

Évaluer et comprendre les effets de l'enseignement sur les apprentissages des élèves : problématiques et méthodes en didactique des mathématiques et des sciences

Alain Mercier, Christian Buty

Les études des effets de l'enseignement sur les apprentissages des élèves conduites en didactique des sciences sont présentées selon trois types : les études a priori qui décrivent ce qui est réellement enseigné et peut donc être appris, les études relatives à la manière d'enseigner un savoir déterminé, et les études qui cherchent à décrire les manières d'enseigner pour en déduire ce qu'il est possible d'apprendre dans les conditions créées par un enseignement donné. Des exemples sont donnés, afin de montrer les méthodes et les raisonnements dans chacun des cas.

Mots-clés : didactique des mathématiques, didactique des sciences de la nature, enjeux de savoir, manières de l'étude, pratiques du professeur.

En didacticiens nous parlerons de pratiques d'enseignement, qui sont supposées produire les apprentissages des élèves : nous en rendons compte relativement à leur enjeu qui est la transmission d'un *corps de savoir*, que ce soit une *manière de penser* les problèmes d'un domaine de réalité, une *manière de faire* pour en produire une solution ou une *manière de juger* de la pertinence de la solution proposée. On peut donc évaluer des séquences d'enseignement, relativement aux *apprentissages* des corps de savoir qu'elles rendent possibles en principe (1), à ceux que l'on peut observer en situation (2) (certains peuvent être longtemps silencieux) ou à ceux qui sont attestés

dans les diverses évaluations (3) (et l'on n'évalue peut-être pas les savoirs appris par les élèves).

Beaucoup des publications anglo-saxonnes qui traitent des « effets des pratiques pédagogiques sur les apprentissages » évaluent des propositions d'innovation. Mais pour répondre à la question : « Comment telle manière d'enseigner permet-elle que des élèves apprennent, et à quelles conditions personnelles des élèves peuvent-ils apprendre ? » il faut pouvoir décrire *en général* les manières d'enseigner effectivement observables. C'est un tout autre enjeu et comme la plupart des chercheurs, Huber (2001)

conclut ainsi son enquête : « It has not to be examined only which kind of processes should be introduced in learning groups but it has also to be considered for which learning objectives and under which organisational conditions these processes seem to be suitable. There is no integrative model of conditions that are beneficial ». Robert (2001), auteur des principaux travaux francophones sur cette question, conclut de même : « Nous présentons une problématique d'analyse des pratiques enseignantes imbriquant le point de vue des effets *potentiels* (nous soulignons) des pratiques sur les apprentissages des élèves, et le point de vue du travail spécifique de l'enseignant [...] Une hypothèse implicite est qu'il peut y avoir des effets diversifiés sur les apprentissages de certains élèves en fonction du type d'enseignement donné. » La bibliographie internationale relative à l'enseignement des mathématiques donne, sur deux ans, dans la base MATHDI éditée par la European Mathematical Society et la revue ZDM (4), quelques rares références explicites au problème qui nous intéresse. Cependant, la question y est abordée dans presque toutes les langues et communautés de recherche en didactique des mathématiques selon des voies semblables à ce que décrivent les auteurs cités ci-dessus, les diverses approches didactiques étant fondées sur *l'analyse a priori* de l'enjeu de savoir : leurs conclusions sont donc proches. Que les théories fondatrices de l'observation se réfèrent à l'interactionnisme (Brandt, 2001), aux sociologies (Zevenbergen, 2001 ; Houssart, 2001), à l'anthropologie (Mercier, Sensevy, Schubauer-Leoni, 2000), ou aux théories de la cognition collective (Cobb, Stephan, McClain, Gravemeijer, 2001), les effets observés en classe sont considérés comme des *potentialités d'apprentissage*.

Dans le cadre de la didactique des sciences de la nature, les « conceptions des apprenants », qui leur viennent des expériences du monde matériel qu'ils font dans leur vie quotidienne, jouent un rôle plus important : chez la plupart des élèves les connaissances mathématiques premières semblent ne pas résister longtemps à l'enseignement, sans doute parce qu'elles n'ont pas pour origine l'interprétation que l'individu fait de ses sensations, quotidiennement. En didactique des sciences de la nature, produire un apprentissage c'est assurer l'évolution de ces conceptions premières et construire un sens pour des conceptions évoluées, en même temps que l'on transmet des éléments d'un corps de savoir. Les travaux d'ingénierie didactique visent donc, au fondement de l'édifice, à produire l'évolution observable

des conceptions venues de l'expérience quotidienne du monde : cet effet de l'enseignement sur l'apprentissage est alors objet d'évaluations plus systématiques.

INTRODUCTION

Dans la rationalisation de l'école qui s'est mise en place ces trois derniers siècles, la matière d'enseignement s'est trouvée organisée en une progression qui n'est plus progrès dans la lecture commentée d'un texte de référence faisant autorité, mais progrès dans un *texte d'enseignement* ad hoc (Chevallard et Mercier, 1987). L'efficacité des systèmes d'enseignement modernes, qui en est la conséquence, les a rendus universels. Leur perfectionnement est l'effet d'un travail collectif qui a commencé lorsque les sciences ont permis de constituer des progressions d'enseignement fondées sur l'exposé rationnel des corps de savoirs. Ainsi l'enseignement moderne ne propose pas une entrée dans la rationalité, au sens que Bachelard (1949, 1986) donne à ce terme, mais plutôt une réorganisation rationalisée des savoirs.

Nous considérons aujourd'hui que l'objet des travaux didactiques est « l'étude » (par les élèves, les étudiants, les formés, etc.) et « l'organisation de l'étude » (par les professeurs, les formateurs, les animateurs, etc.) d'un « type de savoir » (défini par une communauté savante, par une profession, par un groupe social, etc.). Nous formulons donc sous la forme suivante le principe fondateur des travaux didactiques, qui est toujours un des principes les plus productifs des recherches en didactique : *Les manières d'étudier et d'organisation de l'étude sont en rapport avec les types de savoir en jeu*. Pour autant, nous ne savons pas faire évoluer les systèmes d'enseignement et les adapter rapidement à nos choix épistémologiques. C'est ce que montrent, dans les années 1970-78, les difficultés de mise en œuvre de la modernisation des mathématiques enseignées. La compréhension des systèmes d'enseignement modernes suppose d'identifier les lois de l'organisation de toute matière d'enseignement en progressions (Chevallard, 1980, 1985, 1991), puis de décrire cette organisation des contenus de savoir, qui sont les descripteurs pertinents des relations ou interactions didactiques. Cela détermine le point de vue des observations didactiques et l'objet de ces recherches, *le didactique*.

LES DIMENSIONS D'UNE OBSERVATION DIDACTIQUE

Les didacticiens qui, ainsi que Passeron (1991) l'a écrit, ont identifié le didactique comme un domaine spécifique d'investigation dont la nécessité vient de sa position intermédiaire entre sociologie et psychologie, ont donc développé des théorisations autonomes. Leur objet est abordé par son enjeu (du savoir) à propos duquel des sujets interagissent en position dissymétrique (professeur, élève). Ils identifient ainsi des objets d'observation possibles :

– *Les enjeux de savoir* que les professeurs portent pour la société et que les élèves vont imaginer. Leur identification et leur description engagent l'observation des apprentissages *possibles en principe*.

– *Les manières de l'étude des savoirs* que les élèves mettent en œuvre et que les professeurs proposent sont spécifiées par les types de pratiques non scolaires que les savoirs permettent. Leur description permet d'envisager les apprentissages *réalisables* dans un groupe social donné.

– *Les stratégies du professeur gérant l'apprêt didactique des savoirs et les manières d'étudier* des élèves sont spécifiées par les objets que manipulent professeur et élèves. Leur analyse nous donne un accès *a priori* aux apprentissages *effectifs* produits par un enseignement donné.

Le premier point fait l'essentiel des travaux didactiques jusqu'en 1995. Nous centrerons l'exposé sur les deux suivants car le fait d'observer « le savoir et les manières dont professeurs et élèves s'y confrontent » rend proches les résultats des diverses didactiques et semblables les dimensions du problème qu'elles mettent en avant. Cependant les didacticiens, en affirmant que les questions de l'enseignement doivent être abordées par le moyen de l'observation de ce qui s'enseigne, ont produit presque aussitôt deux résultats. Le premier est un constat : *Les enseignants ne suivent pas les prescriptions des théories psychologiques de la cognition ou de l'apprentissage*. Et pourtant dans les écoles, des élèves en nombre relativement important apprennent des savoirs tandis que, en l'absence d'école, les enfants n'apprennent pas. L'enseignement a donc un effet. Le second a fait l'objet de démonstrations successives qui permettent d'en donner le domaine de validité : *Ce qui s'enseigne détermine ce qui peut être appris*. La question didactique pour laquelle nous cherchons des éléments de réponse devient alors :

Comment ce qui s'enseigne détermine-t-il ce qui peut être appris, et dans quelle mesure ?

Mais dès que l'on observe en classe ce qui est enseigné, on découvre un phénomène surprenant : *Ce qui s'enseigne effectivement n'est pas ce qui est décrit par le programme d'enseignement*. Ainsi, l'université enseigne la philosophie en découpant les œuvres inscrites au plan d'études en une suite de concepts isolés (Verret, 1977). Cette organisation de l'enseignement permet le contrôle social des apprentissages (elle permet d'en déclarer publiquement les enjeux partiels et les états intermédiaires). Cela en fait le succès, mais découper ainsi les œuvres à étudier les dénature (5). Le problème est semblable pour toutes les disciplines enseignées : le constat de Verret tient à la forme générique des systèmes d'enseignement modernes (Chevallard, *op. cit.*)

Par ailleurs, l'observation des savoirs effectivement en jeu dans les épreuves d'évaluation montre que « évaluer les effets d'un enseignement » ne signifie pas la même chose selon les institutions qui se proposent l'évaluation d'un élève, des élèves d'une classe, d'une cohorte d'élèves, des personnes d'un groupe social, des membres d'une classe d'âge. Les questions que nous ouvrons ne trouveront donc pas de réponse simple.

POUR INTRODUIRE À L'EXPOSÉ DES MÉTHODES

Parfois, les didacticiens s'appuient sur une théorie (ou un modèle) du monde didactique qui leur permet par exemple, de démontrer une déclaration en produisant un seul contre-exemple de la déclaration contraire. Plus souvent, ils partent de l'usage raisonné d'une théorie pour prouver un résultat démontré, par le recours à une expérimentation contrôlée (ce sont les travaux d'ingénierie didactique). Cependant ils se proposent aussi de produire expérimentalement à l'appui d'une théorie, par un dispositif d'intervention sur le domaine dont ils étudient les réactions, des phénomènes que la théorie avait pu ou aurait dû anticiper (ce sont les travaux d'observation clinique). Nous allons tenter de donner un aperçu des différents types de travaux et des résultats qui sont ainsi produits, en organisant ce texte selon trois dimensions.

Première dimension :
Des travaux caractéristiques des méthodes didactiques dans l'abord des enjeux de savoir

On dispose ici d'une série de résultats que l'on peut énoncer ainsi : *Ce qui n'est pas enseigné ne peut être connu que par son usage régulier.*

Un fait

Les savoirs s'affaiblissent avec le temps. C'est ce que montrent Hart, Brow, Kucheman & Kerlake (1982) dans une enquête par questionnaire conduite en Angleterre sur un large échantillon de population scolaire entre 11 et 15 ans, à propos de la maîtrise des calculs de fractions et décimaux. C'est un constat étonnant pour des chercheurs qui travaillent dans le cadre des théories du développement psychologique, car le développement n'est pas supposé régresser si tôt ! Une seule conclusion pratique possible, après que l'on ait vérifié qu'en Angleterre, les décimaux n'ont ni usage scolaire ni usage social, après 12 ans : *ce qui n'est plus enseigné et qui n'est pas utilisé est de moins en moins connu.* La conclusion théorique sera plus difficile à accepter : *les savoirs sur les décimaux ne sont pas des éléments du développement psychologique.* Les chercheurs du paradigme AMT (advanced mathematical thinking) en ont tiré les conséquences pour la psychologie et ses usages didactiques (Dubinsky, 1991 ; Sfard et Linchevski, 1994 ; Vinner, 1997).

Une enquête

Pascal (1980) observe que si $n \times 0$ est explicitement interprétable comme somme de n « 0 », dans les ouvrages d'enseignement, l'opération $0 \times n$ est bien plus rarement demandée. Cela est corrélé avec l'observation d'une erreur récurrente : en Première, dans certains calculs de dérivées, de nombreux élèves écrivent $0 \times n = n$ (6). Pascal l'interprète ainsi : le résultat n semble plus « normal » que 0, parce qu'on y retrouve quelque chose de la valeur multipliée, comme dans $2 \times n$ ou $17 \times n$. L'existence et la persistance de ce genre d'interprétation chez quelques élèves, dans chaque cohorte, sont rendues possibles par le fait qu'il n'y a pas, sur cette question, d'enseignement : l'enquête montre que cette erreur ne devient coûteuse qu'en onzième année d'enseignement !

Pascal observe alors une classe de CE2 où le professeur fait écrire très soigneusement les décompositions complètes des nombres : $304 = 3 \times 100 + 0 \times 10 + 4 \times 1$ et non pas $3 \times 100 + 4$. Les élèves y rencontrent fréquemment la forme $0 \times n$, et ces élèves-là ne font pas significativement plus d'erreurs de multipli-

cation par 0 que d'erreurs de multiplication de 0, un bref questionnaire le démontre. Ainsi, la multiplication par 0 ne constitue pas un obstacle épistémologique, mais c'est un problème exceptionnellement rencontré avant la classe de Première et ce qui n'est ni enseigné ni utilisé n'est ni appris (comme savoir explicite) ni connu (dans l'action pratique).

Une expérience

Léonard et Sackur-Grisvard (1981) montrent, dans le cas des décimaux et par un questionnaire simple, que des élèves peuvent utiliser très longtemps des connaissances archaïques fausses qui ne produisent que rarement des erreurs. Cela se teste rapidement par trois questions : « Combien font deux virgule un plus trois virgule cinq ; combien font cinq virgule neuf plus trois virgule onze ; combien font neuf virgule cent soixante-sept plus quatre virgule trente neuf ? » Ceux qui pensent les décimaux comme somme de deux entiers (et qui raisonnent juste en francs et centimes ou en mètres et millimètres) font au moins une erreur. Cette observation signifie ceci : à l'école, les décimaux ne sont pas enseignés dans des configurations où la pratique mathématique entrerait en contradiction avec la pratique sociale. Ce qui se vérifie aisément.

On pourrait faire une remarque semblable physique : les professeurs enseignent la formation des images sans placer leurs élèves devant l'expérience d'un cache placé devant la lentille convergente qui forme l'image (Viennot, 1996), une expérience qui démonte les prédictions fausses des élèves. Ces professeurs n'enseignent pas une physique qui remettrait en cause l'expérience première des élèves, nous y reviendrons plus loin.

Le développement théorique permet d'interpréter un fait

Certains élèves apprennent des savoirs et à l'évidence, ils le font à l'occasion de l'enseignement qu'ils reçoivent : certains élèves apprennent la multiplication par 0, en Première, ils le font à l'insu de leurs professeurs qui n'ont pas le contrôle de ce que leur enseignement permet d'apprendre. Les élèves apprennent parce que l'enseignement leur a fait rencontrer la nécessité de certains savoirs et qu'ils ont interprété ce fait comme un effet intentionnel de l'enseignement.

Ce phénomène semble général (Mercier, 1997 ; Schubauer-Leoni, Leutenegger et Mercier, 2000) et relève sans doute de lois anthropologiques universelles. En effet, Douglas (1986) a montré qu'il n'est

pas possible de séparer les connaissances d'un sujet du système d'objets, d'idées, de notions, de valeurs, par lequel les objets de ces connaissances lui ont été donnés. Ce « prêt à penser » institutionnel se comprend, du point de vue du sujet, comme l'expression des attentes de l'institution qui lui donne accès à ces objets, parce qu'il détermine des actions « prêtes à faire » qui sont communes aux sujets de l'institution et la caractérisent : des *habitus de pensée*. En retour ces actions permettent au sujet d'être reconnu par l'institution, dans ses activités ou ses pratiques. Nous identifions les *habitus scolaires* d'une discipline sous le concept de Contrat Didactique. De ce fait, la plupart des élèves résiste aux perturbations et ne transforme que lentement ses comportements ou ses connaissances. Ainsi, lorsque leurs savoirs sont déterminés par le contrat didactique, les élèves diffèrent fort peu des adultes : ils tentent d'utiliser ce qui leur est connu, plutôt que d'apprendre les savoirs nouveaux qui leur sont désignés par le professeur. Ils ont (ou développent) des stratégies didactiques propres qui fonctionnent comme des connaissances et peuvent faire obstacle à l'étude des savoirs visés par l'enseignement actuel ou ultérieur. Les professeurs relèvent d'analyses semblables. Les savoirs qu'il leur est possible d'enseigner dépendent donc de la culture préalable et des usages des sociétés, tout autant que des usages scolaires qu'ils installent.

Une expérience invoquée

Il est possible d'observer indirectement l'usage d'une notion, car les pratiques associées sont tracées par l'évolution du taux de réussite à ses exercices-type : la progression de la réussite au cours de la scolarité (Lleres, 2000) peut être observée par exemple à partir des évaluations de l'Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public

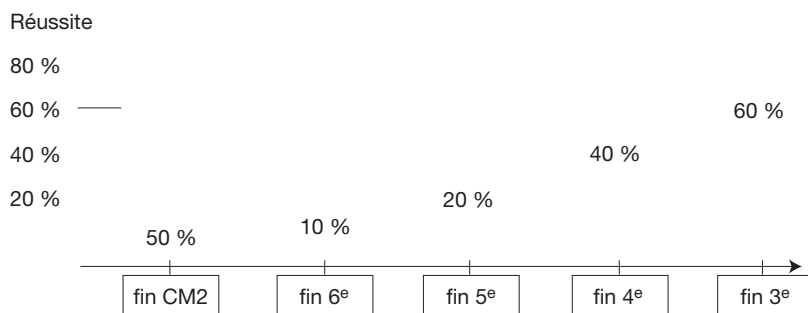


Figure 1. – Les techniques efficaces pour les calculs de pourcentages ne sont jamais vraiment enseignées : la réussite progresse très lentement

qui portent sur des échantillons de plus de 400 classes (10 000 élèves). Une même question a été posée à plusieurs niveaux d'enseignement (APMEP, 1997 ; 1998 ; 1999 ; 2000) et l'observation du progrès statistique dans la résolution du même exercice permet de valider ce dispositif par l'observation conjointe du corpus des exercices effectivement travaillés par les élèves. Ainsi, un exercice qui mobilise une connaissance utile mais peu enseignée est de mieux en mieux réussi mais le progrès est lent : c'est le cas des calculs de pourcentages, selon l'évaluation APMEP, pour une même cohorte suivie entre mai 1997 et mai 2001.

Un exercice qui porte sur une connaissance enseignée puis utile manifeste une augmentation rapide de la réussite : c'est le cas des exercices de « raisonnement proportionnel », dont l'enseignement commence au CM1 et qui sont réussis à 30 %, puis 50 %, 75 % et, en Quatrième et Troisième par 90 % et 96 % des élèves. Tandis que la réussite stagne à 30 %, en Cinquième, dans les exercices posés à l'aide d'un tableau de proportionnalité (introduits pourtant en CM2 et réussis à 30 % dès cette classe) : on en déduit qu'en début de Collège, les tableaux ne servent pas aux « calculs de proportionnalité » qui y sont remplacés par le « raisonnement proportionnel ».

Deuxième dimension : des travaux relatifs aux manières de l'étude, le cas des mathématiques

« Dans quelle mesure ce qui s'enseigne peut-il déterminer ce qui est appris ? » « Peut-on améliorer les manières d'étudier ? » « Existe-t-il une manière d'enseigner garantissant telle propriété de savoir donné à apprendre ? » Pour répondre à de telles questions posées par Lichnerowitz à l'origine de la réforme moderniste de l'enseignement des mathéma-

tiques, le travail de Brousseau (1986) et de ses étudiants correspond à la mise en œuvre d'un *principe d'économie* : diminuer le coût d'une connaissance améliore l'efficacité de son enseignement. Ainsi, on peut diminuer le coût de la multiplication en proposant une technique d'usage moins coûteux (elle sera plus souvent utile) et plus commode (elle sera plus aisément apprise), car les calculatrices ont rendu obsolète la technique traditionnelle. Les travaux sur les noms des nombres ou les opérations montrera que des améliorations importantes pourraient être apportées, qui permettraient de gagner six mois sur l'enseignement de la numération et d'enseigner à tous les élèves de l'École Élémentaire, pour les quatre opérations, des algorithmes de calcul efficaces (7).

Dans le « jeu intentionnel de l'enseignement » par lequel les professeurs organisent l'étude que les élèves réalisent, on ne peut pas produire des savoirs en cherchant par « tâtonnements ». Brousseau (1997) démontre qu'il y faut des « gestes d'enseignement ». Or, pour enseigner des savoirs autrement qu'en les nommant et en laissant aux élèves la charge de les étudier, deux nouveaux types d'organisation de l'étude sont nécessaires ; ils s'appuient sur l'expérience première que donne l'action mais dépassent cette connaissance par la production de savoirs partagés dont l'efficacité est collectivement garantie. Ces types d'étude sont nommés *la formulation* et *la validation*. Les manières d'enseigner qui permettent d'apprendre au-delà de l'action, dans des mouvements de formulation et de validation, rendent les savoirs appris plus cohérents, ce qui bénéficie à la fois à l'action technique et à l'étude de savoirs nouveaux. On montre ainsi que l'on ne peut pas enseigner efficacement une technique (par exemple, une manière de factoriser des polynômes ou de résoudre les équations du second degré) sous la forme d'une *règle* qu'il suffirait de « suivre ». Nous disposons, en didactique des mathématiques, d'études empiriques montrant, pour tous les savoirs de l'enseignement obligatoire, de la maternelle à la Troisième, les conditions de leur enseignement effectif.

Une étude des effets d'un choix dans la manière d'étudier

L'étude de Broin-Woillez (1993) repose sur l'idée que toute action humaine, même si elle suit une règle, suppose la mobilisation de connaissances qu'un enseignement de la règle ignore, ce qui laisse advenir une multitude de connaissances non pertinentes qui permettent d'interpréter la règle : « des tours, trucs, coups et astuces engendrant par la vertu d'un trans-

fert d'innombrables métaphores pratiques », selon l'expression de Bourdieu (1980) à propos du sens pratique. L'évaluation scolaire traditionnelle est insensible au phénomène : un professeur n'y voit que du bleu. Les questions commentées ci-dessous ont été posées par le chercheur à des élèves de Troisième à qui, d'ordinaire, leur professeur demande de résoudre des équations :

F2. Pour résoudre : $x^2 - 4x = 0$ on a fait : $x^2 = 4x$ puis : $x = \sqrt{4x}$. Est-ce juste ? Peux-tu le justifier si c'est juste ? Peux-tu dire pourquoi si c'est faux ?

La réponse proposée s'appuie sur les automatismes de « passage de membre », une technique explicitement enseignée par certains professeurs (les élèves disent et pensent « on passe $4x$ en changeant son signe »).

RT1. On a l'équation : $4x + 5 = 7x$, d'où l'on a obtenu : $5 = 3x$. Que s'est-il passé entre la première et la deuxième ? Est-ce juste ?

On attend : « On a passé $4x$ », présent surtout si « le passage de membre » est enseigné.

L1. Peux-tu le justifier si c'est juste ? Peux-tu dire pourquoi si c'est faux ?

La vérification demande la soustraction aux deux membres. En principe, le « passage de membre » en sens inverse ne peut pas légitimer un résultat : ce n'est qu'une règle d'action.

La réussite à ces questions ne différencie pas les classes observées, mais l'analyse factorielle de correspondances met en évidence une double disparité. D'abord entre les savoirs formés par les élèves des classes où l'on enseigne l'usage direct d'une règle : « Dans une égalité entre expressions algébriques, on peut passer un terme dans l'autre membre en changeant son signe » et ceux des élèves de la classe où l'on propose l'usage raisonné de la propriété suivante : « Une égalité est conservée lorsque l'on réalise la même opération sur chacun de ses deux membres » qui est alors un théorème. Ensuite entre les élèves de cette dernière classe, selon qu'ils mettent en œuvre une stratégie personnelle favorisant la réussite des cas additifs (du type $x+2=3$ devient $x=3-2$ en retranchant 2 à chaque membre) ou qu'ils sont centrés sur les manipulations spécifiques aux cas multiplicatifs (du type $2x=3$ devient $x=3/2$ en divisant chaque membre). L'enseignement de cette classe conduit donc à une très grande dispersion des élèves, qui signe leur incertitude sur la conduite à tenir dans certains cas ; mais, grâce au théorème

dont ils disposent, ces élèves peuvent contrôler, après coup, leur action. La règle produit au contraire des classes au comportement cohérent (tous les élèves font les mêmes erreurs), mais à moyen terme ce choix représente une fausse économie car la règle n'est pas utilisable comme un théorème.

C'est ainsi que l'on arrive au cinquième principe du paradigme didactique : *Pour enseigner certaines formes épistémologiques qui sont « les divers objets et les différents enjeux » du travail scientifique, il faut des pratiques pédagogiques qui recréent en milieu scolaire les conditions anthropologiques d'apparition de ces formes.* Pour les didacticiens, des pratiques d'enseignement ne peuvent donc pas être décrites sans une description des conditions anthropologiques d'apparition des savoirs enseignés, conditions que l'enseignement est supposé reproduire. Ils considèrent alors que l'analyse et la description de ces pratiques relève d'un travail didactique rendant compte de l'écologie et de l'économie des savoirs devant être enseignés. C'est ainsi que le travail en didactique de la physique qui sera présenté ci-dessous montre que, sans doute, un nouveau type d'étude est nécessaire pour l'enseignement de conceptions compatibles avec les connaissances scientifiques.

Deuxième dimension : la relation entre séquence d'enseignement et apprentissage réalisé : un cas en physique

Le contexte de la recherche

Une intervention en Terminale Scientifique dans l'enseignement de spécialité Sciences Physiques mettait à l'épreuve les propriétés didactiques d'une interface informatique d'expérimentation. La séquence d'enseignement est ici un produit d'*ingénierie didactique* (Artigue, 1992). Le chercheur part ici de l'usage raisonné d'une théorie pour en éprouver un résultat par le recours à une *expérimentation* contrôlée. Le premier aspect du cadre théorique mis en œuvre consiste à dire qu'on peut analyser l'activité et les réponses de l'élève en lui prêtant un certain nombre d'idées préconçues qui ont une efficacité pratique : elles se conservent parce qu'elles sont économiques dans le quotidien. Or, ces idées orientent et limitent les apprentissages que l'élève réalise. Dans le domaine choisi, celui de la formation des images, en optique, une conception fréquemment observée (Goldberg et McDermott, 1987), est celle de « l'image voyageuse » : le sujet réfléchit comme si un objet lumineux émettait son image, qui serait trans-

portée par la lumière. Cette conception s'oppose tout à fait à la compréhension de ce qu'est une image optique, un phénomène lumineux ne pouvant être observé qu'en un seul lieu où tous les rayons lumineux issus d'un même point de l'objet viennent se rencontrer pour y créer « l'image de ce point ».

Comme nous l'avons dit pour les mathématiques, notre hypothèse (Tiberghien, 1994) est que l'élève en classe de physique fonctionne comme un physicien, c'est-à-dire dans ce cas qu'il se livre à des activités de modélisation. Cependant, il fonctionne à partir d'une « quasi-théorie » qui n'est pas celle de la physique (Carey, 1985 ; Vosniadou, 1994) mais une théorie « naïve » dont les conceptions sont une part importante. Pour nous, les difficultés essentielles de l'apprentissage de la physique se situent donc dans la mise en relation de ces deux *niveaux de savoir*, des théories naïves qui se rapportent à l'action quotidienne dans le monde et une expérimentation qui est sous le contrôle des théories physiques. Le *modèle matérialisé* sur ordinateur fait lien entre le monde de la théorie et celui des connaissances relatives aux objets et événements (Buty, 2000 ; Buty, 2003). Cet objet produit des phénomènes visibles sur l'écran, on peut agir sur lui par l'intermédiaire de la souris ou du clavier, il renvoie à l'élève une réponse à ses actions : il joue le rôle d'un *milieu didactique* (Brousseau, 1986). Au cours de toute la séquence observée ici, les expériences que les élèves doivent réaliser sont modélisées par une figure interactive sur l'écran de l'ordinateur. Le dispositif d'intervention expérimentale est décrit en grisé dans la figure ci-dessous, il doit démontrer la possibilité de transformer la théorie naïve des élèves en la mettant en défaut dans des conditions qui lui permettent d'évoluer.

Nous comparons donc l'effet de l'expérience matérielle (dispositif optique) avec celui d'une expérience virtuelle produite par un logiciel qui obéit aux lois de

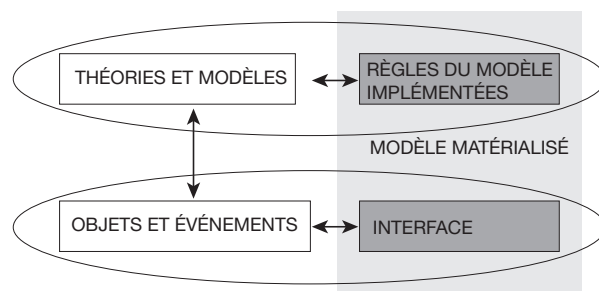


Figure 2. – Les deux « mondes » à relier et le modèle matérialisé permettant une interface

l'optique géométrique, soit déjà connues des élèves, soit à acquérir ; nous avons pour conjecture que l'efficacité du logiciel vient de ce qu'il « représente » la théorie physique du phénomène. Les constructions, conformes à la loi de la réfraction, sous-jacentes à la figure interactive, peuvent être rendues visibles par les élèves : c'est un élément essentiel de la crédibilité du dispositif.

Nous observons l'apprentissage dans les traces de l'activité. À cet effet nous observons un garçon (Em), qui semble porteur de la conception de l'image voyageuse (test préalable) et travaille avec une fille (Ade) qui n'est pas porteuse de la conception. L'enregistrement vidéo de l'activité de cet élève et de ses interactions avec (Ade), pendant toute la séquence, forme l'essentiel des données exploitées. Le niveau de savoir où l'élève se situe est repéré par ce qu'il dit. Ses productions verbales sont rapportées aux ressources qu'il mobilise, selon une méthode d'analyse catégorielle (Niedderer, von Aufschneiter *et al.*, 2003). Toutes les trente secondes (8), nous enregistrons dans un tableau, d'une part, quelle ressource cognitive l'élève observé utilise, d'autre part, à quel niveau de savoir se situe sa verbalisation ou quel type de lien il établit entre niveaux différents. On met ainsi en évidence les effets du modèle matérialisé sur l'activité langagière, on en infère son activité cognitive. Cependant, comme le discours des élèves en classe de physique est souvent déictique, l'enregistrement des mimiques, des gestes, des attitudes, apporte un éclairage indispensable.

Notre technique d'analyse conduit à une chronique que nous analysons en trois niveaux : le grain grossier de la progression relève de l'enseignant ; le grain fin des activités relève de l'élève. La chronique de la séquence complète est donc organisée en *situations* (définies par le contenu d'enseignement en jeu) ; les *épisodes* correspondent chacun à une activité qui réalise un but précis dans la progression ; les *étapes* traduisent les activités des élèves : à l'intérieur d'une étape, leur activité est assez homogène, avec un but unique sous leur responsabilité. La succession des situations et des épisodes reflète la façon dont l'enseignant planifie la progression de son enseignement et la gère *hic et nunc* ; la succession des étapes reconstruit la façon dont tel élève essaie de répondre à ce qu'il pense qu'on lui demande de faire. Les énoncés de l'élève sont classés en trois catégories : les connaissances du *monde des objets* ; celles du *monde des concepts* de la physique ; celles qui assurent une *liaison* entre les deux. On constate alors que la pratique de l'élève qui manipule dans une séance de Travaux pratiques ordinaire est silencieuse (Lunetta, 1997) : le plus souvent, (Em) nomme ou décrit seulement les objets sur lesquels il agit.

La figure 4 représente les verbalisations de (Em) au cours des phases où il utilise le modèle matérialisé. Elles sont classées en trois catégories analogues aux précédentes, *mutatis mutandis*. Les liens que l'élève établit alors se situent principalement entre ce qui se voit sur l'écran et les concepts de la physique.

Qu'exprime (Em) quand il manipule ?

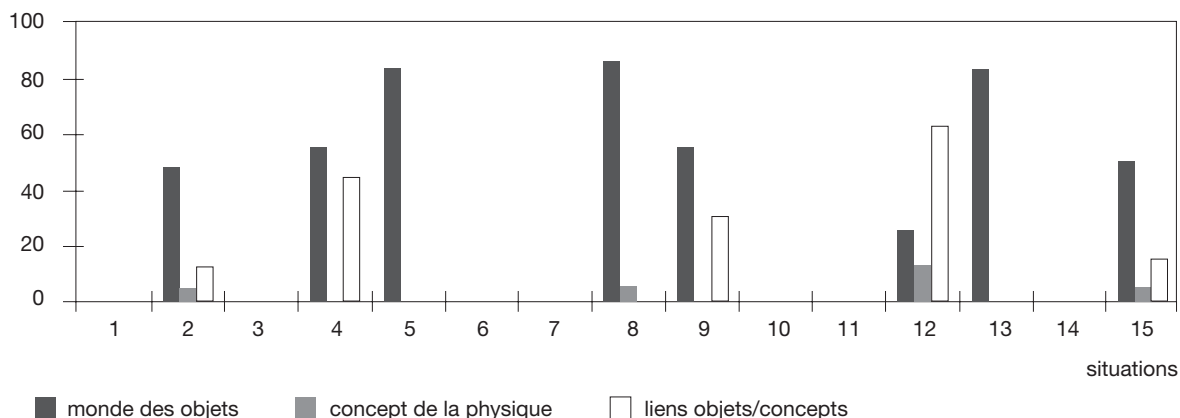


Figure 3. – Les verbalisations de l'élève (Em) dans les phases de manipulation

Qu'exprime (Em) quand il utilise le modèle ?

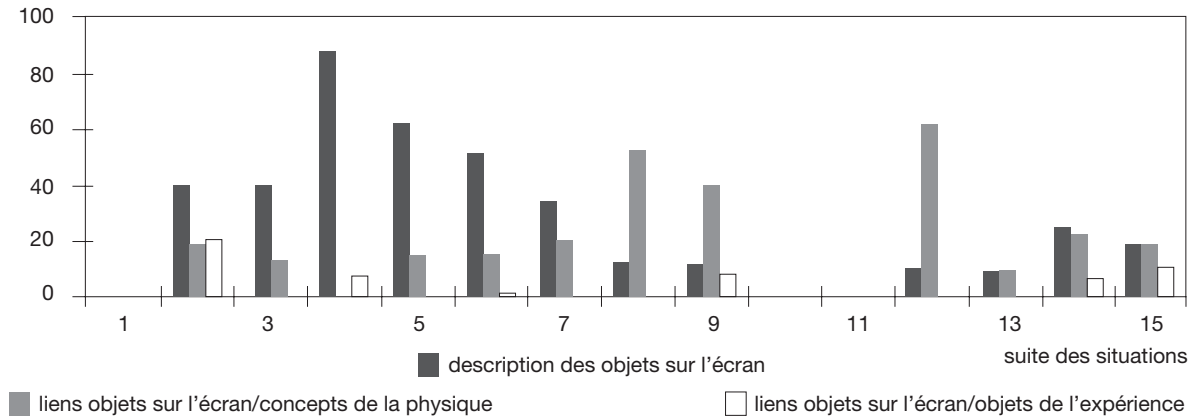


Figure 4. – Les verbalisations de l'élève (Em) quand il utilise le modèle matérialisé.

On remarque que la part de la description décroît rapidement et que dans son interaction avec ce milieu particulier, (Em) construit des liens entre objets et concepts : l'ordinateur favorise ici une mise en jeu discursive des concepts de la physique. Le modèle matérialisé oppose aux conjectures de l'élève la rigueur de lois physiques dont l'analyse et l'effet sont visibles : l'élève ne peut plus maintenir dans son discours sa théorie naïve, non fonctionnelle.

Pendant, tout comme le travail des professeurs ordinaires, le travail des professeurs capables de réaliser les enseignements produits par ingénierie didactique ne se déduit pas des effets que ces enseignements produisent. Si personne ne sait enseigner en réalisant les conditions nécessaires à l'étude efficace, le travail didactique présenté ne répond pas de manière satisfaisante à la question car il ne parle pas de ce qui se passe au quotidien dans les classes de sciences ou de mathématiques. Cela nous conduit à présenter la troisième dimension des questionnements didactiques sur notre sujet.

Troisième dimension : Les méthodes actuelles en didactique des mathématiques et comparée permettent de commencer à répondre à la question des stratégies du professeur et des élèves

Dans cette voie, certains chercheurs ont produit des systèmes d'observables pour la description du travail du professeur. Dans le monde francophone c'est l'objet de recherche, ces dernières années, de

plusieurs équipes de didacticiens de toutes disciplines qui sont aujourd'hui regroupés autour de l'idée qu'ils doivent conduire leurs observations dans un paradigme comparatiste. Ils rejoignent ainsi les chercheurs européens qui travaillent sur l'interaction (Brandt, 2001) et ceux qui travaillent dans le cadre de théories ergonomiques (Robert, 2000 ; Perret et Perret-Clermont, 2001 ; Rogalski, 2004). Il s'agit de comprendre, dans les pratiques didactiques des élèves comme des professeurs, ce qui tient aux spécificités de l'objet d'étude et ce qui tient à la culture de l'étude de ce type d'objet que les élèves et leur professeur arrivent à partager. Ce dernier point nous donne à penser que cette coopération (que nous identifions comme « un contrat didactique » qui détermine « un milieu » c'est-à-dire les moyens partagés de gérer les objets de l'étude) peut produire des effets différentiels non seulement d'une zone scolaire à l'autre ou d'une école à une autre mais, dans une même classe, d'un élève à l'autre. Les travaux de Schubauer-Leoni (1986) et de ses étudiants (Leutenegger, 2000) ont ouvert cette voie, avec un type de recherches que Leutenegger et Schubauer-Leoni ont nommé, en référence à la pratique hospitalière fondatrice de la médecine moderne, une *observation clinique*.

Nous renvoyons, pour des développements explicites sur cette question, au travail de Sensevy (2001), mais aussi à Venturini, Amade-Escot, Terrisse (2002) et à Mercier, Sensevy, Schubauer-Leoni (2002), dans cette même revue : nous pouvons même aujourd'hui,

par cette observation clinique, faire des conjectures sur l'efficacité d'un système didactique rapporté à ses enjeux (Schubauer-Leoni et Chiesa-Millar, 2002). La définition précise, auprès des élèves, de l'enjeu de l'enseignement qui vient de leur être donné est notre première conjecture d'efficacité ; mais la gestion explicite, par le professeur, des contradictions entre les conceptions émergentes qu'il peut observer est un moyen pour le professeur d'engager à l'exploration d'un « champ conceptuel » (Fluckiger, 2000) ou d'une « classe de problèmes » (Sensevy, 1998) et de donner ainsi « un sens » aux apprentissages des élèves dont il organise l'étude (Ratsimba-Rajohn, 1992 ; Fluckiger et Mercier, 2002 ; Buty, 2003) ; enfin notre troisième conjecture d'efficacité tient à l'usage professoral pertinent de l'ostension (Berthelot et Salin, 1992 ; Matheron et Salin, 2002) dans les phases d'introduction et de conclusion, lorsqu'il s'agit de désigner l'enjeu de l'étude comme lorsqu'il s'agit de montrer comment cet enjeu est atteint. Il devient alors possible d'observer la manière dont tel ou tel élève d'une classe est enseigné (puisque le contrat n'est pas le même pour tous, comme l'a montré Schubauer-Leoni, 1986) et quels sont les enjeux de cet enseignement. Parfois même, nous observons la manière dont un élève apprend.

PERSPECTIVES ACTUELLES ET CONCLUSION

Nous avons développé une modélisation des grandes fonctions de l'action didactique et une description des gestes (langagiers, entre autres) par lesquels un professeur réalise ces fonctions (Sensevy et Quilio, 2002 ; Fluckiger et Mercier, 2002). Les méthodes d'observation appartiennent au monde des approches « qualitatives », leur aptitude à fournir des systèmes d'observables quantifiables devra être éprouvée dans des études à grande échelle. À ce projet coopèrent des didacticiens des Activités Physiques et Sportives, du Français, des Sciences Économiques et Sociales, des Sciences de la Vie et de la Terre, de la Physique, regroupés dans la construction d'un paradigme comparatiste, en didactique. Dans ce cadre, les méthodes de l'observation didactique pourront être pensées dans leur généralité, tout en étant toujours utilisées dans le cas spécifié d'une discipline qui fait l'enjeu de la relation didactique observée. Car si les manières d'enseigner déterminent ce qu'il est possible d'enseigner, elles ne peuvent être transformées sans un changement dans l'épistémolo-

gie socialement partagée des objets d'enseignement, qui fait la culture d'une société : elles sont déterminées par les manières de penser les objets d'enseignement et le travail de leur étude sur lesquelles professeur et élèves arrivent à un accord :

On ne peut enseigner et être enseigné qu'à la mesure de sa culture en général, et à la mesure de sa culture de l'étude des savoirs en particulier.

Les manières d'étudier et d'enseigner sont inscrites dans les objets qui aident à l'étude et comme toutes les autres manières de faire et les techniques, elles sont données aux professeurs et aux élèves par le monde technique, social, psychologique, dans lequel ils vivent. On ne sait pas bien enseigner des gestes d'enseignement comprenant des phases de formulation et de validation sans former les professeurs à l'observation du régime épistémologique des pratiques de connaissance, ce qui est fort coûteux et que l'on ne sait faire, aujourd'hui, que par frayage avec la recherche. On ne sait pas former les professeurs à produire par eux-mêmes les moyens d'enseignement nécessaires à la construction, par un collectif d'élèves, d'une culture de l'étude efficace : il s'agit d'une question qui les dépasse comme corps d'acteurs individuels et qui concerne probablement le corps social dans son entier.

Nous concluons donc par une déclaration en forme d'appel à la prudence : notre travail de techniciens du système peut aisément souffrir des maux que produirait un usage technocratique de nos travaux. Car les phénomènes que nous observons limitent très sérieusement la pertinence des demandes faites aux professeurs lorsqu'elles visent à « faire évoluer les pratiques pédagogiques » sans que les rapports sociaux aux savoirs et à leur étude n'évoluent eux-mêmes. En particulier, l'enseignement universitaire des savoirs à enseigner doit changer profondément, comme ce fut le cas à l'origine de la mise en place des systèmes d'enseignement modernes. L'évolution attendue de l'enseignement suppose en effet que les savoirs étudiés par les futurs professeurs soient *présentés en situation*, c'est-à-dire que soient prises en compte, dans le cadre de l'étude universitaire des savoirs à enseigner, leurs conditions anthropologiques d'existence.

Alain Mercier
UMR ADEF (9)

Christian Buty
UMR ICAR (10)

NOTES

- (1) C'est l'enjeu de ce que les didacticiens appellent *l'analyse a priori* d'un projet d'enseignement ou *l'analyse de la transposition didactique* (Mercier et Salin, 1988 ; Mercier, 2002).
- (2) Le dernier ouvrage publié par les IREM et l'INRP (Colomb *et alii*, 2003) correspond à ce type de questionnement, outillé en France il est vrai des théorisations disponibles pour décrire ce qu'est « la compréhension » en mathématiques.
- (3) C'est l'objet de l'opération EVAPM, conduite depuis plus de dix ans par l'Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public et l'IREM de Dijon, sous l'impulsion d'Antoine Bodin.
- (4) Les six livraisons annuelles présentent 6 000 références issues de 500 revues spécialisées.
- (5) Dans chaque discipline d'enseignement et dans tous les systèmes d'enseignement modernes, on commence par un « B-A, BA » : l'organisation de la progression didactique ne permet plus de retrouver les problèmes qui ont motivé le savoir. Apprendre à lire selon sa religion en annonçant le bréviaire du curé, en prononçant les mots de la Bible, en récitant « à la lettre » le texte du Coran, etc. a un tout autre sens...
- (6) Dans le calcul de la dérivée de $1/(3x^2+5x)$ par la formule connue pour un quotient $(u/v)' = (u'v - uv') / v^2$, on observe que de très nombreux élèves de Première écrivent :
 $(1/3x^2 + 5x)' = [0?(3x^2 + 5x) - 1x(6x + 5)] / (3x^2 + 5x)^2 = [3x^2 + 5x - 6x - 5] / (3x^2+5x)^2 = \text{etc.}$, en conservant au numérateur le $3x^2 + 5x$, au lieu d'écrire $\dots = [0 - 6x - 5] / (3x^2 + 5x)^2$ ce qui engage une connaissance sûre de $0x = 0$ comme résultat validé, nécessaire, mobilisable.
- (7) Le cas qu'en feront les commissions de programmes montrera que la société n'en a que faire : par exemple, en 1999, la Commission Kahane refuse de transformer les algorithmes au programme. Le temps des Lumières, quand la Révolution aboutissait aussi à l'introduction du système décimal (système de numération et organisation de tous les systèmes d'unités de mesure et de compte) comme moyen de simplifier radicalement « les comptes qui se retrouvent dans les pratiques des humains », est bien fini.
- (8) Ce choix suppose que cette durée soit adaptée à suivre les variations du niveau de savoir où se situe l'élève.
- (9) « Apprentissage, Didactique, Evaluation, Formation », Université de Provence, Institut National de Recherche Pédagogique, Institut Universitaire de Formation des Maîtres de l'Académie d'Aix-Marseille.
- (10) « Interactions, Cognition, Apprentissages, Représentations », Université Lyon 2, CNRS, ENS-SHS, ENS de Lyon, INRP.

BIBLIOGRAPHIE

- APMEP (1997). – **Évaluation du programme de mathématiques, fin de Sixième**. Paris : APMEP.
- APMEP (1998). – **Évaluation du programme de mathématiques, fin de Cinquième**. Paris : APMEP.
- APMEP (1999). – **Évaluation du programme de mathématiques, fin de Quatrième**. Paris : APMEP.
- APMEP (2000). – **Évaluation du programme de mathématiques, fin de Troisième**. Paris : APMEP.
- ARTIGUE M. (1992). – Didactic engineering. *In* R. Douady, A. Mercier (Eds.), **Research in Didactique of Mathematics. Selected papers**. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- BACHELARD G. (1949). – **Le rationalisme appliqué**. Quardrige, 1986, Paris : P.U.F.
- BERTHELOT R., SALIN M.-H. (1992). – **L'enseignement de l'espace et de la géométrie dans la scolarité obligatoire**. Thèse, Université de Bordeaux I.
- BOURDIEU P. (1980). – **Le sens pratique**. Paris : Éd. de Minuit.
- BRANDT B. (2001). – Reconstructions of « possibilities » for learning with respect to participation in classroom interaction. **GDM, Selected paper from annual conference on didactics of mathematics, Leipzig, 1997**. Hildesheim : Franzbecker.
- BROIN-WOILLEZ D. (1993). – **La règle en question : changer un terme de membre en changeant de signe**. Mémoire de DEA en didactique des mathématiques, université Bordeaux I.
- BROUSSEAU G. (1986). – **La théorisation des phénomènes d'enseignement des mathématiques**. Doctorat d'état. Bordeaux : DAEST, Université de Bordeaux 2.
- BROUSSEAU G. (1997). – **Theory of Didactical situations in Mathematics. Recueil de textes de Didactique des mathématiques 1970-1990**, trad. M. Cooper et N. Balacheff, R. Sutherland et V. Warfield. London : Kluwer.
- BUTY C. (2000). – Étude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique à l'aide d'une modélisation informatique. **Sciences de l'Éducation**. Lyon, Université Lumière-Lyon II.
- BUTY C. (2003). – Modelling In Geometrical Optics Using a Microcomputer. *In* D. Psillos and H. Niedderer, **Teaching And Learning In The Science Laboratory**. Dordrecht, Boston, London : Kluwer Academic Publishers.
- CHEVALLARD Y. (1980). – **La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné**. Cours donné à la Première École d'Été de Didactique des Mathématiques, 7-13 juillet. Note interne, IREM d'Aix-Marseille. 1985, 1991 (réédition augmentée). Grenoble : La Pensée Sauvage.
- CHEVALLARD Y., MERCIER A. (1987). – **Sur la formation historique du temps didactique**. Marseille : IREM d'Aix-Marseille.
- COBB P., STEPHAN M., MC CLAIN K., GRAVEMEIJER K. (2001). – Participating in classroom mathematical practices. **Journal of the learning sciences**, 10 (1-2), 113-163.

- COLOMB J., DOUAIRE J., NOIRFALISE R. (Dir.) (2003). – **Faire des maths en classe ? Didactique et analyse de pratiques enseignantes**. Paris : INRP & ADIREM.
- DEMEUSE M., DENOOZ R. (2001). – De l'accroissement de l'efficacité des pratiques éducatives : le cas du programme « success for all » mis en œuvre par Robert Slavin et l'équipe de la John Hopkins university. **Cahiers du Service de Pédagogie expérimentale**, 7-8 : 103-129.
- DOUGLAS M. (1986). – **How Institutions Think**. Syracuse : Syracuse University Press.
- DUBINSKY E. (1991). – Reflective Abstraction in Advanced Mathematical Thinking. In D. Tall (Ed.), **Advanced Mathematical Thinking**. Dordrecht : Kluwer, 95-126.
- FLECK L. (1932). – The genesis and development of a scientific fact. Chicago : The University of Chicago Press.
- FLUCKIGER A. (2000). – **Genèse expérimentale d'une notion mathématique, la notion de division comme modèle de connaissances numériques**. Thèse de l'Université de Genève, FAPSE.
- FLUCKIGER A., MERCIER A. (2002). – Le rôle d'une mémoire didactique des élèves : sa gestion par le professeur. **Revue française de pédagogie**, 141, 27-36.
- GOFFMANN (1991). – **Les cadres de l'expérience**. Paris : Éditions de Minuit, 573 p.
- GOLDBERG F., MCDERMOTT L. (1987). – An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. **American Journal of Physics**, 55 (2) : 108-119.
- HART K.L., BROW M.L., KÜCHEMAN D.E., KERSLAKE D. (1982). – **Children's understanding of mathematics**. London : John Marray, 251 p.
- HOUSSART J. (2001). – Rival classroom discourses and inquiry mathematics : the "whisperers". **For the Learning of Mathematics**, 21, 3 : 2-8.
- HUBER G.L. (2001). – Kooperatives Lernen im Kontext der Lehr-/Lernformen. In Finkbeiner, Schnaitmann (Hrsg), **Lehren und Lernen im Kontext empirischer Forschung Fachdidaktik**. Reihe Innovation und Konzeption, Doneworth : Auer, p. 222-245.
- JACOB B. (2000). – The Impact of California's Back-to-Basics policies : One Year after State Board Action. **Invited presentation to the International Congress of Mathematical Education**, Tokyo, Japan, August 3, 2000.
- LEONARD F., SACKUR-GRISVARD C. (1981). – Sur deux règles implicites utilisées dans la comparaison de nombres décimaux positifs. **Bulletin de l'A.P.M.E.P.**, 59, 47-60.
- LEUTENEGGER F. (2000). – Construction d'une « clinique » pour le didactique. Une étude des phénomènes temporels de l'enseignement. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, 20 (2), 209-250.
- LLERES M.C. (2000). – **La proportionnalité : ce qui est enseigné aux élèves de Collège**. Mémoire de maîtrise en Sciences de l'Éducation, Université de Provence.
- LUNETTA V. N. (1997). – The school science laboratory : historical perspectives and contexts for contemporary teaching. In K. Tobin and B. Fraser, **International Handbook of Science Education**. Dordrecht, Boston, London : Kluwer Academic Publishers, p. 249-262.
- MATHERON Y., SALIN M.H. (2002). – Les pratiques ostensives comme travail de construction d'une mémoire officielle de la classe dans l'action enseignante. **Revue française de pédagogie**, 141, 57-66.
- MERCIER A. (1997). – La relation didactique et ses effets. In C. Blanchard-Laville (Dir.), **Variations sur une leçon de mathématiques à l'École élémentaire**. Paris : L'Harmattan.
- MERCIER A. (2002). – La transposition des objets d'enseignement et la définition de l'espace didactique, en mathématiques. **Revue française de pédagogie**, 141, 135-171.
- MERCIER A., SALIN M.-H. (1988). – L'analyse *a priori*, outil pour l'observation. Atelier, **Actes de l'Université d'été « Didactique et formation des maîtres à l'École Élémentaire »**, Bordeaux, IREM de Bordeaux, p. 203-244.
- MERCIER A., SENSEVY G., SCHUBAUER-LEONI M.-L. (2000). – How Social Interactions Within a Class Depend on the Teacher's Assessment of the Students' Various Mathematical Capabilities. A Case Study. **ZDM**, 35, 4-9.
- MERCIER A., SENSEVY G., SCHUBAUER-LEONI M.-L. (2002). – Vers une didactique comparée. **Revue française de pédagogie**, 141, 5-16.
- NIEDDERER H., VON AUFSCHNEITER S., et al. (2003). – Talking physics in labwork contexts – A category based analysis of videotapes. In D. Psillos and H. Niedderer, **Teaching and Learning In the Science Laboratory**. Dordrecht, Boston, London : Kluwer Academic Publishers, p. 31-40.
- PASCAL D. (1980). – **Le problème du zéro. L'économie de l'échec dans la classe et la production de l'erreur**. Mémoire de DEA en didactique des mathématiques, Universités de Bordeaux 1 et Aix-Marseille 2.
- PASSERON J.-C. (1991). – **Le raisonnement sociologique, l'espace non-poppérien du raisonnement naturel**. Paris : Nathan.
- PERRET J.-F. et PERRET-CLERMONT A.N. (2001). – **Apprendre un métier dans un contexte de mutation technologique**. Fribourg : Éditions universitaires.
- PREVOT J. (1981). – **L'Utopie éducative de Comenius**. Paris : Belin.
- RATSIMBA-RAJOHN H. (1992). – **Contribution à l'étude de la hiérarchie implicite : Application à l'analyse de la gestion didactique des phénomènes d'ostension et de contradictions**. Thèse de l'université de Rennes 1.
- ROBERT A. (2001). – Les recherches sur les pratiques des enseignants et les contraintes de l'exercice du métier d'enseignant. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, 21.1/2, 57-80.
- ROGALSKI J. (2004). – **Recherches en Didactique des Mathématiques**.
- SENSEVY G. (1998). – **Institutions didactiques, étude et autonomie à l'École élémentaire**. Paris : PUF.
- SENSEVY G. (2001). – Modèles de l'action du professeur : nécessités, difficultés. In A. Mercier, G. Lemoyne, A. Rouchier (Eds), **Le génie didactique, usages et mésusages des théories de l'enseignement**. Bruxelles : De Boeck, p. 209-232.

- SENSEVY G., QUILIO S. (2002). – Les discours du professeur. Vers une pragmatique didactique. **Revue française de pédagogie**, 141, 47-56.
- SCHUBAUER-LEONI M.-L. (1986). – **Maître-Élève-Savoir : analyse psychosociale du jeu et des enjeux de la relation didactique**. Thèse de doctorat en Sciences de l'Éducation, Université de Genève.
- SCHUBAUER-LEONI M.-L., CHIESA-MILLAR V. (2002). – Une « tâche de français sur un thème de géographie » : actions didactiques de l'enseignante dans le vif de l'activité en classe et dans son discours a priori. **Revue française de pédagogie**, 141, 123-134.
- SCHUBAUER-LEONI M.-L., LEUTENEGGER F., MERCIER A. (2000). – Interactions didactiques dans l'apprentissage des « grands nombres ». In M. Gilly, J.-P. Roux, A. Trognon (Eds), **Apprendre dans l'interaction. Analyse des médiations sémiotiques**. Nancy : Presses Universitaires de Nancy, p. 301-328.
- SFARD A., LINCHEVSKI L. (1994). – The gains and the pitfalls of reification. The case of algebra. **Educational Studies in Mathematics**, 26, 191-228.
- SMITH C., CAREY S. & WISER M. (1985). – On differentiation: a case study of the development of size, weight, and density. **Cognition**, 21 (3), 177-237.
- TIBERGHIE A. (1994). – Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. **Learning and Instruction**, 4, 71-87.
- VENTURINI P., AMADE-ESCOT C., TERRISSE A. (Eds) (2002). – **Études des pratiques effectives : l'approche des didactiques**. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- VIENNOT L. (1996). – **Raisonnement en physique, la part du sens commun**. Bruxelles : De Boeck-Wesmael.
- VINNER S. (1997). – From intuition to inhibition – mathematics education and other endangered species. In E. Pehkonen (Ed.), **Proceedings of the 21st conference of the International Group for Psychology of Mathematics Education**, Vol. 1, 63-78.
- VOSNADIOU S. (1994). – Capturing and modeling the process of conceptual change. **Learning and Instruction**, 4, 45-70.
- ZEVENBERGEN R. (2001). – Mathematics, social class and linguistic capital : An analysis of mathematics classroom interaction. In B. Atweh, H. Forgasz, B. Nebres (Eds), **Sociocultural research on mathematics education. An international perspective**. Mahwah NJ : Erlbaum, p. 201-215.

