

**L'ACCES AU MILIEU SCOLAIRE POUR L'ELABORATION ET
L'EXPERIMENTATION D'INGENIERIES DIDACTIQUES DE RECHERCHE :
CONDITIONS ET CONTRAINTES
LE DISPOSITIF DES LÉA (LIEUX D'ÉDUCATION ASSOCIES A L'IFÉ)**

Yves **MATHERON**

IFE-ENS de Lyon

yves.matheron@ens-lyon.fr

Serge **QUILIO**

ESPE de l'académie de Nice

serge.quilio@unice.fr

Résumé

Les ingénieries didactiques sont nées en mathématiques dans le courant des années 1970, puis se sont développées au cours de la décennie suivante durant laquelle le concept a migré vers d'autres disciplines. Se démarquant des « recherches-actions », elles visaient la production et l'observation de phénomènes afin de construire une théorie des « systèmes didactiques » ; terme souvent synonyme de « classe » (Artigue, 2011), sortes d'isolats étroitement pilotés et contrôlés par des didacticiens. Il s'agit aujourd'hui de s'affronter à une toute autre question : « Comment créer les conditions épistémologiquement optimales d'enseignement d'un savoir dans un nombre significatif de classes ? » (Mercier, 2008).

Suivre cette voie engage à l'étude des conditions et contraintes venues de l'extérieur des systèmes didactiques et de leurs voisinages (système éducatif, société, civilisation), qui déterminent la manière dont les savoirs y sont enseignés et étudiés. Cette orientation entre en phase avec le changement de paradigme scolaire qui se fait jour : passer d'une visite des œuvres à un questionnement du monde (Chevallard, 2007) par la promotion d'une démarche de problématisation (Fabre, 2009) et de recherche engageant les élèves. Les LéA (Lieux d'éducation Associés à l'IFE), qui visent à instruire une question portée par les acteurs d'un établissement dédié à l'éducation, constituent un terrain pour des recherches de type clinique (Ginzburg, 1986 & Leutenegger, 2009) répondant à l'étude de ce changement de paradigme.

Mots clés

Ingénieries didactiques, lieux d'éducation associés à l'IFé, méthodologie clinique.

LES LEA : BREVE DESCRIPTION

Lorsqu'en 2011 il a fallu refonder un institut de recherche en éducation après la dissolution de l'INRP, et qu'a été créé un institut intégré dans l'ENS de Lyon sous la dénomination d'Institut Français de l'Éducation (IFé), s'est posée la question de la forme à donner aux rapports des chercheurs de ce nouvel institut à leurs terrains de recherche. Du temps de l'INRP, plusieurs centaines d'enseignants, souvent dispersés sur le territoire national, étaient associées aux équipes de l'institut. La fondation de l'IFé fournissait une occasion de

s'interroger sur la pertinence de ce dispositif.

Un modèle précédemment expérimenté à Marseille à partir de 2009 par Serge Quilio, sous la direction d'Alain Mercier – il s'agit de l'école primaire St Charles I dont nous parlons dans la suite de cet article –, a alors été adapté pour jeter l'une des bases sur lesquelles refonder l'association des acteurs de terrain aux recherches menées par l'IFé. Un des principes retenus a consisté à ancrer la recherche dans un lieu dédié à l'éducation, donc un lieu géographiquement circonscrit, en engageant certains des membres de cette structure éducative dans un projet défini entre eux et le chercheur.

Un LÉA (Lieu d'éducation Associé à l'Institut Français de l'Education) se constitue ainsi autour d'une question portée par les acteurs d'un établissement dont la fonction principale relève de l'éducation. Il s'agit, majoritairement, d'un établissement d'enseignement primaire ou secondaire, mais cela peut aussi être un musée, un CHU, une école de danse, un réseau d'écoles autour d'un collège, etc. Un LÉA est donc un lieu qui réunit un collectif d'acteurs autour d'un projet de recherche piloté par un ou plusieurs membres d'un laboratoire de recherche en éducation. Si l'origine de la question émane du terrain, elle est néanmoins travaillée par un chercheur qui devient le correspondant IFé. Le traitement de la question répond à une double finalité. Une partie porte une dimension « développement » et intéresse directement les acteurs de l'établissement LÉA ; par « développement », il faut aussi bien entendre la résolution du problème initialement porté par les acteurs du LÉA que, le plus souvent, leur développement professionnel. Une autre partie vient nourrir la recherche menée par le chercheur et son laboratoire. En 2013-2014, existaient 31 LÉA dont les acteurs de terrain disposaient de quelques moyens attribués par la DGESCO sous forme de HSE - vacations. L'IFé, ou les équipes de recherche associées, assument la responsabilité financière du volet propre à la recherche, portant sur le matériel et le service des chercheurs engagés dans ce travail.

Le suivi du dispositif LÉA est assuré à l'IFé par un comité scientifique et un comité d'organisation. Les comités se réunissent plusieurs fois par an à l'IFÉ et des réunions des représentants de LÉA se tiennent une à deux fois par an¹.

SUR LES INGENIERIES DIDACTIQUES

La XV^e école d'été de l'ARDM, qui s'est tenue en 2009, a été entièrement consacrée au seul thème des ingénieries didactiques. Nous ne revenons pas sur l'ensemble des travaux très riches qui y furent menés, et dont bon nombre visait la refondation de la notion. Retenons seulement dans ce court texte quelques-uns des extraits de certaines des contributions consignées dans les actes². Michèle Artigue, dès l'introduction, dresse un historique du concept, de son évolution et des difficultés rencontrées. Elle formule « un principe d'incertitude entre *reproductibilité interne* et *reproductibilité externe*, c'est-à-dire entre reproductibilité préservant la dynamique externe de la trajectoire ou histoire de classe, et une reproductibilité préservant la signification des connaissances mathématiques mises en œuvre. Ceci signifie, en d'autres termes, écrit-elle, qu'une exigence forte de reproductibilité externe ne peut être satisfaite qu'en sacrifiant d'autant la reproductibilité interne qui est, en fait, visée. » Pour diverses raisons tenant aux conditions et contraintes propres au système éducatif tel qu'il est – épistémologie spontanée des enseignants et leur formation, changements de contrat didactique dans lequel les élèves ont des difficultés à entrer, « dérives » liées aux interactions professeur-élèves, organisations matérielle et temporelle de l'enseignement au sein du système, etc. – l'expérience de la reproductibilité, voire de la passation sous contrôle,

¹ Pour une information plus complète : <http://ife.ens-lyon.fr/lea>

² *En amont et en aval des ingénieries didactiques*, La Pensée sauvage éditions

a montré que l'on se heurte soit à la difficulté de conserver la valeur épistémique portée par l'ingénierie (reproductibilité interne), soit à une difficulté dans le fonctionnement du système didactique à la faire vivre telle quelle (reproductibilité externe). C'est effectivement, nous semble-t-il, le bilan que l'on peut tirer de la mise en œuvre d'ingénieries didactiques dans une optique portée notamment par une intention de développement, à travers des implantations locales au sein du système. Cette incertitude nous apparaît déjà présente lorsqu'on observe certaines séances des ingénieries passées au COREM. Elles voient Guy Brousseau « reprendre la main » et piloter la classe face à des difficultés didactiques que ne parvient pas à surmonter la maîtresse, afin de maintenir l'adidacticité de la situation.

Lorsqu'on remonte à l'origine du concept d'ingénierie didactique, on trouve une forte volonté de démarcation par rapport à ce qui prévalait alors sous le terme de « recherche-action ». Elle passe notamment par le rejet de l'idéologie de l'innovation et la nécessité de produire des connaissances sur le système didactique en agissant pour cela sur lui. Une telle action s'appuie sur des connaissances préétablies, et on se réfère alors au concept bachelardien de « phénoménotechnique ». En retour, elle permet la mise à l'épreuve des constructions théoriques. A l'opposé des méthodologies « externes » de type questionnaires, entretiens, tests, etc. Yves Chevallard propose en 1982 et en citant l'exemple de Freud qui à la fois soigne et construit la psychanalyse, l'usage d'une méthodologie de type clinique. Cette proposition sera reprise et développée par Francia Leutenegger dans sa thèse en 1999, et utilisée depuis lors (Leutenegger, 2009).

Dès le début des années 1980, alors que l'ingénierie didactique se donne pour objet la construction de connaissances scientifiques sur le système didactique, pointe déjà une dimension développementale. Yves Chevallard, dans un document de travail pour la II^e école d'été et daté de juin 1982, pose le problème « des rapports de la recherche en didactique et de l'action sur le système d'enseignement ». Il indique deux problèmes au moins, propres au système d'enseignement, sur lesquels la didactique scientifique peut, à cette époque, agir : « [...] 2. La didactique peut aujourd'hui contribuer à apporter des améliorations réelles à certains types d'action déjà connus et mis en œuvre (e.g. la formation des enseignants), soit en améliorant les anciennes formules, soit en proposant de nouvelles modalités ; et peut aussi proposer de nouveaux types d'action (le travail sur les élèves en échec électif par exemple) ». Dans ce dernier exemple, peut-être s'agissait-il d'une allusion au « cas de Gaël » étudié par Guy Brousseau.

Une trentaine d'années plus tard, dans les actes de la XV^e école d'été de didactique des mathématiques, Marie-Jeanne Perrin-Glorian revient pour les articuler sur les deux fonctions assignées aux ingénieries didactiques : « Pour ma part, je m'intéresserai aux deux [*ingénierie de production et développement et ingénierie phénoménotechnique*] dans la mesure où l'ingénierie phénoménotechnique produit des situations de classe qui diffusent dans l'enseignement ordinaire et où l'ingénierie de développement et de production peut ne pas viser uniquement un enseignement mais s'intégrer à une recherche qui étudie aussi les conditions de diffusion de cette production et son utilisation en formation des maîtres. »

D'une part, en effet, et de manière peut-être inattendue, des ingénieries initialement conçues pour la recherche se retrouvent désormais dans des manuels commerciaux, édités et diffusés en direction des élèves et de leurs professeurs : on pense par exemple à l'agrandissement du puzzle, à des propositions extraites de thèses (situations de dénombrement issues de la thèse de Maryza Kryszynska pour introduire à la modélisation algébrique) ou encore à des documents d'IREM. Signe d'une transposition institutionnelle peu contrôlée et de l'impact des conditions et contraintes sous lesquelles se déroule l'enseignement des mathématiques au sein du système scolaire, ces appropriations et transformations d'ingénieries didactiques par les auteurs de manuels et les professeurs qui les utilisent, se font quasiment toutes au détriment des qualités épistémiques et didactiques dont elles étaient initialement pourvues.

D'autre part, certains travaux de thèse s'appuient sur des matériaux empiriques recueillis à partir de propositions d'enseignement testées dans le système par des enseignants non initiés à la théorisation didactique. Au fil des ans, une certaine porosité s'est ainsi parfois installée au sein de l'hypothétique frontière entre ingénierie de recherche et ingénierie de développement.

UNE DIMENSION COLLABORATIVE : RECHERCHE SUR LE TERRAIN ASSOCIEE A FORMATION ET DEVELOPPEMENT PROFESSIONNELS

Une trentaine d'années après que Yves Chevallard a fourni quelques exemples illustrant les actions possibles sur le système éducatif, à partir de résultats de recherches en didactique, en tenant compte de « la porosité » qui vient d'être évoquée et de la volonté, portée par un certain nombre de professeurs, d'amélioration de l'enseignement des mathématiques, il est possible de reprendre à nouveaux frais la question des conditions et contraintes de diffusion et de réception des ingénieries didactiques au sein du système. Cette étude ne peut plus se limiter à la seule observation de séances en classe, même si elles nous informent sur la viabilité d'une ingénierie dans un isolat du système. Il faut aussi observer les professeurs, recueillir ce qu'ils disent avant, après et hors passation des ingénieries, recueillir les traces des influences du système sur la partie du système observée, notamment du point de vue de ce qui s'y joue relativement à l'organisation de l'étude d'un savoir, étudier la variabilité inter-classes et inter-professeurs.

Mobiliser des forces souhaitant améliorer l'enseignement à partir des connaissances produites en didactique : développement

Michèle Artigue mentionne, dans les actes de la XV^e Ecole d'été (*op. cit.*) et tout en soulignant que la tâche n'en est pas pour autant aisée, que « notre communauté a l'habitude, depuis plus de 20 ans, de combiner de façon productive les approches et concepts de la TSD avec ceux de la TAD ». C'est cette voie qui a été suivie au sein des deux LÉA évoqués dans ce texte. Fort heureusement, il existe toujours, au sein du système, des enseignants des premier et second degrés, prêts à rechercher des changements dans la manière dont les mathématiques sont enseignées, afin d'améliorer leur apprentissage par les élèves ainsi que leur rapport à l'étude scolaire de cette discipline.

Dans cette partie du texte, nous évoquons un des LÉA, un collège, dans lequel trois professeurs de mathématiques enseignent une grande partie du programme sous forme d'Activités et de Parcours d'Etude et de Recherche (AER et PER). Ils sont conçus à partir d'une analyse de l'organisation mathématique à enseigner, de choix raisonnés de transposition didactique, d'une réflexion sur les divers moments de l'organisation didactique qui en permet l'étude et par lesquels on tente d'engager la classe. Ces AER et PER sont produites au sein d'un partenariat entre chercheurs et professeurs, mais ce sont les chercheurs qui en assurent le contrôle épistémologique et didactique. Certaines des séances sont filmées et des moments de régulation réunissant chercheurs et professeurs, eux aussi filmés, se tiennent à intervalles réguliers. Ces deux types de films constituent une grande partie des matériaux empiriques utiles à la recherche. Ils sont complétés par des tests auprès d'élèves afin d'évaluer l'impact d'un enseignement combinant étude et recherche dirigées par le professeur. Le collège, devenu LÉA pour trois années, est constitué de 36 classes et les effectifs avoisinent tous 30 élèves par classe. Par niveau, les AER et PER sont passés dans quatre classes, tandis que quatre autres, enseignées par d'autres professeurs selon les formes traditionnelles en vigueur, essentiellement l'ostension déguisée à partir d'activités trouvées dans les manuels, servent de classes témoins. Les cohortes d'élèves des classes où sont passés AER et PER sont suivies de la 5^e à la 3^e. Les trois « professeurs expérimentateurs » enseignent l'année suivante dans une classe « LÉA » différente de celle qui était la leur l'année précédente.

La logique qui préside à ce type d'AER et PER ne suit pas nécessairement celle sur laquelle sont bâties les ingénieries de recherche dont le soubassement théorique est celui, bien connu, de la Théorie des Situations Didactiques. La raison tient au fait que leurs passations dans le système « standard », et non dans une école dédiée à l'observation pour la recherche, supposeraient une formation préalable des professeurs à la didactique et des moyens que ne fournit plus l'Education Nationale. La profession ne dispose actuellement pas des connaissances de base élaborées par une quarantaine d'années de recherche en didactique et les professeurs engagés dans ce travail ne souhaitent pas nécessairement s'y former. Ils sont néanmoins « recrutés » en tant que volontaires pour expérimenter des propositions qui pourraient améliorer enseignement et apprentissage. C'est, en dehors du cas des trois professeurs de ce collège, celui de professeurs de mathématiques de deux autres collèges des environs qui expérimentent ce type d'enseignement depuis la rentrée 2014. De fait, ces professeurs paient de leur personne un engagement dans le travail qui va bien au-delà de ce que les faibles moyens financiers que l'Education Nationale leur alloue sont capables de prendre en compte. Il ne s'agit donc pas d'une organisation en situations adidactiques d'action, de formulation et de validation, avec milieux adidactiques, telles qu'on peut par exemple les trouver dans *Rationnels et décimaux dans la scolarité obligatoire* de Nadine et Guy Brousseau et dans les films du COREM. Une telle construction *a priori*, bâtie sur une situation fondamentale, se révèle, comme on sait, le plus souvent délicate, et le pilotage de telles situations adidactiques demanderait tout à la fois des conditions d'organisation du système dont on ne peut actuellement disposer, et des professeurs qui, pour l'instant, n'y sont pas préparés.

Au sein de nos ingénieries, une question dévolue aux élèves est mise à l'étude, dont l'analyse *a priori* a permis d'identifier quelles mathématiques du programme elle peut générer ; on retrouve en ce point l'idée de situation fondamentale. Les moments par lesquels passera cette étude sont eux aussi analysés *a priori*. Une telle question génératrice, relativement large, se décline, à travers son attaque par les élèves, en sous-questions dont la recherche de réponses mobilise une dialectique des milieux et des médias. Le professeur peut jouer le rôle de média, compte tenu de la faiblesse des médias pour la recherche consultables dans une classe lors d'une séance de 55 min. ; ce qui n'exclut pas que cette recherche se poursuive dans un temps extérieur à la classe, celui-ci n'étant pas uniquement consacré au travail de la technique à partir d'exercices. Dans ce type d'étude des mathématiques par la recherche, existent des moments adidactiques, mais aussi des moments d'enseignement de réponses fournies par le professeur pourvu que les questions aient été, auparavant, effectivement rencontrées et recherchées par les élèves.

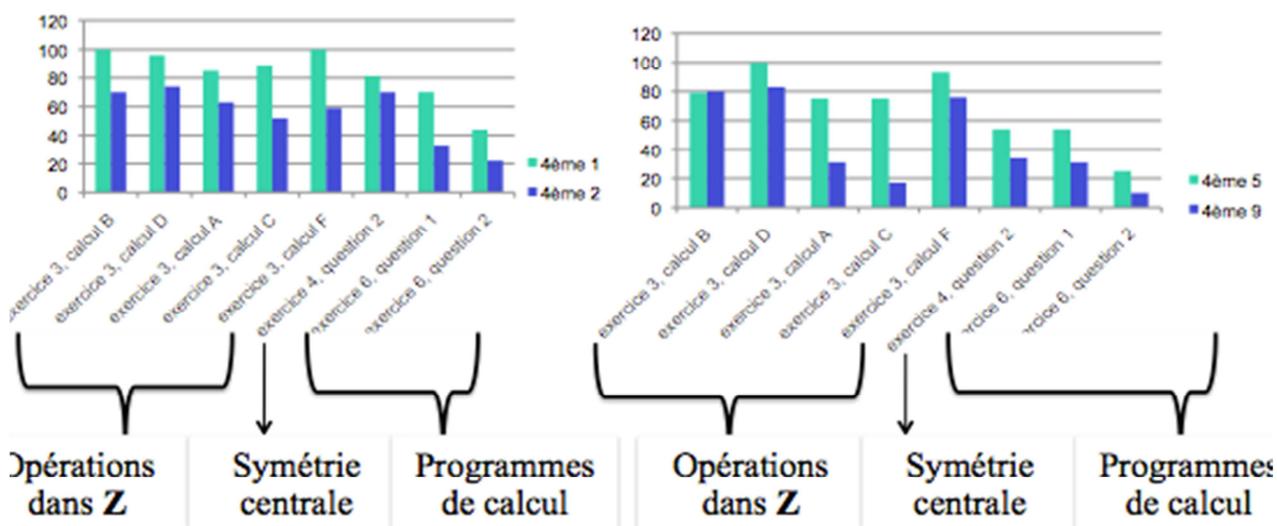
On part donc de ce que les conditions et contraintes systémiques autorisent, de ce qu'on suppose possible de la part des professeurs, de ce qu'ils ont construit à partir de leur expérience professionnelle et de ce qu'ils pourraient en faire. Il s'agit ainsi de travailler dans ce qu'on pourrait désigner du terme de « Zone Proximale de Développement Professionnel », celle-ci s'enrichissant des échanges lors des moments de régulation avec les chercheurs. Les professeurs qui enseignent de cette manière nous disent trouver désormais insatisfaisant l'enseignement qui était le leur auparavant, et qu'ils continuent de pratiquer sur les parties du programme non couvertes par les AER et PER que nous avons conçus. Ce type de remarques semble à la fois montrer l'efficacité d'un accompagnement professionnel qui pourrait être élargi si le système voulait s'en donner les moyens, mais aussi que la conception d'AER et PER nécessite une implication fondamentale et indispensable des didacticiens : les conditions dans lesquelles est plongée la profession ne la rendent pas en mesure d'en concevoir et d'en évaluer les effets autrement que de manière subjective, dans le but de les développer.

Quels résultats en termes d'amélioration des apprentissages ?

Nous donnons ci-dessous quelques résultats de l'expérience en cours en nous centrant sur les élèves qui ont suivi ce type d'étude des mathématiques en classe de 5^e. Un pré-test est passé par tous les élèves de l'établissement à l'entrée en classe de 4^e, au mois de septembre. Comme indiqué dans les lignes précédentes, nous comparons des classes expérimentales « LÉA » et des classes « standard » sur des secteurs du programme de la classe de 5^e. Ces parties du programme sont celles qui ont été enseignées dans les classes LÉA sous forme d'AER et de PER : les nombres relatifs, la symétrie centrale, l'entrée dans l'algèbre (programmes de calcul) à partir de la production d'écritures littérales.

Nous avons apparié des classes de niveau scolaire comparable. Ainsi les ex 5^e 1 et 5^e 2 sont-elles deux classes internationales de bon niveau dans lesquelles 27 élèves ont pu être soumis au test. Les ex 5^e 5 et 5^e 9 sont par contre de niveau moyen à faible, dans lesquelles 28 et 29 élèves respectivement ont passé le test. Pour sa conception, nous avons repris des items des évaluations nationales proposées par la DEPP pour la classe de 5^e. Ils concernent les trois secteurs des mathématiques du programme évoqués ci-dessus, et enseignés sous forme d'AER et PER dans les classes LÉA.

Les diagrammes en bâtons ci-dessous, produits par Karine Drousset dont la thèse est en cours, indiquent le pourcentage des élèves qui, dans chacune de ces quatre classes, ont obtenu le code 1 pour chaque item : c'est-à-dire le pourcentage de ceux qui ont réussi le travail demandé par l'item. En vert et pour les bâtons situés à gauche, les classes LÉA de 4^e 1 et 4^e 5, en bleu et pour les bâtons situés à droite les classes témoins de 4^e 2 et 4^e 9.



Les items évalués étaient les suivants :

- pour les nombres relatifs, les calculs suivants : $A = -6 - (-5) =$; $B = 7 + (-4) =$; $C = 8 - (-3) =$; $D = -10 + 3 =$; $E = -1 - 5 =$; $F = -3 + 5 - 4 =$
- placer le symétrique d'un point par rapport à un autre sur une figure où les deux sont donnés
- pour les programmes de calcul, écrire sous forme d'expression algébrique un programme de calcul écrit en français, et comparer deux programmes de calcul

Comme on peut le constater, les pourcentages de réussite sont, pour chaque item, supérieurs (ou égal dans un cas) à ceux des classes témoins. Il faut, on le comprendra, prendre avec prudence des résultats qui n'ont aucune valeur statistique, même s'ils sont vus comme très encourageants par les professeurs. Y a-t-il un effet classes LÉA enseignées sous forme d'AER et PER, et si oui, à quoi est-il dû ? Est-ce un effet du hasard ? Est-ce lié à la personne des professeurs, à leur engagement dans les PER, ce biais ne pouvant être éliminé tout comme il

ne pourrait d'ailleurs l'être à plus grande échelle ? Est-ce dû à l'accompagnement des professeurs par les chercheurs dans la mise en œuvre des PER ou aux ingénieries PER proprement dites ?

Ces résultats sont donc à relativiser car l'échantillon est petit et des paramètres ne sont pas isolés. L'unité statistique étant la classe, il faudrait disposer, pour tenter de valider ces résultats et ne les rendre imputables qu'à l'engagement des professeurs dans les AER et PER ainsi conçus, d'un nombre beaucoup plus grand de classes participant à l'expérimentation, et sous les mêmes conditions d'accompagnement pour tous les professeurs ; ce qui est actuellement impossible compte tenu de la faiblesse des moyens humains et financiers dont nous disposons.

QUESTIONS DE RECHERCHE ET INDICES RECUEILLIS A PARTIR D'UNE METHODOLOGIE DE TYPE CLINIQUE

Saisir le plongement du didactique dans le social et certaines de ses conséquences

L'échelle des niveaux de codétermination didactique (Chevallard, 2002) modélise les « lieux » à partir desquels s'établissent certaines des conditions et des contraintes sous lesquelles se déroulent les processus didactiques. Ils influent sur le savoir tel qu'il est à l'issue des processus de transposition didactique : les déterminants des organisations de savoir. Ils influent aussi sur l'organisation sous laquelle se déroule son étude : les déterminants des organisations didactiques, c'est-à-dire la mésogénèse (Chevallard, 1992), la chronogénèse et la topogénèse (Chevallard, 1985).

Nous avons pointé, avec Robert Noirfalise (Matheron & Noirfalise, 2011), quelques-unes des conditions et contraintes venues des niveaux qu'on peut qualifier de sur-didactiques : ceux de la civilisation, de la société, de l'école et de la pédagogie. Parmi beaucoup d'autres dont on ne peut dresser une liste exhaustive mais que l'on pourrait regrouper derrière le terme bien commode de « forme scolaire », nous signalons une certaine idéologie constructiviste qui voudrait que tout vienne « de la tête de l'élève » – élève n'étant pas forcément un terme générique mais se référant plutôt à chaque individu singulier –, et qu'on pourrait qualifier, en suivant l'expression utilisée par Robert Noirfalise, « d'élève aux mains nues », ne disposant pas de médias mais ayant pour seules ressources que ses propres connaissances antérieures.

A l'inverse de ce qu'un certain discours institutionnel dit attendre « d'élèves aux mains nues », c'est-à-dire qu'ils « construisent le (ou leur !) savoir », une attitude partagée, conséquence d'un contrat didactique prédominant, relève de la docilité didactique de l'élève. L'esprit critique est peu sollicité car peu de questions sont mises à l'étude : une fois résolu l'enchaînement des diverses étapes sous lesquelles vivent la majorité des activités proposées dans les manuels et les classes, le travail de l'élève s'arrête en ce point. Il a rempli la part du contrat qui lui incombe. Au professeur de dire le vrai en tant que dépositaire du savoir, sans forcément que la raison de l'engagement de l'élève dans l'activité qui lui a été proposée ait effectivement été rencontrée. Puis l'élève attendra docilement que le professeur indique le type d'exercices qu'il devra savoir résoudre.

La séquentialisation du temps scolaire en séances de 55 min induit une forme de clôture de la recherche, lorsque celle-ci existe. Un problème posé en classe « doit » être résolu dans les minutes qui suivent. On peut s'interroger sur les raisons et les discours qui justifient une telle pratique professorale. Les problèmes posés sont alors clos, rédigés en questions enchaînées, sans ouverture sur d'autres questions, et ce qui les motive (leur raison d'être) est peu visible. Le *topos* des élèves est étroitement balisé car l'inattendu venu des élèves risque de faire « déborder » de l'heure. L'enseignement ne peut guère aller plus loin que celui du thème dont

l'étude s'achève lorsque le capital horaire est épuisé. L'enseignement du thème est alors réalisé par l'agrégation de quelques sujets traités en autant d'heures de classe. Les thèmes sont enseignés par blocs plutôt étanches ; construire leur lien reste à la charge des élèves.

Dans le cours qu'il donne lors de la XV^e école d'été, les actes constituant une référence de premier plan pour qui souhaite travailler la notion d'ingénierie didactique, Yves Chevallard met l'accent, parmi d'autres, sur deux problématiques en didactique. La *problématique de base* est définie de la manière suivante : « Etant donné certaines contraintes pesant sur telle institution ou telle personne, sous quels ensembles de conditions cette institution ou cette personne pourrait-elle intégrer dans son équipement praxéologique telle entité praxéologique désignée ? » L'autre problématique dite *possibiliste* consiste à traiter la question suivante : « Etant donné un certain ensemble de conditions et de contraintes auxquelles telle institution ou telle personne est soumise, à quels systèmes praxéologiques est-il possible que cette institution ou cette personne accède ? » Yves Chevallard les qualifie de *duales*. Ne pourrait-on les considérer plutôt comme complémentaires pour ce qui concerne les ingénieries de recherche et développement, dans la mesure où ce qui est en jeu est l'étude du système (problématique possibiliste relative aux praxéologies didactiques possibles sous certaines conditions et contraintes existantes), associée à une visée transformatrice (problématique de base relative aux conditions à mettre en place pour que vivent certaines praxéologies didactiques sous certaines contraintes non modifiées) ?

Dans ce dernier cas, les résultats de la recherche touchent plus particulièrement à ce qui relève du politique. Tout en étudiant le système tel qu'il est, il s'agit alors de mettre à l'ordre du jour certaines questions de développement, non pas à partir de desideratas noosphériques toujours changeants car relevant d'influences idéologiques (qu'elles soient de nature politicienne, assises sur la croyance en l'innovation ou en l'idée dominante du moment), mais à partir de résultats scientifiquement établis. Pour ce qui nous concerne, de telles questions se déclinent de la manière suivante.

Est-il possible de faire *vivre localement*, dans le système tel qu'il est, un enseignement des mathématiques bâti autour de PER ? A quelles conditions didactiques ? Quels en sont les effets en termes de rapport des élèves aux mathématiques, et de rapport des professeurs à leur enseignement ? Qu'apprend-on ainsi sur le fonctionnement du système, sur le métier de professeur ? À quelles conditions, éventuellement à créer, ce type d'enseignement peut-il *être étendu* ? Est-ce envisageable, souhaitable ? A quelles contraintes se heurte-t-il ? Des phénomènes *d'obsolescence* étudiés antérieurement par Michèle Artigue (1988) se (re)produisent-ils dans des ingénieries plus ouvertes telles que les PER ? Et alors, de quelle nature sont-ils ?

Au chevet du système didactique : des institutions pour l'observation

La méthodologie suivie pour observer et analyser les effets des conditions et contraintes sous lesquelles vivent les praxéologies didactiques au sein du système peut être rapprochée de celle développée au sein d'une approche clinique, ou encore de celle dite du « paradigme indiciaire » développée par Carlo Ginzburg (1986). Dans la perspective méthodologique que nous avons choisie, il s'agit de recueillir des traces qui, confrontées à un cadre théorique, celui de la didactique, vont se constituer en indices permettant le recueil d'informations sur le système didactique. Elles font à leur tour système, tout en gardant à l'esprit que l'administration de la preuve est toujours incertaine dans le domaine des sciences humaines. Néanmoins, le « cas de Gaël », cas que des personnes étrangères à la didactique et aux sciences humaines pourraient voir comme seulement singulier, ne constitue-t-il pas un exemple prototypique et fécond de « la pensée par cas », pour tout un pan de la théorisation didactique relative à l'élaboration de la notion de contrat didactique ?

Dans un chapitre de l'ouvrage collectif *L'interprétation des indices. Enquête sur le paradigme indiciaire de Carlo Ginzburg* (2007), cet auteur met l'accent sur l'importance de l'anomalie : « ce qui a du sens en revanche, c'est d'évoquer des anomalies ou des écarts par rapport à une certaine perspective. Dans un essai récent, [...], j'ai tenté d'illustrer les potentialités cognitives de l'anomalie dans des secteurs différents. L'hypothèse du paradigme indiciaire m'a aidé à introduire ce thème, auquel je tiens beaucoup, dans une perspective historique. »

Transposé de la micro-histoire, qui est le champ d'étude de Ginzburg, à l'étude didactique du système, il s'agit de créer des perturbations, des anomalies donc, afin d'en faire, par contraste, émerger le fonctionnement « ordinaire ». Dans cette partie de ce texte, il s'agit de recueils d'indices permettant d'accéder à certaines des dimensions des praxéologies didactiques en mathématiques au sein du système éducatif secondaire. Les séances en classe, et plus particulièrement les séances de régulation, constituent des institutions dédiées à l'observation de notre objet d'étude. On emprunte ici au travail de thèse en cours de Karine Drousset pour donner deux exemples relatifs aux dimensions technologiques des praxéologies professorales.

Ci-dessous, deux extraits recueillis à des moments différents permettent d'illustrer le même exemple.

P évoque une élève aidée par son père et qui a appliqué la réciproque du théorème de Thalès. En classe, elle a dit à P : « j'ai fait quelque chose mais je n'ai pas bien compris. J'ai dit que AB sur AE est égal à ... P : On arrête là ! »

Un autre extrait est relatif à la discussion d'une proposition émise par l'un des chercheurs. « Chercheur : si on autorisait ces élèves à aller voir le théorème Pythagore ailleurs... P' et P : non, ça ne me plaît pas du tout... P'' : autant leur donner directement P : tu leur donnes toi, c'est pareil... P : non, leur demander de trouver une relation entre les longueurs d'un triangle rectangle, c'est comme trouver un prof particulier... »

À travers ces deux extraits transparaissent deux contraintes relevant de la position de professeur dans le système didactique. D'une part, il ne peut guère exister d'autre dispositif d'aide à l'étude que celui sous le contrôle du professeur de la classe. Ceci peut être interpréter comme le signe d'une assez grande résistance à ce qui peut venir de l'extérieur du système didactique. En conséquence, si un parent ne peut jouer le rôle de média, qu'en sera-t-il d'un élève pour la classe ? D'autre part, comment envisager une modification dans la topogénèse du savoir et, partant, dans la mésogénèse, dans la mesure où seraient introduits par d'autres que le professeur (des élèves, des parents, des médias) des éléments d'un milieu qu'il ne contrôle pas ?

Dans un autre exemple, un des professeurs relate un épisode en classe. « P : en même temps, la symétrie orthogonale revenait par l'intermédiaire du pliage. A ce moment-là, on peut parler en termes de mathématiques. Mais tout le monde était capable de s'occuper de ça, et tout le monde avait envie parce que c'était évident qu'on allait y arriver. » Ce que décrit ce professeur peut être interpréter comme indice d'un habitus rétrocognitif : on ne peut engager les élèves dans une tâche mathématique que s'ils ont une forte probabilité de la réussir parce qu'ils possèdent des connaissances antérieures qui lui sont relatives. Comment alors engager les élèves et le système dans un changement vers un paradigme scolaire procognitif, qui verrait les élèves plongés dans un univers cognitif *a priori* étranger à leurs connaissances antérieures, autrement dit, dans l'enquête ?

INGENIERIES MATHÉMATIQUES COLLABORATIVES A L'ÉCOLE ÉLÉMENTAIRE

Objet du LÉA Saint Charles à Marseille et directions de recherche

L'accent mis par les programmes sur « la connaissance des nombres et le calcul », du CP au CE1, et l'importance de l'acquisition des mécanismes liés à leur compréhension font de ces apprentissages l'une des priorités du système d'enseignement, dans le cadre du socle commun de compétences. C'est sur ces questions que le LÉA Saint Charles est mobilisé.

Nous avons depuis quatre ans repris certaines des ingénieries développées dans les années 1980-1990 par Guy Brousseau et l'équipe du COREM (Centre d'Observation et de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques), et nous les avons transformées pour correspondre aux demandes sociales actuelles, qui portent en particulier sur l'apprentissage des algorithmes de calcul. Ces algorithmes sont fondés sur la numération décimale de position, qui est un système de représentation des nombres permettant un travail numérique sans retour à l'expérience, mais en référence à celle-ci : un modèle qui ne doit pas devenir une abstraction. L'enseignement que nous proposons est ainsi supposé donner aux élèves une expérience personnelle du monde modélisé comme condition de l'enseignement de ce modèle. Cet enseignement est aujourd'hui en place et nous cherchons maintenant les conditions de sa diffusion, donc de sa reproductibilité.

L'ensemble du programme du primaire concernant l'apprentissage du nombre au CP, dans le cadre du projet DGESCO ACE (Arithmétique et Compréhension à l'École) et des algorithmes élémentaires de calcul (addition, soustraction, multiplication, division) est actuellement expérimenté dans toutes les classes de l'école.

L'enjeu est tout d'abord de montrer que les solutions retenues dans ces ingénieries résistent à leur mise en œuvre dans des conditions diverses : l'École Saint Charles I est une école en zone violence de centre-ville, puis de montrer qu'elles produisent les apprentissages déclarés par avance et qu'elles ne produisent pas, « en conditions normales d'utilisation », de résultats aberrants.

Les manières de l'étude portées par les ingénieries mises en œuvre ont un rapport avec les types de savoir en jeu

Le rapport entre types de savoir en jeu et manières de les étudier fait l'objet des thèses en cours de Mireille Morellato et Alain Yaiche. Ce principe énonce sous une forme moins élaborée ce qu'a défini Yves Chevallard (2002) en termes de « niveaux de codétermination didactique ». En introduisant la notion de situations dans les ingénieries mises en œuvre, on comprend que les types de situations déterminent les formes épistémologiques des savoirs enseignés et appris. La manière dont les types de situations peuvent exister, leur écologie, c'est justement ce que les niveaux de détermination désignent, et nous tentons d'en donner une analyse. Notre travail collaboratif avec les professeurs vise à permettre l'existence de nouvelles manières d'étude pour que des formes épistémologiques nouvelles vivent, tout en évitant certains réflexes professoraux contre-productifs. Ces derniers engendrent une épistémologie à la fois autoritaire et empiriste dont nous savons qu'elle ne permet pas aux élèves, même aux meilleurs d'entre eux, de s'engager dans un rapport un peu solide aux mathématiques et de manière autonome.

L'enjeu de ces recherches menées collaborativement avec les professeurs

Ainsi, comme le didacticien qui observe les élèves au travail, le professeur doit pouvoir observer, non seulement les apprentissages que l'enseignement a rendus possibles, mais

encore les problèmes que les élèves rencontrent et que le professeur doit identifier pour que leur résolution appartienne à la classe.

Cela nécessite d'organiser l'apprentissage des professeurs à l'observation leurs élèves, et suppose à la fois :

- une réflexion *épistémologique*, c'est-à-dire portant sur les savoirs scolaires, ceux qu'ils enseignent et ceux dont les élèves ont besoin pour apprendre,
- une réflexion *didactique*, c'est-à-dire portant sur le curriculum que les élèves sont en train de produire pour eux-mêmes et sur les propriétés de cette organisation de savoir,
- une réflexion *anthropologique*, c'est-à-dire portant sur les savoirs qui circulent en dehors de l'école et sur leur articulation avec les savoirs scolaires qui, si elle existe, fondera la force des savoirs scolaires en assurant de leur pertinence...

Cela suppose bien sûr que, pour les professeurs de l'école, il soit clair que « le programme » définit quelque chose qu'ils ont à produire : *un plan d'études* qui organisera leur enseignement. Cela suppose *aussi* que les professeurs ne travaillent pas seuls ces questions, mais qu'ils bénéficient de l'appui bienveillant des chercheurs des disciplines observant les rapports sociaux aux savoirs, des chercheurs sur les savoirs d'enseignement, et plus généralement de la société entière.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARTIGUE M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 9(3), 281-308.
- ARTIGUE M. (2011). L'ingénierie didactique comme thème d'étude. In C. Margolinas, M. Abboud-Blanchard, L. Bueno-Ravel, N. Douek, A. Fluckiger, P. Gibel, F. Vandebrouck & F. Wozniak (Eds). *En amont et en aval des ingénieries didactiques* (pp. 15-25). Grenoble : La Pensée sauvage éditions.
- CAMOS V. & BARROUILLET P. (2006). *La cognition mathématique chez l'enfant*. Marseille : Solal Editeurs.
- BROUSSEAU G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée sauvage éditions.
- BROUSSEAU N. & BROUSSEAU G. (1987). *Rationnels et décimaux dans la scolarité obligatoire*. Bordeaux : IREM de Bordeaux.
- CHEVALLARD Y. (1982). *Sur l'ingénierie didactique*. Document de l'IREM d'Aix-Marseille, (51 p.)
- CHEVALLARD Y. (1985). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée Sauvage, 2^e édition 1991.
- CHEVALLARD Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en didactique des Mathématiques*, 12(1), 73 –112.
- CHEVALLARD Y. (2002). Organiser l'étude : 1. Structures & fonctions. In J-L. Dorier, M. Artaud, M. Artigue, R. Berthelot, R. Floris (Eds.), *Actes de la 11^e école d'été de didactique des mathématiques. Corps (Isère) – du 21 au 30 août 2001* (pp. 3-32). Grenoble : La Pensée Sauvage Editions.
- CHEVALLARD Y. (2007). Les mathématiques à l'école et la révolution épistémologique à venir. *Bulletin de l'APMEP*, 471, pp. 439-461.
- CHEVALLARD Y. (2011). La notion d'ingénierie didactique, un concept à refonder. Questionnement et éléments de réponse à partir de la TAD. In C. Margolinas, M. Abboud-Blanchard, L. Bueno-Ravel, N. Douek, A. Fluckiger, P. Gibel, F. Vandebrouck & F. Wozniak (Éds), *En amont et en aval des ingénieries didactiques* (pp. 81-108). Grenoble : La Pensée Sauvage éditions.
- FABRE M. (2009). *Philosophie et pédagogie du problème*. Paris : Vrin.
- GINZBURG C. (1986). *Mythes emblèmes traces. Morphologie et histoire*. Lagrasse : Editions

Verdier, 2^e édition 2010.

GINZBURG C. (2007). Réflexions sur une hypothèse vingt-cinq ans après. In D. Thouard (Éd.), *L'interprétation des indices. Enquête sur le paradigme indiciaire avec Carlo Ginzburg* (pp. 37-56). Villeneuve d'Ascq : Presses Universitaires du Septentrion.

LEUTENEGGER F. (2009). *Le temps d'instruire, approche clinique et expérimentale de la didactique ordinaire en mathématique*. Berne : Peter Lang.

MATHERON Y. & NOIRFALISE R. (2011). Du développement vers la recherche : quelques résultats, issus du projet (CD)AMPERES, relatifs à la mise en œuvre de PER dans le système d'enseignement secondaire. In M. Bosch, J. Gascón, A. Ruiz Olarría, M. Artaud, A. Bronner, Y. Chevallard, G. Cirade, C. Ladage & M. Larguier (Éds), *Un panorama de la TAD, An overview of ATD* (pp. 57-76). Bellaterra (Barcelona), Espagne : Publicaciones del Centre de Recerca Matemàtica.

MERCIER A. (2008). Pour une lecture anthropologique du programme didactique. *Education & Didactique*, 2(3), 7 – 40.

PERRIN-GLORIAN M-J. (2011). L'ingénierie didactique à l'interface de la recherche avec l'enseignement. Développement des ressources et formation des enseignants. In C. Margolinas, M. Abboud-Blanchard, L. Bueno-Ravel, N. Douek, A. Fluckiger, P. Gibel, F. Vandebrouck & F. Wozniak (Eds). *En amont et en aval des ingénieries didactiques* (pp. 57-78). Grenoble : La Pensée sauvage éditions.

QUILIO S., & MERCIER A. (2012). Une phase du jeu du trésor dans une zone de discrimination positive : la mise en œuvre d'un collectif de pensée en moyenne section de maternelle dans la réalisation d'un code pour la désignation d'une collection d'objets. Consulté à l'adresse <https://plone.unige.ch/aref2010/symposiums-courts/coordinateurs-en-q/variabilite-et-conditions-de-realisation-d2019une-ingenierie-dans-des-institutions-scolaires-ordinaires-le-cas-du-jeu-du-tresor-en-maternelle/Une%20phase%20du%20jeu%20du%20tresor.pdf>