

Vendredi 1er septembre 1989

Cours : "Ingénierie didactique"

par Michèle ARTIGUE

Equipe DIDIREM, Université PARIS 7

Ont participé à la préparation de cette journée :

M.Artigue, J.Boudarel, R.Douady, B.Parzys, A.Robert et J.Robinet de l'équipe DIDIREM de Université Paris 7,

J.L.Dorier de l'équipe de didactique des mathématiques et de l'informatique de l'Université de Grenoble 1.

I - INTRODUCTION

La notion d'ingénierie didactique a émergé en didactique des mathématiques au début des années 1980. Il s'agissait d'étiqueter par ce terme une forme du travail didactique : celle comparable au travail de l'ingénieur qui, pour réaliser un projet précis, s'appuie sur les connaissances scientifiques de son domaine, accepte de se soumettre à un contrôle de type scientifique mais, dans le même temps, se trouve obligé de travailler sur des objets beaucoup plus complexes que les objets épurés de la science et donc de s'attaquer pratiquement, avec tous les moyens dont il dispose, à des problèmes que la science ne veut ou ne peut encore prendre en charge.

Cet étiquetage est alors perçu comme le moyen d'aborder deux questions cruciales, vu l'état du développement de la didactique des mathématiques à l'époque :

- les rapports entre la recherche et l'action sur le système d'enseignement,
- le rôle qu'il convient de faire jouer aux "réalisations didactiques" en classe au sein des méthodologies de la recherche didactique (cf. Y.Chevallard [1]).

Plus précisément,

- dans le premier cas, il s'agit de se dégager de rapports entre recherche et action pensés soit en terme d'innovation, soit par l'intermédiaire de la notion de recherche/action pour affirmer la possibilité d'une action rationnelle sur le système basée sur des connaissances didactiques préétablies,
- dans le second cas, il s'agit de marquer la place des "réalisations didactiques" par rapport aux méthodologies de recherche sur lesquelles se fondent la majorité des recherches publiées à l'époque. Il s'agit en effet de méthodologies externes à la classe plus faciles à utiliser et à faire reconnaître comme productrices de résultats scientifiques, mais insuffisantes pour "attraper" la complexité du système étudié.

Et, effectivement, c'est dans ce double esprit que la notion d'ingénierie didactique va, à partir de là, tracer son chemin dans l'édifice didactique, en arrivant à désigner à la

VENDREDI 1^{er} SEPTEMBRE 1989

INGENIERIE DIDACTIQUE



fois des productions réalisées pour l'enseignement à l'issue de recherches ayant fait appel à des méthodologies externes et une méthodologie de recherche spécifique. C'est aux caractéristiques de cette méthodologie que nous nous attacherons dans le paragraphe suivant.

II - L'INGENIERIE DIDACTIQUE COMME METHODOLOGIE DE RECHERCHE

L'ingénierie didactique, vue comme méthodologie de recherche, se caractérise en premier lieu par un schéma expérimental basé sur des réalisations didactiques en classe c'est à dire sur la conception, la réalisation, l'observation et l'analyse de séquences d'enseignement. On y distingue classiquement deux niveaux, celui de la micro-ingénierie et celui de la macro-ingénierie, suivant l'importance de la réalisation didactique impliquée dans la recherche. Les recherches de micro-ingénierie sont plus aisées à mettre en place, mais si elles permettent de prendre en compte la complexité du phénomène classe, elles ne permettent pas de composer cette complexité avec celle, essentielle, des phénomènes liés à la durée dans les rapports enseignement/apprentissage ; elles ne permettent pas non plus nécessairement un découpage cohérent des objets de connaissance. Les recherches de macro-ingénierie s'avèrent donc, en dépit de toutes les difficultés qu'elles présentent, incontournables. Dans ce domaine de la macro-ingénierie, les thèses de G.Brousseau [2] et de R.Douady [3] constituent les deux grands classiques, leur importance étant due à la fois à l'ampleur des réalisations didactiques concernées et à l'apport théorique dont elles ont été le support.

La méthodologie d'ingénierie didactique se caractérise aussi, par rapport à d'autres types de recherches basés sur des expérimentations en classe, par le registre dans lequel elle se situe et les modes de validation qui lui sont associés. En effet, les recherches ayant recours à des expérimentations en classe se situent très souvent dans une approche comparative avec validation externe basée sur la comparaison statistique des performances de groupes expérimentaux et de groupes témoins. Ce paradigme n'est pas celui de l'ingénierie didactique qui se situe, à l'opposé, dans le registre des études de cas et dont la validation est essentiellement interne, fondée sur la notion d'analyse a priori.

En revanche les objectifs des recherches d'ingénierie didactique peuvent être divers : élaboration de génèses artificielles pour l'enseignement d'un contenu conceptuel déterminé bien sûr mais aussi étude de notions dont le statut reste paramathématique dans l'enseignement ou mise en place de stratégies globales d'enseignement. C'est donc bien par ses caractéristiques méthodologiques que l'ingénierie didactique pose sa singularité. Dans ce qui suit, nous allons essayer de présenter les traits caractéristiques à l'heure actuelle de cette méthodologie, tels qu'ils se dégagent des recherches qui s'en réclament, en suivant le découpage temporel de leur processus expérimental.

Dans cette perspective, la première phase est celle des études préalables à la conception. Cette conception, en effet, s'appuie sur un cadre théorique didactique général mais aussi sur l'analyse épistémologique des contenus visés par l'enseignement, sur l'analyse de l'enseignement usuel et de ses effets, sur l'étude des conceptions des élèves, sur l'analyse du champ de contraintes dans lequel va se situer l'ingénierie, sur les connaissances didactiques déjà acquises dans le domaine particulier étudié ainsi que sur des travaux plus spécifiquement liés aux objectifs précis de la recherche. Dans les travaux rédigés, cependant, le plus souvent, toutes ces composantes n'interviennent pas de façon explicite et l'un des objectifs des ateliers sera d'identifier, à propos de travaux précis, les composantes privilégiées et d'essayer de comprendre a posteriori la signification didactique des choix effectués.

Après cette première phase d'études préalables vient la phase de conception où le chercheur prend la décision d'agir sur un certain nombre de variables de commande du système et il nous semble utile, pour faciliter l'analyse, de distinguer divers types de variables de commande, en particulier :

- les variables macro-didactiques qui concernent l'organisation globale de l'ingénierie,
- et les variables micro-didactiques qui concernent l'organisation locale de l'ingénierie, c'est à dire l'organisation d'une séance ou d'une phase,

les unes et les autres pouvant être elles-mêmes des variables d'ordre général ou des variables dépendantes du contenu didactique dont l'enseignement est visé.

C'est déjà dans cette phase que s'amorce le processus de validation, via l'analyse a priori des situations didactiques construites pour la recherche. C'est une analyse menée dans une perspective de contrôle du sens des comportements de l'élève. Là encore, il nous semble important de distinguer deux dimensions d'analyse : la dimension a-didactique et la dimension didactique.

C'est sur la part a-didactique que se concentre ordinairement, dans les travaux publiés, l'analyse a priori. Elle comporte une partie descriptive qui présente les objectifs de la situation, les choix didactiques effectués au niveau local (éventuellement mis en relation avec des choix globaux), les caractéristiques qui en résultent pour la situation et une partie plus prédictive où l'on cherche à préciser en fonction de ces caractéristiques quel peut être l'enjeu réel de la situation pour l'élève, quels sont les comportements susceptibles d'apparaître et quel sens on peut leur attribuer, en essayant en particulier de montrer que les comportements attendus résultent bien de la mise en oeuvre de la connaissance visée.

En revanche, l'enseignant est en général très peu présent dans cette analyse, réduit de façon souvent implicite à des fonctions de dévolution et d'institutionnalisation. Cette prise en compte limitée de l'enseignant et, à travers lui, de la part didactique de l'analyse, a des raisons "historiques" évidentes mais, le développement des recherches d'ingénierie le montre clairement (cf. par exemple la thèse de D.Grenier [4]), elle pose problème. Nous reviendrons sur ce point dans le paragraphe suivant.

Nous ne nous étendrons pas dans ce texte sur la phase suivante de réalisation et observation qui, d'un point de vue expérimental est relativement classique. Elle est suivie d'une phase d'analyse dite a posteriori qui s'appuie sur les données recueillies pendant la réalisation : observations des séquences mais aussi productions des élèves en classe ou hors classe, complétées souvent par des données issues de questionnaires, d'entretiens individuels ou en petits groupes, réalisés à divers moments de l'enseignement ou à son issue. Et c'est sur la confrontation des deux analyses : analyse a priori et analyse a posteriori que reposera essentiellement la validation de la recherche, le chercheur testant, à travers la pertinence de l'analyse a priori, de manière indirecte, les hypothèses qui la justifient.

III - L'INGENIERIE DIDACTIQUE, MOTEUR DE LA PROGRESSION DIDACTIQUE

L'ingénierie didactique plongeant le chercheur au sein de la complexité du système qu'il étudie, il était naturel que cette méthodologie mette en évidence des problèmes qui pouvaient échapper à des méthodologies plus externes. Cela fut effectivement le cas : les notions d'institutionnalisation et plus récemment celle de mémoire de la classe par exemple, lui doivent le jour. Nous nous limiterons ici en fait aux problèmes de transmission et de reproductibilité.

L'ingénierie didactique pose ces problèmes de manière nouvelle puisque d'une part, la réalisation expérimentale elle-même suppose déjà le plus souvent une

"transmission" en direction du ou des enseignants qui en seront les acteurs, d'autre part parce que l'on ne peut, comme dans le cadre des méthodologies externes, importer aisément le "sens" de la reproductibilité de champs scientifiques voisins.

G.Brousseau, le premier, confronté au problème de la reproduction de son ingénierie didactique sur fractions et décimaux, a attiré l'attention des chercheurs sur les phénomènes d'obsolescence et éprouvé le besoin de distinguer reproductibilité interne et reproductibilité externe [5]. Dans ma thèse [6], j'ai montré ensuite que les écrits didactiques véhiculaient un modèle implicite de la notion de reproductibilité, externe, essentiellement dynamique, qui de plus liait la reproductibilité à des niveaux de régularité difficiles à obtenir par le seul jeu des variables affichées. Ceci m'a conduite à faire l'hypothèse que les reproductibilités constatées conformes à ce modèle étaient le plus souvent forcées par des actions de contrôle de la dynamique de la situation, menées de façon plus ou moins consciente par l'enseignant et, plus généralement, à faire l'hypothèse que c'était en termes de "relation d'incertitude" qu'il fallait penser les rapports entre reproductibilités interne et externe : une exigence forte de reproductibilité externe ne peut être réalisée qu'au détriment de la reproductibilité interne.

Il faut souligner que l'enjeu de ces questions de "sens" n'est pas seulement théorique. En effet, si par exemple, les hypothèses que je viens de citer s'avèrent vérifiées, cela signifiera que le modèle implicite que nous véhiculons, plus ou moins inconsciemment, constitue déjà un obstacle à la transmission didactique.

Ce sont justement les difficultés rencontrées dans cette transmission didactique, que ce soit à l'intérieur de la recherche ou à l'issue de celle-ci dans la transmission d'ingénieries didactiques, produits de développement, qui ont attiré l'attention des chercheurs sur un autre problème : celui des représentations que les enseignants se font des mathématiques, de leur apprentissage, de leur enseignement et de l'influence de ces représentations sur les choix qu'ils effectuent et les produits d'enseignement qu'ils construisent à partir d'une ingénierie didactique donnée.

Les recherches tendent à se développer dans cette direction. A.Robert et J.Robinet, par exemple, partant de l'hypothèse qu'une certaine compatibilité de représentations est nécessaire au bon fonctionnement de la transmission didactique, cherchent à identifier ces représentations, leur influence sur l'enseignement ainsi que sur les apprentissages des élèves. Ceci les a amenées, en s'inspirant de la théorie des représentations des psychologues sociaux (cf. J.C.Abric[7]), à introduire la notion de représentation "métacognitive" pour justement représenter les conceptions des enseignants sur les mathématiques, sur la manière de les enseigner et de les apprendre, avec les conséquences sur leurs pratiques professionnelles [8]. Elles essaient de cerner ces représentations par diverses traces, directes et indirectes puis de les catégoriser en se basant sur la notion de noyau central : ensemble d'éléments jouant un rôle privilégié, en général renforcé par toutes les expériences vécues par l'individu et à partir duquel s'organise l'ensemble de la conception. La grille d'analyse qu'elles ont ainsi réalisée semble permettre de repérer des pôles où se cristalliseraient les différences exprimées.

L'exploitation didactique de ces travaux par rapport à la transmission, n'a cependant pour l'instant rien d'évident et, en particulier, on peut se demander :

- en quoi les représentations métacognitives des enseignants ainsi définies déterminent les décisions qu'ils prennent dans leur enseignement, globalement et localement,
- en quoi elles influent sur les représentations métacognitives des élèves eux-mêmes et leurs apprentissages.

On ne peut espérer obtenir à court terme des réponses fiables à ces questions et il faut avouer que les travaux en cours posent de plus des problèmes méthodologiques très délicats. Mais ils participent de cette meilleure prise en compte de l'enseignant dont nous posons la nécessité dans le paragraphe précédent, prise en compte qui, en dépit des difficultés qu'elle pose, ne constitue pas moins un des passages obligés de l'avancée de la didactique à l'heure actuelle.

Références :

- [1] Y.Chevallard : *Sur l'ingénierie didactique*, Texte préparé pour la deuxième Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques, Orléans, 1982.
- [2] G.Brousseau : *La théorisation des phénomènes d'enseignement des mathématiques*, Thèse d'Etat, Université de Bordeaux 1, 1986.
- [3] R.Douady : *Jeux de cadre et dialectique outil-objet dans l'enseignement des mathématiques - une réalisation dans tout le cursus primaire*, Thèse d'Etat, Université Paris 7, 1984.
- [4] D.Grenier : *Construction et étude du fonctionnement d'un processus d'enseignement sur la symétrie orthogonale en sixième*, Doctorat d'Université, Université de Grenoble 1, 1988.
- [5] G.Brousseau : *Problèmes de didactique des décimaux*, Recherches en Didactique des Mathématiques, Vol. 2.3, pp. 37-127, 1981.
- [6] M.Artigue : *Contribution à l'étude de la reproductibilité des situations didactiques*, Thèse d'Etat (première partie), Université Paris 7, 1984.
- [7] J.C. Abric : *Coopération, compétition et représentations sociales*, Editions DeVal, Suisse, 1987.
- [8] A.Robert et J.Robinet : *Représentations des enseignants de mathématiques sur les mathématiques et leur enseignement*, Cahier DIDIREM N° 1, Editions IREM Paris 7, 1989.