

LES OBJECTIFS «IMPLICITES» DE L'ENSEIGNEMENT DE L'ELECTRODYNAMIQUE AU PREMIER CYCLE

Samuel JOHSUA
Université de Marseille

INTRODUCTION.

Cet article prend sa source dans la préoccupation suivante : comment passer de certains problèmes de recherche en didactique de la physique à une application concrète en situation de classe ?

Ce passage dans le cursus «normal»* est soumis à des contraintes propres qui peuvent influencer grandement sur le sens, l'effet, la dynamique des innovations induites par la recherche [1].

Ces contraintes propres peuvent faire elles-mêmes l'objet d'une étude approfondie. Je voudrais en présenter ici un exemple qui porte sur l'existence d'objectifs «implicites» de l'enseignement de l'électrodynamique. Ces objectifs entretiennent par ailleurs des liens étroits avec le type de représentations des phénomènes physiques effectivement favorisés par les manuels.

L'électrodynamique est au programme de la 6^{ème} et de la 4^{ème} des collèges. Voici un bref résumé des objectifs visés, en terme de contenus [2] :

Sixième :

1 - **Ampoule électrique** : étude technologique, alimentation d'une ampoule par une pile.

2 - **Circuit électrique et courant électrique** : circuit électrique, conducteurs, isolants. Schématisation. Règles de sécurité.

* Par «normal», il faut entendre ce qui se fait en dehors de toute volonté expérimentale ou de recherche. Il ne s'agit donc pas ici de travaux et d'expériences menées «en situation de classe», qui demeurent, à mon avis, du domaine de la recherche, ni plus ni moins «concrets» que d'autres voies d'approche.

3 - Montages en série et en parallèle. Court-circuit : pôles d'une pile, association de piles en série. Montages d'ampoules en série et en parallèle.

4 - Etude pratique de circuits électriques.

Quatrième :

1 - Intensité du courant : lecture d'un ampèremètre, intensité dans un circuit série, interprétation électronique du courant électrique. Courants dérivés.

2 - Tension entre deux points : lecture d'un voltmètre, visualisation à l'oscilloscope, additivités dans un circuit série.

3 - Courant alternatif du secteur.

4 - Consommation d'énergie électrique : relation $P = UI$. Energie consommée par un appareil de chauffage ou par une installation domestique.

I - UNE CONTRADICTION ?

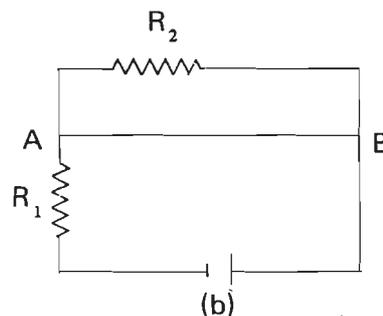
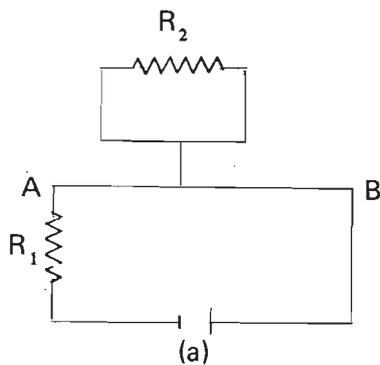
Ces objectifs étant fixés (que nous appellerons « explicites » dans la suite du texte), on peut se demander dans quelle mesure ils sont atteints et à quel niveau scolaire.

De nombreuses études didactiques sont actuellement conduites en Europe pour éclaircir cette question. Elles aboutissent à donner des réponses pour le moins nuancées. En voici quelques exemples :

(a) On pose à des élèves de terminale scientifique et de premier cycle universitaire scientifique les exercices suivants :

« Les circuits ci-dessous comportent un générateur, des résistances R , les autres fils de liaison étant de résistance nulle.

Comment se répartir l'intensité du courant entre les points A et B dans chacun des cas proposés ? ».



Ces schémas représentent des montages physiquement identiques, mais ils sont présentés sous des formes sensiblement différentes. Il n'y a aucune différence de potentiel aux «bornes» des boucles construites entre les points A et B et l'intensité qui traverse R_2 est nulle dans les deux cas.

Or les réponses sont très différentes.

Il y a 71% de réponses justes en (a) et seulement 30% en (b), au niveau universitaire. Plus que ces chiffres bruts, c'est le raisonnement des étudiants qui est intéressant ici.

En (a), la grande majorité affirme la chose suivante :

«Il n'y a qu'un fil pour faire entrer et sortir le courant» (ce qui est vrai et conduit au résultat juste).

En (b), une grande majorité poursuit ce «raisonnement en courant». Mais ici, ils ne rencontrent aucun obstacle topologique dans ce raisonnement : puisque le courant peut passer, se diviser et se recombier, le problème est terminé. Seule une petite minorité tiendra compte du fait que la résistance du fil de jonction aux bornes de R_2 est nulle.

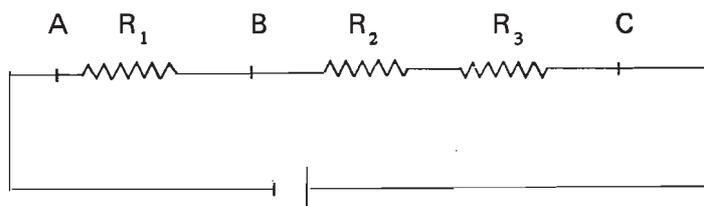
Une série d'autres études conduisent alors à avancer la conclusion suivante :

Les élèves (jusqu'à un niveau universitaire avancé) conduisent prioritairement – voire exclusivement – leur raisonnement à l'aide d'une métaphore, celle d'un «fluide en mouvement». Ce «fluide» se déplace dans des «canalisations» dont les «tuyaux» sont les branches d'un schéma normalisé. A cette métaphore se lie assez aisément l'idée d'une intensité de ce courant.

Par chance, une large classe de problèmes en électrocinétique peuvent être résolus à l'aide de cette métaphore (en particulier, tous ceux pour lesquels la question se ramène à «le courant passe-t-il ou non ?»). Mais le concept de potentiel, beaucoup plus abstrait, est quasiment absent de cette représentation. D'où des blocages spécifiques quand il faut inévitablement l'utiliser [3].

(b) On pose à des élèves de niveau terminale la question suivante :

«Soit le schéma suivant :



A l'aide d'un ampèremètre, on mesure l'intensité aux points A, puis B et C» [4].

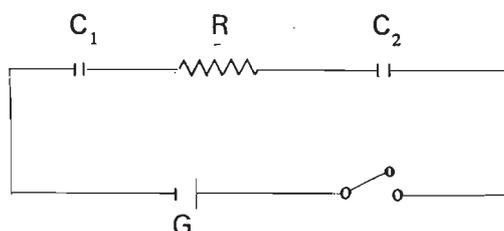
L'auteur constate qu'une majorité des réponses postule que l'intensité sera plus faible en C qu'en B et qu'en A.

Or, en se rappelant qu'il n'y a nulle part accumulation de charges dans un circuit électrique, on sait qu'au contraire l'intensité est constante en tous points d'un circuit série.

Ce modèle, dit «d'épuisement du courant», est bien connu des didacticiens... et des maîtres aussi !

On peut faire la supposition que les élèves confondent ici la notion d'intensité avec celle de potentiel (le potentiel décroît en effet continûment le long de ce circuit). Cette confusion apparaît d'ailleurs assez classiquement au collège et au lycée dans toute une série d'exercices.

(c) On pose l'exercice suivant à des élèves de niveau U.V. d'électronique :



« C_1 et C_2 sont deux condensateurs identiques. R est une résistance, G un générateur dont la résistance interne est négligeable. On ferme le circuit. Un des condensateurs sera-t-il chargé avant l'autre ? Pourquoi ?».

Le phénomène intervenant globalement dans le circuit, les deux condensateurs vont être chargés en même temps. Ce n'est pas l'avis de 56% des étudiants qui estiment que C_1 va être chargé avant C_2 , essentiellement parce que «le courant passe d'abord par C_1 et la résistance freine le courant». On voit ici à l'œuvre un raisonnement «séquentiel» ; le circuit n'est pas considéré «comme un tout» [5].

Dans quelle mesure l'enseignement initial au collège peut-il aider à combattre ces points de vue erronés ? Est-ce possible ? Cette question se pose d'autant plus que les exemples (a) et (b), et dans une moindre mesure (c), montrent des difficultés d'acquisition de notions qui sont explicitement mentionnées par les programmes officiels. L'effort du didacticien va alors naturellement porter sur cette question et conduire, le cas échéant, à des propositions réputées aptes à améliorer la situation.

C'est alors que s'impose une constatation a priori assez inattendue :

Les jugements portés par les praticiens diffèrent notablement des conclusions ci-dessus :

– L'avis assez répandu parmi les enseignants de collège est que l'enseignement de l'électricité (c'est-à-dire en 6ème et en 4ème) passe bien, mieux en tout cas que les autres.

– Une étude conduite sous la direction de Boucharin et Kahane sur un premier bilan en 6ème [6] aboutit au même résultat.

Il y a là une contradiction qui mérite analyse.

II – L'ELECTROCINETIQUE : qu'est ce qui est évalué ?

a) Peut-être alors ce qui est évalué n'est-il pas le même dans les deux cas ? Il semble effectivement qu'il en soit ainsi.

L'apprentissage qui a été testé par les didacticiens porte sur un **champ conceptuel** évidemment spécifique de l'électrocinétique. Au niveau du premier cycle, celui-ci comprend, d'après les programmes officiels : la notion de circuit électrique, celle d'intensité du courant, celle de tension ; d'une manière non spécifique à l'électrocinétique et en liaison avec la chimie, on peut compter aussi l'interprétation électronique du courant électrique.

L'apprentissage qui a été effectivement prodigué est bien différent. Prenons l'exemple de la collection «Libre Parcours», Hachette (qui est sans doute celle où l'effort de conceptualisation est le plus net) [7]. La partie «encyclopédie» de l'ouvrage de 4ème concernant l'électrocinétique comporte les chapitres suivants, avec le nombre de pages consacrées à chaque sujet :

	Pages
Ampèremètre	1,5
Phase et neutre	1
Dangers et sécurité	1,5
Courant/tension	3,5
Transformateur/redresseur	1
Voltmètre	1
Puissance-énergie	2,5
Générateurs électriques	3
Piles	2

Soit 11,5 pages de caractère plutôt «technologique» et 5,5 pages [courant/tension et piles] de caractère plutôt «conceptuelle». Encore le chapitre «piles» est-il à cheval avec la chimie.

b) On pourrait peut-être estimer que cela provient d'une option d'ensemble sur l'enseignement de la physique au collège. Mais non ! Il s'agit bien d'un traitement spécifique de l'électrocinétique.

Voici un classement rapide (mais significatif, il me semble) du reste de l'encyclopédie du même ouvrage de 4ème :

	Pages
Principes et phénomènes	30
Technologie et appareillage	5
Corrosion des métaux	2
Métaux (les divers aspects y sont mélangés)	2

La proportion y est très nettement inversée.

Autre confirmation : l'évaluation déjà citée de Boucharin et Kahane. Elle porte sur l'enseignement de 6ème et s'inspire de la collection «Libre Parcours», Hachette.

Le programme de 6ème comporte 3 parties : «combustion» ; «états de la matière» ; «électricité». Les auteurs posent des questions sur ces trois parties et obtiennent un regroupement des performances des élèves en 4 «secteurs» ; ils émettent l'avis suivant :

«Malgré le découpage un peu arbitraire des quatre secteurs, la répartition obéit à une claire logique : plus les questions sont proches du programme de sciences physiques enseignées en 6ème, plus leur «coefficient de progrès» est élevé ; quant au transfert de connaissances à des domaines non scolaires, ils sont positifs, mais limités. D'un autre point de vue, on notera [la confirmation] de l'expérience des professeurs qui estiment que cette partie du programme [l'électricité] passe bien».

Cette conclusion laisse de côté la question de savoir s'il n'y a pas différence de nature entre les questions abordées dans les trois domaines du programme. Et en réalité, c'est le cas !

Le tableau ci-dessous montre un regroupement des questions posées par les auteurs selon trois catégories approximatives : une catégorie plutôt «conceptuelle» (c'est-à-dire qui va faire appel à une explication de phénomènes dans le cadre d'un certain modèle), une catégorie plutôt «technique» (c'est-à-dire qui fera appel à des connaissances relativement isolées, mais directement utilisables), et une catégorie plutôt «pratique» (c'est-à-dire liée à un savoir-faire immédiat).

Ce classement est fait sans s'interroger sur la précision de ces catégories et leurs liens éventuels, mais il est, je crois, révélateur :

	nombre de questions	conceptuelles	technique	pratique
combustion	10	9	1	
états de la matière	10	8	1	1
électricité	13	3	8	2

■ Exemples de questions «conceptuelles» :

combustion : «Pourquoi est-il interdit de fumer à côté d'une pompe à essence, en particulier quand on fait le plein?».

états de la matière : «Quand le soleil chauffe l'eau de la mer, l'eau s'évapore. Que devient cette eau évaporée?».

électricité : «Dans une planchette en bois, on a vissé quatre vis métalliques, ABCD. Certaines sont reliées entre elles sous la planchette par des fils de cuivre que tu ne peux pas voir» (on demande de découvrir les connexions cachées à l'aide de certaines expériences, c'est-à-dire de mettre en œuvre la notion de **circuit électrique**).

■ Exemples de questions «techniques» :

combustion : «Voici une liste de matériaux. Certains peuvent brûler dans l'air. D'autres ne brûlent pas dans l'air».

états de la matière : «Ecris le nom de 3 solides, 3 liquides, 3 gaz».

électricité : «Pourquoi certaines prises sont-elles dessinées avec trois points?».

Est-il «bon» ou «mauvais» de réserver un tel traitement à l'électrocinétique ?

L'objet de cet article n'est pas à proprement parler d'émettre de tels jugements de valeurs, qui relèvent d'un autre débat. Il est d'abord de décrire ces différences et de montrer qu'il faut de toutes façons en tenir compte.

III – OBJECTIFS DECLARES ET OBJECTIFS IMPLICITES.

En effet, on soupçonne désormais que l'objectif de l'enseignement de l'électrocinétique n'est pas (loin de là) la transmission d'un modèle, même imparfait, des phénomènes physiques à l'œuvre.

(a) Citons quelques commentaires des programmes officiels [2].

L'objectif y est décrit comme visant

«... à une culture équilibrée comportant l'appréhension progressive de la méthode expérimentale et l'acquisition de connaissances, attitudes, savoir-faire permettant de comprendre quelques aspects du monde actuel, au lieu d'en subir les contraintes».

Ce qui se traduit, pour la 6ème, dans les précisions suivantes :

«... propriétés élémentaires des solides, des liquides et des gaz ; les mesures usuelles de masse et leur conversion ; l'usage du thermomètre et la distinction qualitative entre la température d'un corps et la chaleur transmise ; la compréhension **concrète** (je souligne) du circuit électrique conduisant à un dépannage simple ; les règles de sécurité tant en électricité que dans l'emploi des combustibles».

La différence de traitement des trois parties apparaît explicite.

De la même façon, en 4ème.

— En **optique**, on fixe deux objectifs :

- l'étude des phénomènes naturels (lune, éclipse, etc...) avec les connaissances qui vont avec (sources, récepteurs, vitesse de la lumière, notions d'astrophysique). On va même présenter un **modèle physique**, celui de la propagation rectiligne de la lumière ;

- l'étude d'appareils optiques usuels.

— En **électricité**, l'objectif est le suivant :

- connaissance **pratique** (je souligne) des notions d'intensité, de tension, de puissance et d'énergie rendues familières par l'utilisation et la lecture d'appareils électriques usuels.

Et encore (citation de la préface de l'ouvrage de 6ème de la collection Istra [8]) :

«Quand vous serez familiarisés avec cette matière, vous comprendrez une grande partie de la science moderne : qu'est-ce qu'une combustion ? Qu'est-ce que la chaleur ? Vous saurez aussi réaliser des circuits électriques, dépanner le circuit d'éclairage de votre vélo,...».

(b) La pratique correspond tout à fait à cette distinction.

En réalité, dans l'enseignement de la physique, l'enseignement de l'électrocinétique assume la part dominante de ce qui est traditionnellement considéré comme « expérimental », « concret », « technique », etc... On voit d'ailleurs pourquoi il en est ainsi. C'est que l'électricité combine trois avantages décisifs :

- Elle fait effectivement partie de la vie courante de chacun d'entre nous ; bien plus, elle y apparaît sous la forme d'un environnement **technique** familier (comparez avec la mécanique, par exemple ; elle aussi fait partie de la vie courante, et pour cause ! mais l'aspect **technique** y est moins net).

- Une représentation, même fruste et limitée, peut cependant permettre d'aborder avec un relatif succès une classe assez large de problèmes [3].

- Les expériences conduites sur la table de manipulation sont relativement fiables et ... peu onéreuses !

IV – L'ELECTROCINETIQUE, ENSEIGNEMENT PRETEXTE ?

(a) L'apprentissage de savoir-faire indispensables.

Citons pour commencer des aspects que l'on peut éventuellement porter au crédit de cette approche. Il s'agit essentiellement de la familiarisation avec des techniques et des savoir-faire indispensables à posséder dans tous les domaines de la physique. J'en donne ci-dessous une liste, d'ailleurs non limitative :

- La manipulation directe et concrète d'objets techniques, même simples (piles, lampes, etc...) qui peut jouer dans le sens de la démythification de l'environnement technologique (c'est là un des buts explicitement recherché par les programmes officiels).

- L'apprentissage de la mesure de grandeurs physiques. C'est sans doute là un des **points principaux** : utilisation des appareils, échelle de mesure, incertitudes de lecture, etc...

- L'utilisation de ce qui a été appris pour la résolution de quelques problèmes technologiques simples (j'entends ici des problèmes qui ne soient pas à stricte vocation didactique). Cet aspect correspond aussi à certains objectifs déclarés. Cependant il n'est présent que de manière marginale dans les manuels.

(b) Le domaine privilégié d'une fausse « démarche expérimentale ».

La commission Laguarrigue*, dans ses commentaires, fixait les objectifs principaux suivants à l'enseignement de la physique en 6ème :

* Il s'agit de la commission qui a présidé à la réforme de l'enseignement des sciences physiques dans les années 70.

- a) «aider les élèves à acquérir des éléments de méthodes scientifiques ;
- b) développer chez les élèves une attitude scientifique vis-à-vis de leur environnement ;
- c) les aider à acquérir divers savoir-faire de nature scientifique ;
- d) les initier à un certain nombre de concepts essentiels».

Ces objectifs ne sont guère contestables et ils ne le seront d'ailleurs pas ici. Cependant, leur simple énonciation ne règle nullement la question de leur contenu exact. De plus, la plupart des manuels s'en font une idée précise, mais particulièrement limitative.

«Essentielles pour la formation de l'esprit par le contact qu'elles imposent avec le réel, les sciences physiques sont des sciences expérimentales et doivent être enseignées comme telles. On ne cherchera pas dans cet enseignement des théories et des formules». Nathan, 6ème [9].

Passons sur l'assimilation entre les «théories» et les «formules». Il faut surtout insister ici sur l'option implicite qui oppose la physique comme «science expérimentale» et la physique comme collection de «théories».

Voilà balayés en une phrase non seulement le débat sur l'histoire de la construction de la physique comme corps théorique, mais surtout tout l'apport de la psychogénétique qui montre que les élèves abordent toute «expérience» par l'intermédiaire d'une représentation cognitive qui leur est propre et qui détermine largement les «conclusions» qu'ils en tirent.

Mais cette réduction de la méthode scientifique à la «démarche expérimentale» n'est possible que si on se fait une idée elle-même très réductrice de la dite «démarche expérimentale» :

«L'enseignement des sciences physiques est avant tout expérimental. Il doit vous permettre d'acquérir le **sens du concret, le savoir-faire et l'habileté indispensable**». Ed. Magnard, 4ème (1979) [10].

Énoncé comme un fait d'évidence, on a là une **option idéologique extrêmement forte** qui domine la grande majorité des manuels. Il faudrait une étude spéciale de cette question, mais cela déborderait le cadre de cet article.

Il est clair, en tout cas, que l'enseignement de l'électrocinétique va être le **domaine très privilégié de l'application de cette option**, et ceci pour les raisons déjà citées ci-dessus : aspect technique familier (vite assimilé à «du concret»), manipulations assez fiables et relativement simples, principes conceptuels en nombre relativement restreints, etc...

On tient là un autre objectif implicite de l'enseignement de l'électrocinétique : donner une idée (très particulière, comme on l'a vu) de la dite «démarche expérimentale».

Les programmes et les manuels y tiennent tellement qu'ils n'hésitent pas le cas échéant à pousser à la caricature.

Ainsi, en 4ème, les programmes officiels demandent d'entreprendre l'étude de la relation qui lie la puissance électrique, la tension et l'intensité :

$$P = UI$$

Cette demande a une certaine importance car il s'agit de la seule «formule» de tout le cours de physique du 1er cycle. On peut donc supposer que la méthode d'énonciation de cette «loi» donne un éclairage particulier sur la philosophie de l'enseignement conseillé et, par ailleurs, sur le type de formation donné aux élèves.

Les commentaires du programme affirment fièrement (p. 49) :

«La relation $P = UI$ sera découverte». Mais :

- il interdit toute introduction conceptuelle de la notion de puissance à ce moment ;
- la notion de tension n'existe que comme la lecture d'une certaine indication donnée par un appareil (le voltmètre) placé dans une certaine position. Aucune introduction conceptuelle n'est autorisée.

Comment, dans ces conditions, «découvrir» une «loi» liant des grandeurs physiques non «définies» ? C'est simple ! Par «l'expérience». Tout le monde sait qu'une lampe comporte (au moins) une indication de puissance et une indication de voltage. En utilisant plusieurs lampes différentes, alimentées sous leur tension d'usage, on peut (en mesurant à chaque fois l'intensité qui les traverse) «montrer» qu'en effectuant le produit UI (idée «spontanée» évidemment !), on retrouve à chaque fois l'indication P . «Donc», on a «découvert» que $P = UI$.

Il s'agit, ni plus ni moins, d'une escroquerie !! On prétend «découvrir» une loi gouvernant les phénomènes électrocinétiques. On ne fait que «découvrir» une construction humaine, à savoir que «le produit UI sera porté sur l'ampoule et noté P ».

On ne peut atteindre par là ni la notion énergétique de puissance, ni la loi d'Ohm sous-jacente à cette «expérience». Faut-il d'ailleurs le faire au premier cycle et comment ? C'est évidemment une autre question qui n'est pas traitée ici. Mais, face à une «démarche» qui, pour le coup, perd tout rapport avec le «concret», il faut noter que la grande majorité des manuels prennent leur distance, cherchent d'autres introductions un peu plus convaincantes. Mais l'exemple est, je crois, significatif. Il jette un

éclairage sur le rôle attribué en général à l'enseignement de l'électrocinétique au premier cycle.

(c) Un renversement de l'ordre de priorité ?

Dans les autres domaines d'enseignement, on vise principalement à faire acquérir une connaissance conceptuelle (plus ou moins développée) qui permette de «comprendre» les phénomènes considérés. Ce faisant, les commentaires des programmes souhaitent (et espèrent) faire acquérir des notions, savoir et savoir-faire qui pourront être «délocalisés» et servir aussi à d'autres parties de l'enseignement. Il me semble que c'est effectivement souhaitable. Mais l'ordre de priorité est bien celui qui vient d'être décrit : les notions spécifiques au domaine étudié dominant, le reste étant censé venir par surcroît.

En électrocinétique, par contre, l'ordre de priorité paraît renversé. Les objectifs dominants sont ceux qui sont censés être utilisables ailleurs, et c'est pourquoi on paraît se contenter d'exiger une connaissance conceptuelle relativement faible.

V – CONCLUSION.

On peut assurément discuter de cette option, prise en tant que telle. Mais pour pouvoir le faire avec profit, d'autres questions demandent à être abordées :

(a) L'une relève de travaux de recherche à venir : quelle est la solidité de transferts de méthodes ou de savoir-faire bâtis initialement dans un domaine où la connaissance conceptuelle fait défaut ?

(b) L'autre relève plutôt du vaste débat sur ce qu'il convient d'enseigner en physique et donc sur les finalités de cet enseignement.

Il est vrai que l'électrocinétique offre des avantages du point de vue manipulation pratique. Il est vrai aussi que c'est un domaine où un modèle à la fois structuré et simple peut être assez aisément présenté. Pourquoi alors ne pas prendre l'exact opposé de ce qui est actuellement proposé et en profiter pour donner justement, avec l'électrocinétique, un exemple des relations entre modèle/expérimentation/appropriation partielle de l'environnement technique ? La question mérite en tout cas d'être abordée [11]. En tout état de cause, la prise en compte de ce genre de questions apparaît indispensable à ce «passage à l'acte» évoqué en introduction. Très souvent, en effet, le cheminement du chercheur en didactique de la physique est le suivant :

– On va chercher à mettre en évidence les représentations «spontanées» (spontané s'entend ici au sens de préalable à tout enseignement organisé portant sur le domaine considéré) ; par exemple, on cherchera à savoir avec quel appareil cognitif propre une majorité d'élèves d'un certain âge aborde une matière donnée.

– On cherchera ensuite comment l'enseignement traite ces représentations (même, et surtout, quand il prétend les ignorer, ce qui est trop souvent le cas).

– On peut ainsi mettre en évidence l'effet de l'enseignement qu'on jugera positif s'il aide à combattre des représentations qui bloquent l'apprentissage et aide à en faire acquérir de plus efficaces ; on le jugera négatif si, au contraire, il renforce des représentations inefficaces ou favorise de nouveaux blocages. Bien entendu, déterminer ce qui est «positif» ou «négatif» est un problème en tant que tel, et pas parmi les plus simples.

– On peut enfin proposer une leçon, ou une succession de leçons, fondées sur les réflexions précédentes améliorer l'acquisition de tel ou tel concept, ou domaine conceptuel (par exemple, la notion de tension en électrocinétique).

Cette succession de niveaux d'études apparaît, à juste titre, comme indispensable à une approche contrôlée et méthodique des problèmes didactiques.

Mais il est nécessaire aussi de prendre en compte d'autres contraintes si l'on veut permettre d'utiliser de manière productive et dans le cursus «normal», des travaux portant principalement sur les contenus conceptuels. En tout cas, dans le cadre de l'enseignement actuel de l'électrocinétique au premier cycle, avec son idéologie dominante et ses objectifs de fait, une telle utilisation apparaît, pour le moins, bien difficile.

- 1 Y. CHEVALLARD (1982)
«Sur l'ingénierie didactique», Publications de l'IREM de Marseille.
- 2 CNDP (1979, brochure n° 6 097)
«Sciences expérimentales - Classes des collèges - 6ème, 5ème, 4ème, 3ème».
- 3 S. JOHSUA (1982)
«L'utilisation du schéma en électrocinétique : aspects perceptifs et aspects conceptuels». - Thèse de 3ème cycle, Marseille.
- 4 E. FISCHBEIN (1970)
«Modèles figuraux implicites et enseignement scientifique». Revue roumaine des Sciences Sociales.
- 5 J.L. CLOSSET et L. VIENNOT (1982)
«Contribution à l'étude du raisonnement naturel en physique». A paraître dans «Actes du Colloque de Québec».
- 6 L. BOUCHARIN et A. KAHANE (1982)
«L'enfant de sixième face aux sciences physiques». Bulletin de l'Union des Physiciens n° 646.
- 7 LIBRE PARCOURS – HACHETTE – 4ème (1979)
(CHANUT, CHARLES, DARGENCOURT, QUESNE, PEZET).
- 8 ISTRA – 6ème (1977)
(BERGER)
- 9 NATHAN – 6ème (1980)
(SAISON, MALLEUS, HARSANY, SEYFRIED, HUBER).
- 10 MAGNARD – 4ème (1979)
(MICHAUD – LE MOAL)
- 11 F. HALBWACHS (1975)
«La physique du maître entre celle du physicien et celle de l'adolescent». Revue Française de Pédagogie.