nous n'insisterons pas ici sur les questions de formulation qui, pourtant, complexifient la tâche des élèves : «les tensions nominales...» (celle des ampoules et non du générateur), «le générateur de tension constante...» (schématisé comme une pile), «la position des interrupteurs...» (où il faut comprendre ouvert/fermé, et non pas leur position dans le circuit pourtant essentielle dans l'exercice), «normalement, quand l'interrupteur est ouvert...» (où l'on se demande ce que veut dire «normalement» en physique⁷ et où «L'interrupteur» dont on parle dans telle question n'est justement pas celui dont il est question...).

Car, à ces aspects, s'ajoutent d'autres plus importants, parce que peut-être plus pernicious. Citons d'abord le cas du premier exercice : un électricien serait sans doute bien en peine de répondre, surtout s'il expérimente avec une collection d'ampoules de 5, 10 et 15 W, par exemple. Cet exercice est, à ce titre, tout à fait caractéristique de textes où seul l'enseignant de physique⁸ *sait* répondre : dans le cas présent il faut *bien évidemment* supposer que les ampoules de même tension nominale sont aussi de même puissance... Ce «modèle d'ampoule» entre alors clairement en contradiction avec les situations de la vie courante où les ampoules à usage domestique se différencient précisément par leur puissance... Mais laissons encore cela et venons-en à «l'archétype» de l'interrupteur placé en parallèle sur une ampoule. Ah la belle situation ! Inutile de dire l'écart avec les situations du physicien, de l'ingénieur, de l'électricien et de la vie de tous les jours... Et si, indépendamment de cela (!) on veut comprendre que l'objectif du second exercice est centré sur l'importante notion de court-circuit, on reste interrogateur : l'essentiel est-il vraiment dans le fait que la lampe s'éteigne ?

«Non - répond le maître - l'important est que le fil chauffe ; c'est ce que tu as constaté expérimentalement en classe ; et c'est justement pour éviter les risques d'incendie que l'on installe un disjoncteur dans le circuit domestique ; il coupe le courant...

– Ah, je comprends, dit Jacques, et c'est pour cela que l'ampoule s'éteint ! C'est comme dans le c) de l'exercice 3 : les deux lampes

7. Pour ne pas demander ce que cela veut dire dans l'enseignement de la physique...

8. Et donc l'élève qui a bien appris sa leçon...

s'éteignent quand on a fermé les deux interrupteurs, car le fusible du générateur claque⁹ !

– ...».

Mais laissons l'élève (!) et revenons aux textes, à celui du quatrième exercice en particulier : pas de court-circuit et seulement un interrupteur. Tout se passe bien : la lampe L_1 brille normalement, y compris quand la lampe L_2 est alimentée : les récepteurs étant montés en parallèle, la tension imposée par le générateur est de 6 V pour chacun d'eux, et les lampes sont donc alimentées correctement.

«Même, demande Jacques qui a réfléchi au premier exercice, si les lampes sont de puissances différentes ?

– *Oui, bien sûr, les récepteurs sont en parallèle, la tension aux bornes sera la même, mais l'intensité sera différente dans chaque branche : si l'ampoule L_2 est plus puissante que l'ampoule L_1 , l'intensité sera simplement plus grande dans la branche 2 que dans la branche 1.*

– *Et si on utilise une pile comme sur le schéma ?*

– *C'est la même situation, la pile c'est un générateur de tension ; on l'a bien vu avec les voltmètres en classe... aux incertitudes près.*

– ...

– *Cela ne te paraît pas clair ?*

– *Si... Si, mais alors, pourquoi la lampe s'éteint quand on met un interrupteur en parallèle sur une ampoule comme dans l'exercice 3 ? Le montage est bien en parallèle...*

– ...

– *Car, explique Jacques, si chaque branche est indépendante il y aura une forte intensité dans l'interrupteur, mais cela ne change rien pour la lampe : elle devrait toujours briller normalement ?*

– *Ah mais attention ! Là quand on ferme l'interrupteur, on fait un court-circuit ! C'est comme lorsqu'on met un fil entre les deux bornes ; tu te souviens de l'expérience faite en classe ?*

– *Oui.*

– *Eh bien aux bornes d'un fil de connexion, la tension est pratiquement nulle, on l'a vu également, tu te souviens ? Et si aux bornes du court-circuit la tension est nulle l'ampoule ne brille plus...*

9. Ce qu'il a dû voir expérimentalement.

– Ah oui, c'est vrai, la tension entre les extrémités d'un fil conducteur de connexion est nulle », récite Jacques.

La sonnerie retentit...

Chacun part vers sa nouvelle tâche...

Mais soudain...

«Monsieur, monsieur !»

C'est Jacques qui court derrière son professeur dans le couloir.

«Monsieur, je ne comprends plus rien ! Si la tension est nulle aux bornes de l'ampoule, elle est nulle aux bornes du générateur ! Et puis en plus, si elle est nulle aux extrémités du fil qui fait court-circuit, comment peut-il y avoir un courant ?».

2. ANALYSE : OBJETS SIMPLES ET SAVOIR COMPLEXE

2.1. La difficulté d'explication et la naissance d'un savoir pseudo-scientifique

Le dialogue précédent est purement imaginaire : il n'est qu'une mise en scène de quelques bribes de texte pris çà et là dans des manuels scolaires¹⁰ afin de montrer les difficultés de formulation, et l'émergence d'objets ou de modèles «pseudo-scientifiques» qui peut en résulter.

Ainsi, dans nos exemples, n'avons-nous pas vu apparaître qu'une ampoule pouvait être caractérisée par une seule grandeur - sa tension nominale -, que les grandeurs «tension» et «puissance» étaient dans ce cas équivalentes et qu'un interrupteur pouvait servir à faire des courts-circuits ; *des ampoules et des interrupteurs «spécial enseignement» ?* De même, la pile, initialement générateur en «modèle réduit», ne devient-elle pas *un modèle de générateur de tension* (pour les montages d'ampoules en parallèle) tel qu'il empêche ensuite évidemment toute interprétation correcte des effets d'un court-circuit dans

10. D'autres dialogues auraient pu être faits avec des phrases du type : *«la tension entre les bornes d'un générateur n'est jamais nulle»* et *«quand un fil de connexion est branché en parallèle le courant est dérivé dans ce fil et devient plus intense»* ou, encore : *«dans le cas d'un court-circuit, le courant peut emprunter deux chemins... c'est le chemin le plus facile, le meilleur conducteur, qui est parcouru par le courant électrique... Le courant circule alors uniquement dans le bon conducteur sans passer dans la lampe»* (sic.)

cette situation, tandis que d'un autre côté des explications du type «tout le courant passe dans le court-circuit» induisent un modèle faux. Parallèlement, si j'ose dire, le générateur de tension ne devient-il pas un appareil sur lequel on peut brancher en parallèle tous les récepteurs que l'on veut ? Le risque est bien présent puisqu'il ne faut pas forcer beaucoup pour arriver à des paradoxes :

- celui du «bon» générateur de tension - capable de délivrer un important courant, tout en maintenant sa propre tension et tout en supportant une tension nulle imposée à ses bornes par un court-circuit ;
- et celui de l'existence même d'un courant important circulant sous «la tension nulle du court-circuit» alors que la règle énoncée préalablement est du type «pas de tension entraîne pas de courant»...

A moins que ce dernier cas ne soit résolu en considérant les fils de connexions comme des dipôles particuliers, et que «tension nulle» en est la caractéristique, leur *propriété* même !

Faut-il, sous prétexte d'une simplification, certes nécessaire à ce niveau d'enseignement, *risquer* laisser comprendre cela ? Risquer laisser apprendre de tels modèles, non seulement inopérants dans la réalité quotidienne à laquelle il convient par ailleurs de se référer, mais renforçant des représentations erronées qui feront peut-être obstacle ensuite dans la progression des apprentissages¹¹ ? Ou bien faut-il rester vigilant et ne pas croire en la fausse simplicité des objets que l'on donne à manipuler aux élèves ? Non seulement la simplicité des objets eux-mêmes est une illusion¹² mais elle cache un savoir complexe où très clairement, l'*articulation* entre le référent empirique et le niveau des modèles est le nœud d'intelligibilité des phénomènes. L'exemple du court-circuit avec une pile est intéressant à ce titre : non seulement il peut y avoir difficulté à faire une prédiction en l'absence d'expérience, mais il ne peut y avoir de compréhension correcte de ce qui se passe qu'en relation avec un modèle relativement élaboré : la difficulté vient alors que la relation monde réel/connaissance n'est plus simplement entre objets et modèles d'objets, mais entre *phénomène* (court-circuit) et *relation entre grandeurs* (caractéristique tension-intensité) qui caractérisent le système en fonctionnement (pile qui débite dans un circuit). On aura compris ici que la relation simple/complexe n'est pas

11. Voir les différentes études menées sur l'électrocinétique du collège à l'université (B.U.P. n^{os} 683, 706 et 716 par exemple).

12. Il s'agit seulement de leur banalité dans notre XX^e siècle...

une banale opposition. La critique ci-dessus porte bien sur la confusion complexe-compliqué : la complexité étant associée à la complication, la simplification conduit au simplisme...

2.2. Le glissement des savoirs et savoir-faire enseignés

Les éléments ci-dessus faisaient référence aux manuels scolaires. Il est clair que la seule référence doit être celle des programmes officiels. A ce niveau, ces derniers sont tout à fait clairs : bien évidemment il n'est nullement question d'interrupteurs placés en parallèle, et même «l'importante» notion de court-circuit ne figure pas explicitement dans les textes ; la seule indication porte sur le «rôle des fils conducteurs de connexion : son rôle en série et en parallèle avec d'autres dipôles» ; on notera ici que le cas d'une seule ampoule n'est pas spécifié, et que la simplicité - ci-dessus démontée - d'un tel circuit peut largement justifier d'éviter de le traiter... Au niveau des compétences attendues des élèves on note d'ailleurs la formulation indiquant clairement que «un dipôle peut être parcouru par un courant sans tension notable¹³ à ses bornes». Le jeu d'interprétation des textes officiels et l'effet d'amplification - et donc l'écart qui en résulte - lors du passage au savoir transmis par les ouvrages sont évidents¹⁴.

La question des compétences évoquée ci-dessus nous amène à une autre critique possible : celle portant sur la possible confusion entre exercices de formation et exercices d'évaluation. S'il peut en effet être intéressant d'illustrer telle ou telle propriété par un circuit «particulier», ou de solliciter la sagacité des élèves sur tel ou tel circuit, leur utilisation à des fins d'évaluation peut être discutable. De plus les compétences exigibles des textes officiels sont essentiellement spécifiées en termes pratiques et pragmatiques : «réaliser des circuits avec... identifier et réaliser des montages... mesurer... identifier les pôles d'une pile... montrer expérimentalement que... reconnaître qu'il peut y avoir...». Autant de compétences qui ne relèvent pas d'une évaluation papier-crayon. Insistons encore à cette occasion, que tout exercice du type ci-dessus, et *a fortiori* toute évaluation papier-crayon s'appuyant

13. C'est nous qui soulignons : cette formulation montre bien par ailleurs la difficulté qu'il peut y avoir dans une approche alternativement qualitative et quantitative : notable, ça veut dire quoi ?

14. Ces effets sont sans doute d'autant plus manifestes qu'il s'agit de manuels scolaires correspondants à la mise en place de nouveaux programmes ; une étude systématique de ces écarts serait certainement instructive.

sur de tels schémas de montage, ne porte que sur la manipulation et la compréhension de *schémas* et *modèles* ; c'est d'ailleurs bien ce qui est apparu ci-dessus : les questions ne portent pas sur le fonctionnement réel de circuits réels, mais bien sur les modèles de piles, d'ampoules et de générateurs. À ce passage déjà difficile, il conviendrait donc que ne vienne point s'ajouter un choix *variable* et *discutable* de «modèle».

3. POUR CONCLURE SUR LA FORMATION DES MAÎTRES

Choisir la référence plutôt que son interprétation, distinguer l'essentiel des artefacts, détecter et désamorcer les pièges de la simplicité, etc., sont autant de compétences qui nécessitent une formation. On en revient donc au point de vue initial de la formation en IUFM, et on comprend les difficultés des étudiants dans leur préparation de l'épreuve sur dossier du C.A.P.E.S. où ils ont précisément à résoudre et commenter des exercices de manuels scolaires et à répondre aux questions de formateurs vigilants.

Cela dit, ce niveau d'analyse me semble non seulement peu accessible aux étudiants de première année (car ce point de vue va généralement à l'encontre de leur vécu tout au long de leur scolarité), mais constituer un objectif *difficilement évaluable concrètement à l'oral*.

On pourrait penser que ce type de formation pédagogique et didactique est (serait) à assurer en seconde année d'IUFM. Mais on sait là aussi la difficulté actuelle, liée aux modalités en cours : les modules complémentaires, plus ou moins communs, apparaissent vite comme surcharges inutiles à ces jeunes professeurs qui ont d'abord à gérer l'écart considérable qu'il y a entre l'exigence précédente du concours et la pratique qu'ils rencontrent, en collège de Z.E.P. par exemple.

Le souhait que l'on peut donc exprimer ici est que la structure de la formation en seconde année d'IUFM soit repensée, et ce non seulement pour mieux intégrer les apprentissages didactiques évoqués mais, plus globalement, dans le cadre d'une *professionnalisation* du métier d'enseignant : enseigner les sciences ce n'est pas faire des sciences, et que *la seule connaissance du domaine ne peut suffire à son enseignement*¹⁵.

15. Ce qui vaut évidemment pour toute discipline...

On aura compris que c'est aux étudiants de première et seconde année d'IUFM que j'ai pensé en proposant ce texte au B.U.P., de façon qu'ils trouvent, dans cette revue de référence pour l'enseignant de physique, quelques éléments «pré-didactiques» facilement accessibles, qui les amènent à réfléchir. Mais je gage par ailleurs que cette épreuve sur dossier, si elle perdure, verra son impact essentiellement au niveau des manuels, fiches pédagogiques (et autres supports plus modernes) qui constituent les modes de transmission d'un savoir à enseigner.

BIBLIOGRAPHIE¹⁶

Ouvrages et travaux

- [1] S. JOSHUA : «*Le schéma en électrocinétique : aspects perceptifs et aspects conceptuels. Quelques propositions pour l'introduction de la notion de potentiel*», thèse troisième cycle, Université d'Aix-Marseille, 1982.
- [2] J.-L. CLOSSET : «*Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*», thèse de troisième cycle, Université Paris 7, 1983,
- [3] S. JOSHUA : «*Contribution à la délimitation du contrait et de possible dans l'enseignement de la physique*», thèse d'État, Université d'Aix-Marseille, 1985.
- [4] J.-L. MARTINAND : «*Connaître et transformer la matière, des objectifs pour l'initiation aux sciences physiques*», Berne : Peter Lang, 1986.
- [5] A. TIBERGHEN : «*Transposition didactique, cas de la physique*», In *La transposition didactique en mathématique, physique, biologie*, Lyon : IREM et LIRDIS, Université Claude-Bernard, 1989.
- [6] Y. CHEVALLARD : «*La transposition didactique*», Grenoble : La Pensée Sauvage, 1985.
- [7] S. JOHSUA et J.-J. DUPIN : «*Représentation et modélisation : le débat scientifique dans la classe et l'apprentissage de la physique*», Berne : Peter Lang, 1989.

16. Il existe bien évidemment un grand nombre d'articles concernant l'électrocinétique ; le choix a été fait de ne citer ici que les articles en langue française facilement accessibles, ceux-ci contenant alors les autres références évoquées ci-dessus. Par ailleurs j'ai présenté ces références non pas par ordre alphabétique mais par ordre chronologique, car déjà en 1976...

- [8] V. DE LANDSHEERE : «*L'éducation et la formation*», Paris : P.U.F., Collection premier cycle, 734 pages, 1992.
- [9] S. JOHSUA et J.-J. DUPIN : «*Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*», Paris : P.U.F., Collection premier cycle, 422 pages, 1993.
- [10] G. ARSAC et al. (coord.) : «*La transposition didactique à l'épreuve*», Grenoble : La Pensée Sauvage, 180 pages, 1994.
- [11] L. VIENNOT : «*Raisonnement en physique*», De Boeck Université, 248 pages, 1996.

Quelques références d'articles français sur l'électrocinétique

- [12] A. TIBERGHEN et G. DELACOTTE : «*Manipulation et représentations de circuits électriques simple par des enfants de sept à douze ans*», Revue Française de Pédagogie n° 34, 1976.
- [13] S. JOHSUA et J.-J. DUPIN : «*L'électrocinétique du collège à l'université : évolution des représentations des élèves et impact de l'enseignement sur ces représentations*», B.U.P. n° 683, pp. 779-800, 1986.
- [14] J.-L. MARTINAND : «*Quelques apports des recherches en didactique à l'enseignement des sciences physiques*», B.U.P. n° 706, pp. 891-913, 1988.
- [15] J.-L. CLOSSET : «*Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique*», B.U.P. n° 716, pp. 931-949, 1989.
- [16] J.-J. DUPIN et S. JOHSUA : «*Analogies et enseignement des sciences : une analogie thermique pour l'électricité*», Revue Didaskalia n° 3, pp. 9-26, 1994.

Autres

- [17] «*Sciences Physiques sixièmes, Livre du professeur*», Collection Libre Parcours, Hachette.
- [18] B.O., 1993, Note de commentaires relative à la nature des épreuves concours externe du C.A.P.E.S., numéro spécial 5, pp. 41-44.
- [19] C.N.D.P., Physique-Chimie Classes des collèges, Horaires / Objectifs / Programmes / Instruction, Ministère de l'éducation nationale, 64 pages, 1994.
- [20] A. TIBERGHEN et al. : «*Analyse de projets d'enseignement issus de recherches en didactique des sciences*», in *La transposition didactique à l'épreuve*, Grenoble : La Pensée Sauvage, pp.105-133, 1994.
- [21] D. BEAUFILS : «*Enseignement de science expérimentale : questions de vigilances...*», B.U.P. n° 776, pp. 1283-1294, 1995.