

Points de vue de l'élève et du professeur. Essai de développement de la théorie des situations didactiques

Claire Margolinas

▶ **To cite this version:**

Claire Margolinas. Points de vue de l'élève et du professeur. Essai de développement de la théorie des situations didactiques. Education. Université de Provence - Aix-Marseille I, 2004. tel-00429580v2

HAL Id: tel-00429580

https://theses.hal.science/tel-00429580v2

Submitted on 4 Nov 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Habilitation à diriger les recherches
en Sciences de l'Éducation

Université de Provence

Note de synthèse

Points de vue de l'élève et du professeur
Essai de développement de la théorie des situations didactiques

par

Claire Margolinas

soutenue le 29 juin 2004

devant le jury

Elisabeth Bautier, Université Paris VIII,
Samuel Johsua, Université de Provence,
Alain Mercier, Institut National de Recherche Pédagogique,
David Pimm, University of Alberta,
Aline Robert, Institut Universitaire de Formation des Maîtres de Versailles,
Maria-Luisa Schubauer-Leoni, Université de Genève.

A la mémoire de mon père

Samuel Margolinas
10 septembre 1930 – 9 novembre 2003

Introduction

Mon parcours correspond à une histoire, qui part de mon insertion dans le champ de la didactique des mathématiques, et plus exactement dans le paradigme francophone de cette didactique, et qui me conduit maintenant, dans un mouvement d'ouverture, à m'intéresser aux didactiques, à la didactique comparée, aux sciences de l'éducation.

Je situerai tout d'abord ce parcours dans le champ des didactiques et des sciences de l'éducation (§1). Le travail que je propose, en sciences de l'éducation, est celui d'un développement de la théorie des situations didactiques, considérée comme un paradigme (parmi d'autres) pour les phénomènes didactiques (§2). J'exposerai enfin les principes directeurs du plan de cette Note (§3).

1 Didactique(s) et sciences de l'éducation

Aucun champ de connaissance ne se construit sans histoire, même si ce caractère historique est effacé dans l'écriture d'un texte du savoir intemporel et universel. Sans nier l'importance de cette constitution historique, les justifications *historiques* et *théoriques* de constitution d'un champ n'ont pas le même statut, ces deux points de vue nous renseignent différemment sur la constitution du champ dont je suis issue : la didactique des mathématiques. Les raisons qui me conduisent à insérer mon travail dans le champ des sciences de l'éducation pourront alors être données.

Quelques points historiques

La didactique des mathématiques francophone s'est constituée historiquement dans le courant des années 60, il s'agit donc d'un champ extrêmement jeune au regard de l'histoire. Comme c'est souvent le cas, la naissance de ce champ s'est faite en opposition avec certains courants de pensée ou de recherche et en concordance avec d'autres. Le paradigme francophone de didactique des mathématiques en porte encore la marque.

Sans entreprendre une véritable recherche historique, les traits saillants me semblent être les suivants. Tout d'abord ce champ naît comme un champ *scientifique*, et les problèmes de reconnaissance scientifique y occupent une grande place depuis le départ. Cette volonté de scientificité va opposer la didactique des mathématiques aux mouvements pédagogiques, considérés dans leur dimension idéologique. Cette première opposition entre didactique et pédagogie est à la fois fondatrice du champ de la didactique des mathématiques et responsable, sans doute, d'un grand nombre de malentendus, notamment avec les sciences de l'éducation.

La proximité naturelle du champ de la didactique des mathématiques avec les mathématiques a sans doute joué un rôle dans les présupposés épistémologiques et méthodologiques de départ. Cette proximité avec les disciplines d'origine a sans doute eu des répercutions historique différentes dans des didactiques d'origine disciplinaires différentes (sciences du langage, biologie, etc.). De même, l'épistémologie de nos disciplines varie selon les traditions épistémologiques des différents pays.

Ainsi nous héritons, selon les disciplines et selon les régions géographiques, certaines déterminations de nos champs qui n'ont rien de scientifiquement nécessaire, mais dont la dimension historique peu explicitée rend parfois la discussion difficile. Les dimensions institutionnelles, très différentes selon les champs et les pays, contribuent également à un certain obscurcissement du débat. En France, les didacticiens des mathématiques ont fait le pari, partiellement réussi, d'une insertion dans la communauté mathématique[1], ce qui joue également un rôle important, puisque ce sont des critères acceptables pour la communauté mathématique auxquels doivent se confronter les recherches de didactique des mathématiques en France.

Par ailleurs, la didactique des mathématiques francophones a connu un développement théorique consistant et rapide, appuyé sur des réflexions épistémologiques concernant le plus souvent spécifiquement les mathématiques. Je pense ici au travail fondateur[2], dès les années 70, de Georges Glaeser (travaux réunis dans Blochs et Régnier (eds) 1999, Régine Douady (1986), et Guy Brousseau (travaux réunis en 1998).

Notre discipline s'est donc constituée dans un certain isolement vis-à-vis des autres disciplines s'intéressant à l'éducation et à l'enseignement. Jusqu'à une époque très récente, on peut résumer l'attitude des didacticiens des mathématiques francophone de cette manière : nos paradigmes sont issus des mathématiques, nous ne nous intéressons qu'à leurs résultats en mathématiques, et nous ne garantissons aucunement leur passage à d'autres disciplines, qui ne nous concerne pas.

Un point de vue épistémologique

L'opposition de départ entre didactique et pédagogie correspond, d'une façon qui n'est pas anecdotique, à un refus de *l'application* dans le champ didactique, de conceptions issues d'autres

[1] Ce qui, du point de vue institutionnel, en France, correspond à une appartenance de la majeure partie des chercheurs de didactique des mathématiques à la section de « mathématiques appliquées » (26e section) du Conseil National des Universités.

[2] On peut s'étonner que je ne cite pas ici Gérard Vergnaud, l'origine piagétienne et l'insertion de Gérard Vergnaud dans la psychologie est une sorte « d'anomalie » dans ce paysage, qui a sans doute joué un rôle très important, que je n'évoquerai pas dans ce tour d'horizon très rapide.

champs théoriques, et à la légitimité d'un champ de recherche qui s'intéresse spécifiquement à la transmission des savoirs, en milieu scolaire notamment. Ce refus d'application sans *conversion* (Blanchard-Laville, Chevallard, Schubauer-Leoni 1996, [42]) est essentiel, et fondateur.

En effet, tout le monde ou presque semble avoir son mot à dire sur l'enseignement : les psychologues puisqu'il s'agit d'apprendre, les sociologues puisque l'école est une institution sociale, les mathématiciens puisqu'il s'agit d'enseigner des mathématiques, voire les parents puisqu'il s'agit d'éduquer leurs enfants... Les discours des uns et des autres, même quand ils sont fondés dans leur propre champ, ne sont plus contrôlés quand il s'agit de les appliquer à celui de la transmission des savoirs, qui apparaît sans spécificité : c'est un discours « d'expert » au sens médiatique du terme.

Il est donc essentiel de fonder un champ qui permette d'affirmer une spécificité, tout en posant le problème de son insertion dans un paysage plus large.

Appuyons-nous sur une définition assez récente de la didactique des mathématiques :

> « […] la didactique des mathématiques [est] la science de l'étude et de l'aide à l'étude des (questions de) mathématiques. » Bosch et Chevallard (1999), page 79

Cette définition appelle plusieurs remarques : la dimension scientifique est affirmée, le champ scolaire n'est pas nommé, il n'est pas le seul champ de cette discipline. Le problème qui se pose est celui de savoir ce qui, en didactique des mathématiques est spécifique des mathématiques, au delà des *objets* qui l'occupe, sur le plan de ses concepts, de ses méthodes, de ses techniques. Nous avons, à ce sujet, un problème de 'mise en abîme' : si tous les concepts de didactique des mathématiques étaient spécifique des mathématiques, alors de mêmes les concepts de didactique de l'algèbre seraient spécifiques de l'algèbre, de même pour l'équation de premier degré, etc. Il existe effectivement des *résultats* qui sont spécifiques des mathématiques, de l'algèbre, des équations des premier degré, et parfois même des concepts spécifique de ces domaines (la dialectique arithmétique algèbre, par exemple). Si nous « remontons » de cette mise en abîme, on peut se demander, à l'inverse, s'il existe une didactique des disciplines scientifiques, ou une didactique[3] « tout court ».

Mais si nous nous demandons qu'est-ce qu'un *résultat* en didactique des mathématiques, nous allons rencontrer autrement la spécificité. Voilà ce que conclue Johsua (1996), dans un article consacré à cette question :

---

[3] Pour ne pas employer ici le terme de « didactique générale », polémique pour des raisons historiques.

> « *Un résultat en didactique est un bloc composé d'un cadre théorique explicite, et de données empiriques.* Bien qu'une théorie ne soit jamais entièrement explicite, elle le sera plus en didactique qu'en physique, par exemple, à cause de l'absence de paradigme dominant ;
> A l'intérieur de ce bloc, il est nécessaire que le résultat *résiste, qu'il soit stable.* Il faut déjà bien sûr qu'il résiste aux faits dans des contextes semblables, similitude définie sous la responsabilité principale des chercheurs, ou plus de son cadre théorique. Et ce n'est pas une mince affaire ;
> Mais pour qu'il soit vraiment considéré comme un résultat, il faut qu'il puisse aussi se dégager notablement du cadre où il a été produit. Là, la compréhension de ce qu'on entend par cette exigence n'est pas évidente à cerner. Tant qu'on reste à l'intérieur du cadre théorique où la recherche a pris naissance, le problème est clair, même s'il n'est pas toujours simple. Mais il est inévitable de faire intervenir un facteur de légitimation pour fonder l'assertion que tel résultat est bien détachable.
> En conséquence, la marque principale d'un résultat en didactique, c'est de *renforcer le paradigme où il s'abrite.*
> [...] *Finalement, la marque essentielle d'un résultat, c'est sa capacité à produire de nouveaux résultats.* Soit par élimination, au moins temporaire, de questions que je n'ai plus besoin de me poser, soit par l'ouverture de nouvelles zones de recherches. » (pages 214-215)

Ce que Johsua décrit ici, c'est un lien intime entre résultat et paradigme, tout résultat prenant un sens à l'intérieur d'un paradigme, ce qui ne permet pas de dépasser la question de la spécificité, mais qui cerne le lieu de validation d'un résultat.

Il conclue, dans la dernière phrase de l'article :

> « Montrer que ce paradigme est d'une portée théorique et pratique déjà palpable dans ces effets de production de nouvelles « mises en ordre » [...] n'est pas sans liaison avec la capacité de montrer que des « résultats » peuvent d'ores et déjà s'en dégager, et vivre indépendamment de leurs producteurs, ou même de la communauté des didacticiens » (page 217)

Cette nouvelle perspective produit depuis quelques années de nouveaux développements, notamment dans le cadre de la didactique comparée (Mercier, Schubauer-Leoni, Sensevy 2002). La question de la généricité et de la spécificité des théories didactiques est maintenant une question ouverte dans les champs des didactiques, et plus largement dans celui des sciences de l'éducation.

Une position personnelle

A l'heure actuelle, il me semble qu'il est nécessaire que chaque chercheur adopte une position, sans que cette position soit considérée comme celle qui est souhaitable pour le champ tout entier de la communauté de recherche de laquelle il est issu.

C'est donc cette une position personnelle qu'il me faut donner maintenant.

Historiquement, comme mon parcours de recherche l'a montré, mon intérêt se dirige clairement vers l'enseignement puis vers la didactique des mathématiques, avec un intérêt tout à fait spécifique pour cette discipline. De plus, dans le milieu des années 80, l'opposition historique entre la didactique des mathématiques et la pédagogie, ainsi que la revendication d'appartenance aux mathématiques étant très fortes, j'y ai adhéré.

En même temps, mon intérêt pour les réflexions épistémologique et théorique ne pouvait vraiment se satisfaire des déterminations historiques, ce qui m'a amené à réfléchir à la nature des concepts de didactique, et à leur relation avec le savoir enseigné (les mathématiques, dans mon cas).

Ainsi, je parle d'un *concept de didactique* quand ce concept *génère* des techniques qui *produisent*, quand elles sont appliquées à des situations d'étude ou d'aide à l'étude d'une question relevant d'un savoir donné, *des résultats spécifiques de ce savoir*.

Le concept de contrat didactique en est un bon exemple : en tant que concept il est tout à fait général, mais « plongé » dans une situation donnée, les résultats qu'il produit sont spécifiques du savoir.

De ce point de vue, il existerait donc, en théorie du moins, des concepts de didactique ayant une portée non déterminée a priori en terme de discipline, puisque c'est seulement dans la capacité, ou l'incapacité à produire des résultats qu'ils peuvent être révélés comme des concepts pertinents pour l'étude de tel ou tel champ.

Par ailleurs, si l'on reprend mon parcours personnel, mon insertion à l'IUFM d'Auvergne aux côtés de didacticiens d'autres disciplines, dont l'un ou moins, Roland Goigoux, participe activement au champ des sciences de l'éducation a été un élément déterminant dans mon parcours. J'ai ainsi découvert d'une part que les concepts de théorie des situations que je connaissais bien permettaient d'obtenir des résultats en ce qui concerne l'enseignement d'autres disciplines mais aussi que ces mêmes résultats étaient souvent obtenus par d'autres moyens issus de paradigmes tout à fait différents.

Dans ma communauté de recherche d'origine, j'ai parfois eu le sentiment que le fait d'atteindre un résultat en s'appuyant sur des paradigmes différents conduisait à une sorte de « lutte » de légitimité entre ces paradigmes. Grosso modo, l'argument est le suivant : "puisque je peux atteindre ton résultat dans « mon » paradigme, je ne vois pas l'intérêt de l'obtenir autrement." Je ne partage pas cette opinion, mais tout au contraire, celle de Georges Devereux (1972), dont la

finesse épistémologique[4] influence durablement ma conception de la recherche en sciences humaines :

> « [...] c'est précisément la possibilité d'expliquer « complètement » un phénomène humain d'au moins deux manières (complémentaires) qui démontre, d'une part, que le phénomène en question est à la fois réel et explicable, et, d'autre part, que *chacune* de ses deux explications est « complète » (et donc valable) dans son propre cadre de référence. » (page 13)

C'est parce qu'un même résultat peut être obtenu de plusieurs manières différentes que les paradigmes qui y conduisent sont confortés dans leur existence et qu'ils peuvent s'interroger sur leurs liens, voire leur complémentarité.

Cet élément de mon parcours marque donc mon intérêt pour les didactiques, et non plus seulement pour la didactique des mathématiques.

Par ailleurs, le travail sur le rôle du professeur, qui a occupé mes recherches pendant une dizaine d'années, conduit inévitablement à la prise en compte d'autres dimensions que les dimensions strictement didactiques. Il est possible de modéliser une part importante du rôle de l'élève, dès lors qu'il s'engage dans la résolution d'un problème, par des considérations exclusivement didactiques. Il est plus douteux que ce soit possible pour le professeur, dont le travail en tant que professionnel et l'insertion dans le social peuvent se révéler déterminants. Le travail conjoint du professeur et de l'élève, les malentendus et les ruptures de contrat, peuvent également être l'objet de résultats essentiels issus de champs non didactiques.

C'est pourquoi, au delà des didactiques, inscrire mon travail en sciences de l'éducation me permet d'envisager des liens avec des champs qui, s'intéressant aux mêmes objets de recherche, pourront permettre un croisement de résultats propice à la consolidation de nos travaux respectifs, et porteurs de nouvelles perspectives.

2 Un travail de développement de la théorie des situations didactiques

Insérer mon travail dans le large champ des sciences de l'éducation ne correspond pas dans mon esprit à une perte de spécificité, mais à une spécification différente. En effet, le champ de la didactique des mathématiques, même si on le réduit au paradigme francophone, est un espace qui, tout en semblant plus réduit que celui des sciences de l'éducation, est bien trop large pour

[4] Voir également Devereux 1980, texte fondamental s'il en est.

être véritablement cohérent. A l'intérieur de ce champ, existent d'assez nombreux courants, souvent concurrents, dont la compatibilité est un problème en soit.

Je considère mon travail, en sciences de l'éducation, comme s'insérant dans le paradigme de *la théorie des situations didactiques* (Brousseau 1998). Le fait que cette théorie soit née dans le cadre de la didactique des mathématiques est un fait historique (qui me l'a fait rencontrer, bien sûr), mais les concepts qu'elle manipule ne sont pas en eux mêmes spécifiés par cette origine.

Nous verrons par la suite que l'origine des concepts est un point essentiel pour un travail de développement, il ne s'agit donc pas de l'écarter, mais de le questionner. Dans le cas de la théorie des situations didactiques, la naissance dans le cadre de l'ingénierie didactique me semble au moins aussi importante que le cadre des mathématiques elles-mêmes.

Je prétends donc ici que la théorie des situations didactiques est un paradigme pertinent, à l'intérieur des sciences de l'éducation, pour étudier les phénomènes d'étude et d'aide à l'étude. Affirmer ne suffit pas : le paradigme de la théorie des situation doit se développer, et donc se transformer, pour prendre en compte d'autres phénomènes que ceux qui ont été envisagés au départ (autre disciplines, autres types de situations). C'est ce *développement* de la théorie des situations didactique dans lequel j'inscris mon travail depuis quinze ans, et donc tout naturellement cette Note.

Chaque chercheur est animé par des motivations et des pistes diverses. Les expliciter permet souvent de mieux comprendre les mobiles et finalement la cohérence du travail.

Pour ma part, c'est toujours la clarification et le besoin de cohérence théorique qui m'anime. Ce ne sont pas *d'abord* les faits qui guident mon travail, mais d'abord les besoins théoriques. C'est parce que j'ai abordé les situations sous l'angle du résultat trouvé par l'élève que j'ai défini les phases de conclusion (dont je parlerai dans le chapitre 1 de cette Note). C'est parce que j'ai cherché à clarifier le concept de milieu, puis la structuration du milieu, que j'ai modifié le modèle de Brousseau et produit plusieurs formes de ce nouveau modèle (niveaux, bifurcations, chapitres 2 et 3 de cette Note). C'est enfin pour comprendre comment rendre compte de certains problèmes posés à l'élève que j'ai introduit la notion de situation nildidactique (chapitres 2 et 3 de cette Note).

Ainsi, je n'ai pas d'abord décidé de m'intéresser au rôle du professeur, même si mes travaux s'inscrivent de fait dans ce secteur depuis une dizaine d'année (chapitre 1 et 3 de cette Note). Je

n'ai pas plus décidé de m'intéresser ensuite à la situation des élèves, même si c'est le travail que j'entend poursuivre maintenant (chapitre 2 de cette Note).

Ceci explique que mon travail se situe dans un cadre théorique précis, et donc restreint, parce que c'est ce cadre que je cherche à travailler et à développer. En ce sens, je m'inscris dans la ligne tracée par Johsua (1997) quand il écrit que « la marque principale d'un résultat en didactique c'est de renforcer le paradigme où il s'abrite » (page 215). J'espère aussi contribuer à ce que ces résultats puisse « vivre indépendamment de leurs producteurs, ou même de la communauté des didacticiens » (page 217).

3 Plan

La note d'habilitation que je présente est donc organisée suivant les développements que je propose pour la théorie des situations, et les résultats qui sont ainsi rendus possibles.

Elle s'ouvre tout d'abord (chapitre 1) sur la question du rôle du professeur en situation didactique. Les développements de la théorie des situations qui fondent ce chapitre ont été obtenus à l'issue de ma thèse : définition des phases de conclusion et de leurs deux modalités, caractérisation des critères de validité. Le point de vue de la validation que j'ai alors développé, m'a donné des clés pour mieux comprendre certains aspects du rôle du professeur en situation didactique.

Le développement suivant (chapitres 2 et 3) concerne les transformations successives du modèle de la structuration du milieu.

Dans une première partie (chapitre 2) je montrerai comment le travail de la technique de la structuration du milieu permet de renouveler l'analyse a priori des situations didactique par *l'analyse ascendante* de la situation. Ce travail conduit à envisager les problèmes posés aux élèves comme porteurs, le plus généralement, de *plusieurs* situations. Un nouvelle transformation du modèle de la structuration du milieu fonde ce que j'ai appelé les *bifurcations* de situations didactiques. Il existe donc, dans ce modèle, des alternatives pour l'élève, qui *investit* l'une ou l'autre de ces situations. Le concept de situation adidactique ne suffit pas pour décrire les problèmes posés aux élèves en situation ordinaire, même si l'on s'intéresse aux situations-problèmes dans lesquelles l'élève peut travailler avec une certaine indépendance. La notion de *situation nildidactique* viendra compléter ce modèle. C'est l'ensemble de cette analyse a priori complétée qui fonde ce que j'appelle le *point de vue de l'élève* dans la situation didactique.

La dernière partie (chapitre 3) remplit deux fonctions : introduire le point de vue du professeur, réunir les deux points de vues introduits. Le chapitre 1 nous a permis de clarifier certains points concernant le rôle du professeur en situation didactique. Le chapitre 3 fournira un modèle de la situation du professeur, dans sa dimension didactique, et notamment des *niveaux de détermination* de cette situation. Le *point de vue du professeur* sera alors caractérisé par *l'analyse descendante* de la situation didactique. La réunion des deux analyses (ascendante et descendante) conduit à questionner la rencontre, plus ou moins productrice de *malentendus* et de *ruptures de contrat*, entre les deux points de vue du professeur et des élèves. Pour conclure cette Note, je montrerai quels résultats les développements ci-dessus permettent d'obtenir pour l'analyse d'un système de protocole concernant trois classes dont les professeures de mathématiques participent à un même groupe de préparation (niveau collège).

En conclusion, je développerai les projets de recherche que j'espère diriger, si vous m'en jugez digne.

Chapitre 1
Le rôle du professeur dans la situation didactique

Les recherches en didactiques, et notamment les ingénieries, concernent toujours le professeur, en tant qu'il participe ou est destinataire des travaux. Mais le rôle du professeur en tant qu'objet modélisable a été long et difficile à construire. Je situerai tout d'abord mon travail sur ce sujet dans le cadre des recherches qui développent la théorie des situations, et j'exposerai notamment les difficultés de prise en compte du rôle du professeur connues au début des années 90 (§1).

Une des questions qui se pose est de comprendre comment caractériser ce que peut faire le professeur dans la gestion des situations. La problématique des *phases de conclusion*, notion que j'ai introduite à la fin de ma thèse (1989), a permis de montrer certains éléments de choix du professeur, et la façon dont la situation détermine certaines possibilité ou impossibilité d'agir du professeur, au delà de sa « bonne volonté ». Les phases de conclusion se révèlent ainsi comme une charnière entre les processus de dévolution et d'institutionnalisation, qui ont trop souvent été considérés comme des « opposés » dans la situation didactique (§2).

La dernière partie de ce chapitre sera consacrée au concept de *critère de validité*, connaissance de l'élève dont le caractère plus ou moins disponible rend possible ou non le déroulement de certains scénarios didactiques. Le travail du professeur apparaît ainsi avec de nouveaux déterminants. Nous verrons comment certains problèmes peuvent être analysés comme des problèmes « en boucle », didactiquement impossibles à réaliser en classe, quelle que soit « l'expérience » du maître. Mais nous verrons aussi comment le professeur peut faire preuve de d'ingéniosité didactique et jouer sur les possibilités du problème posé (§3).

1 Difficultés de la prise en compte du professeur dans la théorie des situations dans les années 80

Mon travail de recherche a commencé dans les années 80, dans le cadre de la théorie des situations. Ce premier paragraphe vise à replacer mes premiers travaux sur le professeur dans les problématiques de l'époque. La théorie des situations prend son origine au début des années 70, ses concepts fondateurs (situation fondamentale, situation adidactique) naissent dans le cadre d'une épistémologie expérimentale (§1.1). L'ingénierie didactique y joue un très grand rôle, comme élément de phénoménotechnique, en tout cas. Le rôle assigné au professeur dans l'ingénierie didactique a rendu difficile l'émergence du professeur en tant qu'acteur de la situation

didactique (§1.2). Dans les années 80, de nombreuses interrogations concernant le rôle du professeur émergent en marge de la construction et de l'observation des ingénieries, qui vont nous permettre poser les bases d'une étude du professeur en tant que tel (§1.3).

1.1 L'épistémologie expérimentale, fondement de la didactique des mathématiques

Dans ce paragraphe, je tenterai une sorte de généalogie personnelle de la théorie des situations, plus qu'un véritable historique. Deux éléments me paraissent essentiels: tout d'abord la nécessité d'une recherche fondamentale, qui ne s'intéresse pas *directement* à l'amélioration de l'enseignement ; ensuite le lien entre cette recherche fondamentale qui s'appuie sur l'expérimentation et l'épistémologie, qui a conduit à la nommer 'épistémologie expérimentale'.

Une recherche fondamentale

Guy Brousseau envisage, dès les années 70, la didactique des mathématiques comme une science expérimentale (Perrin-Glorian 1994, pages 100 à 104), dans laquelle les résultats techniques et technologiques sont envisagés comme des conséquences des résultats fondamentaux. Même si l'ambition d'amélioration de l'enseignement des mathématiques est présente dans les intentions (recherche orientée, recherche appliquée, recherche de développement), l'existence et la légitimité d'une recherche fondamentale sont posées.

Une des originalités du paradigme francophone de recherche en didactique des mathématiques est de prendre au sérieux cette recherche fondamentale, et non directement la réussite (supposée meilleure) des élèves. Ce point de vue appelle la recherche de conditions qui permettraient *en théorie* de faire évoluer les connaissances des élèves, et non pas la recherche de conditions qui améliorent *de fait* l'enseignement.

> « Si une didactique scientifique existe, il faudra qu'elle permette de déduire les mesures méthodologiques les plus aptes à provoquer les acquisitions, d'une connaissance scientifique des processus de formation intellectuelle. » (1975, cité par Perrin-Glorian 1994 page 101)

Pour réaliser ce programme, la première voie a consisté à cerner, dans les multiples facteurs ou variables qui interviennent dans la possibilité d'apprendre, ceux qui sont *nécessaires* et non pas simplement *suffisants*. Il va donc s'agir « d'épurer » en quelque sorte la situation d'enseignement pour en «extraire » le « noyau dur ».

Dans la lignée de la psychologie piagétienne et de la théorie des jeux, Brousseau va considérer l'interaction sujet-milieu comme étant la plus petite unité d'interaction cognitive. Un état

d'équilibre de cette interaction définit un état de la connaissance, le déséquilibre sujet-milieu étant producteur de connaissance nouvelle (recherche d'un nouvel équilibre).

Il s'agit d'une donnée très générale, puisque l'interaction cognitive sujet-milieu n'a pas lieu uniquement dans un cadre didactique dans lequel l'intention d'apprendre ou d'enseigner se manifeste : elle existe dans la vie sociale de tout individu, en *situation non didactique*.

L'épistémologie expérimentale

Le fil conducteur des situations non didactiques est au fondement de la théorie des situations. Le système d'enseignement existe parce que nous devons, hors de l'école, disposer des savoirs permettant de réagir en situation non didactique. Dans une institution didactique, l'intention d'enseigner est manifeste pour les acteurs. La situation didactique réunit ces acteurs autour de cette intention.

On a donc deux problèmes centraux : (1) celui de la relation entre le savoir à l'origine de l'intention d'enseigner et la construction d'une situation didactique, (2) celui de la reconstitution des conditions de construction d'une connaissance en situation.

Le savoir est une construction sociale, qui résulte d'un processus historique – il est donc toujours en construction. Le lien entre connaissance et savoir existe dans l'origine du savoir : connaissance d'un seul qui deviendra un construit social au fil d'une longue et hasardeuse élaboration. Le savoir n'existe donc pas sans connaissance, et donc sans équilibre sujet-milieu, mais cette interaction fondatrice et constitutive du savoir doit être reconstruite. La construction sociale du savoir implique qu'à un même savoir soit associé plusieurs interactions sujet-milieu qui le caractérisent, et non pas une seule. Ce n'est pas tant 'la' situation fondamentale qui est donc le adéquat concept, mais plutôt la *recherche de la situation fondamentale* (comme c'est le cas pour le contrat didactique). Cette recherche consiste à interroger la construction du savoir pour lui associer les interactions fondamentales sujet-milieu qui le constituent. Cette recherche, si elle utilise l'histoire et l'épistémologie, se distingue de ces dernières par sa finalité : construction des interactions fondamentales du savoir. Il s'agit d'une *épistémologie expérimentale,* terme qui a un temps concurrencé celui de 'didactique' pour caractériser notre champ, et qui me semble approprié pour en désigner la partie dont je tente ici une généalogie.

Quand on cherche à construire une situation didactique, il faut reconstituer les conditions d'une interaction élève – milieu. C'est le résultat de cette transposition didactique d'une situation non didactique fondamentale que l'on nomme *situation adidactique*. Elle est conçue comme le cœur

d'une situation didactique, qui porte l'intention d'enseigner et vise à reconstituer artificiellement l'interaction fondamentale. La 'qualité' de la situation adidactique découle donc à la fois de celle de l'identification d'une situation fondamentale et de la reconstitution de l'interaction avec le milieu, ce qui pose le problème de *l'adéquation* (Chevallard 1985) entre une situation adidactique et une situation fondamentale du savoir à enseigner. Une situation adidactique peut donc être plus ou moins idoine par rapport à un savoir donné. Pour l'élève, le savoir s'avance 'masqué' par le milieu, idée importante que je développerai par la suite.

1.2 L'étude du professeur : une émergence difficile

Dans ce paragraphe, je mettrai en évidence les raisons qui ont rendu difficile l'émergence de l'étude du professeur. Tout d'abord, dans la perspective de l'épistémologie expérimentale, l'étude du professeur ne peut être mise en avant, puisqu'il n'intervient qu'en tant qu'agent de la situation. Dans le cadre des ingénieries, le professeur n'exerce seul qu'une part de ses responsabilités, celle de la réalisation en classe. Il peut alors être considéré comme un plus ou moins bon acteur du scénario prévu, mais son rôle ne peut être problématisé. Pourtant, nous verrons que l'origine effective du travail théorique de Guy Brousseau, en interaction avec l'institution didactique singulière de l'école Jules Michelet, nous fourni un matériau d'une richesse bien plus grande que ce qu'annonce d'emblée la théorie.

Le professeur dans la perspective de l'épistémologie expérimentale

L'épistémologie expérimentale s'intéresse au « noyau dur » des interactions élève –- milieu et savoir – connaissance. Pour observer (indirectement) ces interactions, il est essentiel d'un point de vue méthodologique d'observer l'élève dans un cadre qui puisse être « le moins troublé possible » par le professeur et son projet social, dans lequel le professeur n'interviendra que comme organisateur des relations au milieu. En effet, ce sont les connaissances abandonnées ou produites par l'élève dans l'interaction avec le milieu qui permettraient d'apporter des preuves contingentes de l'idonéïté du rapport. C'est sans doute dans ce cadre que la notion de « situation quasi-isolée du maître » (voir Brousseau 1983) prend son sens[5].

Dans ce cadre strictement expérimental, le professeur comme l'école ne sont que des moyens pour permettre d'éprouver la pertinence de ces constructions. On trouve une trace de ce point de

[5] Ce concept sera abandonné par Brousseau au profit de celui de situation adidactique.

vue dans lequel le professeur ne se manifeste que comme moyen didactique dans un texte ancien (1975) de Brousseau :

> « Chacune des situations identifiables, comme d'ailleurs le processus entier met donc en présence :
> 1) un savoir : une partie des théorèmes mathématiques, accompagnés de *conceptions* métathéoriques (*opinion* sur la place de cette théorie dans l'édifice des maths, son rôle dans la compréhension de tel genre de problème, le sens de son contenu, son importance, le langage dans lequel il est préférable de l'exprimer, le genre de problème que l'on y rencontre, etc.)
> 2) des sujets : les états initiaux des élèves, leur manière d'évoluer, d'apprendre, de répondre… un *projet social* relatif au comportement des élèves en fin d'apprentissage : les *buts de l'apprentissage* en termes de comportements, avec des *attendus* et des *justifications* de ces buts
> 3) des moyens didactiques : un maître, des *décisions*, un ensemble de *stratégies d'apprentissages* (états initiaux du maître et du système éducatif et manières d'évoluer, de répondre) et de moyens matériels.» Brousseau 1975 page 6 (repris dans Perrin-Glorian 1994), c'est moi qui souligne.

Il est intéressant de noter que, si le professeur est d'une certaine manière omniprésent dans tous les éléments que j'ai souligné, il n'apparaît explicitement que dans les *moyens* didactiques.

Le rôle du professeur dans les ingénieries

Dans les ingénieries didactiques, professeur et chercheur sont conduits inévitablement à collaborer. On va voir que cette collaboration a longtemps empêché la prise en compte du rôle du professeur.

Dans le cas des ingénieries longues, il est clair que le professeur participe aux recherches et à la mise en place des situations, mais le chercheur assume une partie du rôle du professeur, puisqu'il est le maître d'œuvre du processus à réaliser en classe. Mercier 1998 a pointé la difficulté dans laquelle se sont longtemps trouvés les chercheurs en didactique vis-à-vis du professeur, en assumant une partie de son rôle :

> « En proposant une ingénierie d'aide à l'enseignement en échange de l'observation, le didacticien avait pris à sa charge une part de la responsabilité d'enseigner du professeur : au point de ne plus être vraiment en position d'observateur distancié, puisqu'il s'engageait dans un travail phénoménotechnique. » (p. 292)

Ce modèle rend impossible la conception d'un rôle du professeur, car l'interaction entre chercheur et professeur est faussée.

> « L'identification des situations adidactiques est garantie par l'analyse a priori d'une ingénierie, les comportements enseignants observés sont alors des « ratés » : les « effets de contrat » en sont alors une description suffisante. » (Ibid. p. 295)

C'est parce que le professeur est parfois 'gênant' que les chercheurs vont commencer à s'intéresser à lui au début des années 1990, comme nous allons le voir par la suite.

Dans les ingénieries ponctuelles (quelques leçons, un chapitre), les chercheurs remplacent parfois entièrement le professeur ou bien le soulagent de la préparation des leçons. Certains chercheurs se sont ainsi trouvés en position de professeur, ce qui leur a parfois fait éprouver directement les contraintes de ce rôle[6].

Les recherches de Guy Brousseau et le professeur

La réalité du système didactique, et en particulier le professeur réel, se prête mal à la réduction phénoménotechnique. Une des facettes essentielles du travail réel de Brousseau est l'interaction quotidienne avec l'école maternelle et primaire Jules Michelet de Talence toute entière, dans le cadre du COREM[7].

L'école Jules Michelet n'a pas été conçue comme une école expérimentale qui serait à comparer à des écoles « témoins » du point de vue des résultats obtenus, mais comme un élément essentiel d'une recherche orientée vers l'amélioration de l'enseignement, mais néanmoins fondamentale.

> « Il ne s'agit pas d'une école pilote ni d'une école d'application, en dehors des phases d'observation assez courtes, on n'y met pas à l'essai des méthodes, il suffit que les activités des enfants soient connues et compatibles avec les recherches » Brousseau 1998 page 359

Le COREM (dont le bâtiment comprend une salle de classe indépendante de l'école, dans laquelle les leçons filmées prennent place) est la face émergée de l'école Jules Michelet, l'aspect expérimental, et pendant longtemps le seul visible (les classes de l'école n'étant pas officiellement ouverte à l'observation en dehors des plages organisées par des recherches). Mais à Michelet pas plus qu'ailleurs, l'implication répétée des professeurs aussi bien que des élèves, pour ne pas parler de l'environnement scolaire (institutions d'enseignement, parents) ne peut exister que si la recherche travaille pour l'école et répond à certaines aspirations de ses acteurs.

> « L'observation d'une leçon est le résultat d'un travail d'équipe obéissant à de nombreux impératifs : d'une part les problèmes que pose l'enseignement tel qu'il est pratiqué aujourd'hui, d'autre part les objectifs de la recherche fondamentale. » Brousseau 1998 page 360

---

[6] je pense à Annie Bessot et Madeleine Eberhard, dont j'ai étudié le rôle dans [5], à Denise Grenier et Harrisson Ratsimba Rajohn, travaux dont je parlerai plus tard

[7] Centre pour l'Observation et la Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, structure complexe mise en place dans le cadre de l'IREM de Bordeaux, qui a fonctionné de 1972 à 1999 (voir Brousseau 1998 pour une description détaillée de ce dispositif).

Dans les deux citations ci-dessus, on aperçoit une interaction complexe entre les séances observées et organisées par la recherche et les leçons de l'activité ordinaire des enfants puisqu'il faut « que les activités des enfants soient connues et compatibles avec les recherches » et que « les problèmes que pose l'enseignement tel qu'il est pratiqué aujourd'hui » y soient pris en compte.

Les maîtres de Michelet, qui n'ont pas au départ de formation particulière, réagissent chacun à leur manière (comme on le voit par exemple très bien dans les protocoles de Julia Centeno, 1995) L'école fournit donc une possibilité de résistance et d'observation d'un travail spécifique de l'institution, en creux des ingénieries prévues. Le paradigme de cette découverte est celle de l'institutionnalisation, à propos de laquelle Brousseau (1986, repris dans 1998):

> « C'est ainsi que nous avons découvert (!) ce que tous les enseignants font à longueur de journée et que notre effort de systématisation avait rendu inavouable ».

On trouve ainsi au passage des textes de Brousseau des éléments qui concernent le rôle du professeur et qui sont bien plus riches que ce que peut prendre en charge la théorie des situations au sens strict (comme la gestion affective de la dévolution voir Brousseau 1981 repris dans 1998)

J'ai ainsi fait le pari que l'on pouvait considérer les écrits de Brousseau et notamment les écrits d'ingénierie non seulement pour ce qu'ils visent explicitement, mais aussi comme le résultat d'une interaction effective avec une institution didactique singulière. A mon avis, on ne peut pas confondre le travail de Brousseau et la théorie des situations, et de nombreux travaux pourraient être menés qui viseraient à expliciter et confirmer ses observations et ses intuitions le plus souvent géniales; je pense y avoir contribué.

1.3 Premiers questionnements du rôle du professeur en situation adidactique

Dans les années 80, le rôle du professeur est mis en avant dans le processus de dévolution d'une situation adidactique. La fonction de ce processus est de déléguer pour un temps la responsabilité de la recherche mathématique à l'élève. Mais le rôle du professeur pour permettre ce processus est longtemps resté obscur, et une part importante de mon travail a justement été de clarifier ce point. L'objet de ce paragraphe est de faire partager les éléments d'interrogation du rôle du professeur que j'ai pu rencontrer soit par des observations personnelles, soit par la mise en perspective d'interrogations issues d'autres recherches.

Les observations que j'ai eu l'occasion de faire à l'école Jules Michelet m'ont permis, dès 1984, de m'interroger sur l'interprétation courante du rôle du professeur. Dans les mêmes années, Harrisson Ratsimba Rajohn (1982) et plus tard Denise Grenier (1988) posent des questions essentielles, alors sans réponse, sur l'incertitude du professeur dans la réalisation des ingénieries,

et notamment sur la difficulté de réalisation de la dévolution d'une situation adidactique. Un peu plus tard, Gilbert Arsac et Michel Mante (1988) observent très précisément les effets sur les élèves de l'intervention et de la non intervention du professeur.

Quel rôle pour le professeur dans le processus de dévolution?

Dans une perspective d'ingénierie issue de la théorie des situations, les situations adidactiques sont en quelque sorte le principe actif des situations didactiques. Le professeur, même s'il dévolue une situation adidactique à l'élève, reste le garant de la relation didactique adéquate. La nécessaire inclusion de la situation adidactique dans une situation didactique provoque donc a priori une tension entre les deux processus de dévolution et institutionnalisation, et une incertitude importante pour le professeur.

L'ingénierie didactique introduit encore une autre donnée. La théorie des situations peut être aussi considérée comme la description « d'une didactique » particulière (voir notamment Brousseau 1986, repris dans 1998). De ce point de vue, le professeur doit faire confiance à l'interaction élève-milieu pour provoquer les modifications prévues, c'est pourquoi il assume en quelque sorte une position d'observateur de cette interaction. Le problème qui se pose donc est de savoir comment chercheur et enseignant vont pouvoir négocier le rôle du professeur dans les situations adidactiques, ce qui est devenu plus tard un problème théorique que j'ai contribué à problématiser puis à résoudre.

A l'époque où je faisait mon DEA à Bordeaux, étant enseignante à plein temps en lycée je ne pouvais assister aux observations au COREM car j'avais cours. J'ai donc demandé à Nadine Brousseau, qui enseignait en CM2, de bien vouloir m'accepter au fond de la classe[8]. C'est là que j'ai découvert avec stupeur l'omniprésence du professeur pendant toutes les phases du déroulement des séances (il suffit de consulter la plupart des vidéos réalisées au COREM pour en être convaincu). Plus tard, j'ai été amenée à transformer, pour la formation d'adulte, la séquence des rationnels et décimaux (Brousseau N. et G. 1987). J'ai alors personnellement vécu la complexité du rôle du professeur, alors que j'étais pourtant aguerrie du point de vue théorique (j'étais en deuxième année de thèse et je pensais bien connaître la théorie des situations).

Dans Margolinas 1993 (page 35), je décris (pour m'y opposer) une description schématique d'une phase adidactique du point de vue du rôle du professeur

[8] Je ne peux résister à l'occasion de lui rendre hommage, Nadine donne tant à tous ceux qui ont la chance de la rencontrer!

1- Le maître est actif, il parle à la classe, et présente le problème, parfois réduit à la consigne. Ce serait la phase de dévolution.
2- Le maître ne dit plus rien, il n'intervient en aucun cas, le problème étant devenu celui des élèves. Ce serait la phase adidactique, *quasi-isolée du maître*.
3- Le maître intervient à nouveau activement pour institutionnaliser le savoir. Ce serait la phase d'institutionnalisation.

Si je m'y oppose, c'est parce qu'il est impossible qu'il en soit ainsi du point de vue didactique. Pourtant, il me semble que ce contresens est encore courant dix ans après : pour sortir de celui-ci, il faut en effet caractériser *ce que dit et ce que fait* le professeur pendant une phase adidactique, et donc disposer d'une description modélisée de l'activité du professeur, qui constitue l'essentiel de cette Note.

Incertitudes du professeur dans la réalisation des ingénieries didactiques

Dans les descriptions d'ingénierie des années 70-80, la demande typique faite au professeur est une demande de neutralité pendant certaines phases, comme par exemple :

> « *6ème phase :* La mise en commun va provoquer l'apparition de méthodes et de résultats différents. Il y aura des comparaisons au termes desquelles des résultats définitifs seront adoptés. D'autre part, il n'y aura pas une méthode unique et certaines seront favorisées soit par leur fréquence d'emploi, soit par leur succès. Le maître n'aura pas pour tâche de les souligner, il se contentera de remarquer certaines de leurs caractéristiques et de mettre en évidence celles qui sont systématiquement erronées. » (Rouchier 1980 p. 239)

C'est souvent ce que le professeur *ne doit pas faire* qui est indiqué, « intervenir le moins possible » étant sans doute révélateur d'une sorte d'équilibre dans la négociation entre chercheur et professeur.

C'est dans les travaux qui mettent en valeur les problèmes de réalisation des ingénieries prévues que l'on va trouver des indications sur les difficultés du professeur. Je partirai de deux citations longues qui toutes deux décrivent avec précision les difficultés rencontrées. Ratsimba-Rajohn (1982, thèse sous la direction de Guy Brousseau) décrit une difficulté rencontrée dans le cadre de la gestion d'une ingénierie au COREM. Denise Grenier (1987, thèse sous la direction de Colette Laborde) décrit l'évolution d'un problème rencontré lors d'une ingénierie portant sur un chapitre au collège qui a donné lieu à une deux séquences avec le même professeur deux années de suite.

Ratsimba-Rajohn (1982) introduit la *gestion d'incertitude:*

> Pour illustrer brièvement cette notion d'incertitude, rappelons que parmi les élèves, certains avaient eux-mêmes fermé leur incertitude en limitant leur droit à l'utilisation exclusive de la bande unité pour le mesurage.
> Il y avait ceux pour qui l'incertitude a été trop fermée car l'enseignant leur proposait trop tôt un procédé à suivre pour dépasser les obstacles qui se présentaient.
> Il y avait ceux pour qui on a laissé l'incertitude grande ouverte en ne leur apportant aucune information, en plus des règles du jeu, à un point tel qu'ils se démobilisaient et se désintéressaient de l'activité en déclarant tout simplement que c'était impossible.
> Il y avait enfin ceux qui, pour fermer leur incertitude, persistaient à tout prix à mettre en œuvre la commensuration, ou qui cherchaient des adaptations locales telle que « redemande de la bande d'unité ou de bandes d'essais supplémentaires ».
> Face à ces réactions, faute de préparation de « la gestion d'incertitude », la plupart du temps l'enseignant ou les observateurs sont pris au dépourvu et se sentent obligés de faire quelque chose dont le résultat est aléatoire.
> D'habitude, on conseille aux enseignants soit de rester « neutres » soit de reconnaître le « moment opportun » dans leurs interventions ; or ces deux termes sont vagues ; ils ne permettent pas de préciser les comportements corrects au moment des dépassements des obstacles. D'où la nécessité d'une étude plus approfondie de la gestion de ces incertitudes. […]
> Cependant le travail que nous venons de réaliser a montré qu'il était impossible de faire l'économie du jeu de l'enseignant avec les élèves. » pp. 109-111

Plus tard, Denise Grenier (1989) montre un autre phénomène qui reprend la question de l'incertitude pour l'enseignant :

> « Lorsque les situations-problèmes ne remplissent pas leurs objectifs, l'enseignant doit faire un choix au moment de la phase collective qui suit - s'en tenir aux objectifs d'apprentissage visés et donc traiter le contenu mathématique prévu - ou bien - accepter de changer le contenu pour porter au débat les connaissances effectivement mises en œuvre par les élèves et non celles prévues. Ces deux décisions ont des conséquences très différentes sur les apprentissages.
> Dans le premier cas, l'enseignant va devoir faire émerger du débat collectif les connaissances qui ne sont pas apparues dans les travaux en groupes. Il traite les notions prévues, son problème est de trouver les moyens de les faire émerger chez les élèves. Dans le second cas, l'enseignant doit gérer un débat dans lequel les élèves peuvent s'impliquer, puisqu'il se base sur leurs travaux individuels ou de groupes, mais les connaissances traitées peuvent se révéler très éloignées de celles qui étaient planifiées.
> L'incertitude pour l'enseignant ne porte pas sur le même objet. Dans le premier cas, elle est du côté de la participation des élèves au débat ; tandis que, dans le second cas, elle est du côté des connaissances traitées.» (pages 46- 47)

Elle repère également une technique dont fait usage le professeur :

> « La prise en compte ou l'ignorance des procédures des élèves, qu'elles soient minoritaires ou non, erronées ou exactes, font partie de la marge de manœuvre de l'enseignant pour la gestion de sa classe. » (p. 50)

Par la suite, elle introduit les représentations de l'enseignant comme élément prise de décision, et elle conclue :

> « […] quels outils développer pour un contrôle [des phases collectives] - par rapport aux finalités - des événements qui s'y produisent ? Ces deux questions ramènent à l'enseignant dans la classe là où, justement, il a des choix à faire et des décisions à prendre. […]. Dans un souci de reproductibilité des situations didactiques, on ne peut pas faire l'économie de l'étude du pôle « enseignant » du système didactique. » (p. 55)

Problème d'interprétation des actions du professeur par les élèves et les chercheurs

C'est l'article de Gilbert Arsac et Michel Mante (1989) qui va être décisif, car il remet en cause l'idée que le rôle du professeur pourrait être décrit assez simplement, voire minimisé. Ils décrivent la grande complexité de la prise en compte du rôle du professeur.

Une de leurs observations montre qu'une intervention mineure, anodine sur le plan du contenu, peut avoir des conséquences très importante sur le fonctionnement d'un groupe de travail. En voici un exemple :

> « [Le professeur, noté (P) intervient auprès d'un groupe d'élèves en passant d'un groupe à l'autre]
> (P) : Bon ça y est ? Il est au point ce message ?
> (E) : Oui, c'est mieux.
> (P) : Vouis pouvez peut-être commencer déjà à l'écrire, hein, vous pouvez commencer déjà à l'écrire » (page 86)

L'observateur note que le groupe était en plein débat contradictoire avant le passage du professeur, ce débat sera abandonné au profit d'une rédaction qui ne permettra pas de dépasser le conflit.

Ils montrent également qu'une non-intervention totale du professeur (consigne expérimentale) peut être tout aussi dévastatrice : les groupes observés trouvent bien les amorces de démonstration, voire les solutions, mais elles sont abandonnées :

> « Pendant toute cette période, l'observateur jurerait qu'ils sont bien partis, et sans doute un professeur faisant un sondage pour savoir où en sont les élèves, penserait-il de même et ne manquerait-il pas d'ajouter : "continuez" ! Pourtant ce beau programme n'aboutira pas […] D'autre idées viendront obscurcir l'idée initiale, qui n'est après tout *qu'une idée parmi d'autres,* qu'aucun échange avec le professeur n'a valorisé. Le message finalement produit proposera une construction fausse qui ne contiendra aucune mention de la méthode un moment envisagée. » (pages 88-89)

Ils analysent enfin les réactions d'un professeur au visionnement de la vidéo de sa conduite de classe dans la phase de débat collectif. Voici leur conclusion générale :

> « Théorisation :
> Elle est ici bien avancée. Depuis longtemps, on sait que, 'l'épistémologie du professeur', sa conception des mathématiques, vont influer sur son comportement en classe.

> Plus récemment, on s'est aperçu que, en fait, chaque enseignant a une 'théorie personnelle de l'enseignement', le mot théorie étant abusif, puisqu'il s'agit en fait de *conceptions* sur l'enseignement :
> - conceptions sur la nature des mathématiques : 'épistémologie du professeur',
> - conceptions sur ce qu'est l'enseignement des mathématiques c'est-à-dire le rôle de l'enseignant : 'théorie didactique'
> - conceptions sur ce qu'est l'apprentissage des mathématiques par l'élève [...] : théorie de l'apprentissage » (page 102)

La situation des recherches en didactique des mathématiques en 1989, en ce qui concerne le rôle du professeur, notamment dans les phases de débat et de bilan, est donc très ouverte : certains problèmes sont posés, parfois de manière très fine, mais les réponses apportées sont très globales et finalement pas très convaincantes.

2 Les phases de conclusion

Les phases de conclusion, avec leurs deux modalités (évaluation, validation), étaient la conclusion de ma thèse (1989), j'ai vite compris l'importance de ce résultat comme un élément d'analyse du rôle du professeur [5 ; 1]. L'objet de ce paragraphe est donc de montrer comment la prise en compte des phases de conclusion a permis de commencer à problématiser le rôle du professeur.

Les phases de conclusion permettent de montrer que la structure de la situation du professeur est incertaine par nature (§2.1), d'une façon générale il existe deux modalité de la phase de conclusion. Mais les choix qui s'ouvrent pour le professeur sont malgré tout déterminés par certains éléments de la situation, ce qui permet de sortir de l'illusion d'un professeur totalement libre de son action (§2.2). Les phases de conclusion apparaissent comme un élément charnière entre les deux processus de dévolution et d'institutionnalisation (§2.3), ce qui permet de sortir de l'illusion d'un cloisonnement entre ces processus, qui rendait impossible la prise en compte du rôle du professeur : il devient possible de commencer à caractériser l'action du professeur autrement que par le silence ou l'intervention.

2.1 Les phases de conclusion et la structure incertaine de la situation du professeur

L'objet de ce paragraphe est d'entrer dans la problématique des phases de conclusion, tout d'abord en les définissant, puis en montrant comme elles caractérisent une structure incertaine de la situation du professeur, qui peut toujours réaliser une phase d'évaluation et seulement sous certaine condition une phase de validation.

Les phases de conclusion

Le raisonnement qui correspond à la définition des phases de conclusion est simple. Le professeur est *responsable* du point de vue du *savoir* qui circule dans sa classe. Quand un élève résout un problème, sa qualité d'élève implique qu'il puisse commettre des erreurs, qu'il doit nécessairement avoir l'occasion de reconnaître.

La reconnaissance de l'erreur par l'élève est sous la responsabilité du professeur. Cette reconnaissance est particulièrement importante en mathématiques, discipline dans laquelle le caractère vrai ou faux d'un énoncé est crucial, mais elle est plus générale car dans toute discipline l'élève doit pouvoir passer par des réponses plus ou moins souhaitables du point de vue de l'institution, puisque c'est justement l'évolution de ces réponses vers le rapport institutionnel qui va être l'indice de son progrès scolaire.

> « Au cours de toutes les situations dans lesquelles l'élève doit fournir un travail personnel existe ce que nous avons appelé une phase de conclusion au cours de laquelle l'élève accède à une information sur la validité de son travail. Cette information doit être pertinente du point de vue du savoir en jeu. La phase de conclusion est sous le contrôle du maître, et peut s'analyser selon le rôle qu'y joue le maître. » ([1] page 29)

Le problème est alors de savoir comment le professeur peut exercer cette responsabilité. J'ai distingué deux modalités de phases de conclusion

> « 1) la phase de conclusion peut être une phase d'évaluation
> *Nous dirons que la phase de conclusion est une phase d'évaluation quand, dans cette phase, la validité du travail de l'élève est évaluée par le maître sous la forme d'un jugement sans appel.* [...]
> 2) la phase de conclusion peut être une phase de validation.
> *Nous dirons que la phase de conclusion est une phase de validation si l'élève y décide lui-même de la validité de son travail.*
> Encore faut-il qu'une telle possibilité ait été rendue possible d'avance! En effet, cette phase est toujours sous la responsabilité du maître, et il ne pourra laisser l'élève statuer que si la situation le permet. La conclusion ne peut venir alors que de l'interaction avec le *milieu.* » ([1] pages 30-31)

Les distinctions ainsi opérées peuvent paraître brutales. Il s'agit bien entendu de cas limites, mais c'est justement parce que ces distinctions sont relativement grossières qu'elles peuvent être opérationnelles suffisamment facilement, comme on le verra par la suite.

Sur le point particulier des phases de conclusion, il devient possible de problématiser *l'incertitude* du professeur et de décrire une *contrainte* de la situation du professeur.

Le point central est celui-ci : *le professeur peut toujours conclure en évaluant* (sauf dans les cas rarissimes dans lesquels le professeur ne maîtrise pas les solutions à donner aux problèmes traités), par

contre: *le professeur ne peut laisser l'élève valider sa solution que si le milieu le permet*. Les formes de conclusion sont donc inégales en ce qui concerne le professeur.

Il s'agit maintenant de montrer quelles sont les conséquences de ce raisonnement.

Liberté du professeur et contraintes de la situation

Comme le montre les conclusions de vérification et Mante (1989), on a pu penser que l'essentiel résidait dans un changement 'd'épistémologie' ou de 'théorie personnelle de l'enseignement'. On pouvait même penser *qu'il suffirait que ces conceptions globales changent* pour changer les actions du professeur en situation (c'est par exemple la problématique du professeur 'constructiviste'). Il y a donc un postulat implicite de *liberté du professeur*.

Or, si l'on s'intéresse aux phases de conclusion, on peut voir que le professeur est toujours libre de conclure, mais qu'il est contraint par une propriété de la situation en ce qui concerne la validation. La bonne volonté du professeur ne suffit pas, l'information du professeur non plus. Pourtant cette illusion de liberté du professeur me semble traverser beaucoup de réflexions sur l'enseignement ou de travaux [33].

En théorie, si une situation permet a priori une phase de validation, il existe une alternative pour le professeur entre évaluation et validation. Pour qu'il soit possible de parler de *choix*, il faudrait que le professeur ait conscience d'une alternative, c'est-à-dire ici qu'il ait des connaissances sur certaines propriétés du milieu de la situation dans laquelle évoluent les élèves. Dans le cas d'une ingénierie didactique, l'analyse a priori de la situation peut être communiquée à l'enseignant, mais cette information peut-elle suffire ? Sans aller plus loin sur ce sujet, car il nous manque des outils d'analyse que je décrirai plus tard, on peut remarquer que le professeur est nécessairement aguerri à l'évaluation (toujours possible) plus qu'à laisser dérouler la validation (possible seulement dans certains cas). L'incertitude du professeur qui participe à la réalisation d'une ingénierie didactique peut donc, dans le cas particulier de la phase de conclusion, être de différente nature : incertitude sur la capacité de la situation à permettre une validation satisfaisante pour l'exercice de sa responsabilité, incertitude sur les gestes professionnels à mettre en œuvre pour permettre l'investissement des élèves dans la validation.

Au delà de la distinction radicale entre validation et évaluation, le professeur peut faire des choix. Il peut ouvrir plus ou moins une question ou une autre : même s'il conclue par une phase d'évaluation, il peut laisser plus ou moins de temps à l'élève pour la recherche d'une solution. La forme de l'évaluation est également ouverte : il peut seulement indiquer qu'une réponse est

fausse, sans fournir immédiatement une solution correcte, ce qui ne referme pas immédiatement le problème pour l'élève. Observer la façon dont le professeur ouvre et ferme des questions est donc un bon point de départ pour l'observation du rôle du professeur dans les deux grands processus de dévolution et d'institutionnalisation, processus qui règlent et organisent le temps didactique.

Cette première entrée dans les protocoles tient une place à part dans mon parcours de recherche. Après la publication des éléments théoriques qui définissent l'existence des phases de conclusion [5], je n'ai publié qu'une seule analyse complète en terme de conclusion et de critères de validité [33]. Le développement très rapide de l'analyse de la structuration du milieu (voir chapitres suivants) ayant en quelque sorte empêché une poursuite de mon travail public concernant les phases de conclusion.

2.2 Les phases de conclusion comme entrée didactique dans l'analyse des protocoles

L'objectif de ce paragraphe est de montrer comme les phases de conclusion permettent une interprétation didactique des protocoles d'interaction en classe. Les interactions langagières en classe peuvent en effet être interprétées par des méthodes directement issues ou bien adaptées de la pragmatique linguistique (comme l'ont fait par exemple Christophe Hache 2001 ou Monique Chappet-Pariès 2002), ce qui permet des résultats qualitatifs globaux sur les formes d'interaction en classe. Si l'on cherche au contraire une interprétation sémantique des interactions avec un grain d'analyse plus fin, l'identification des questions et des conclusions peut être une approche intéressante. Je montrerai sur un exemple, dans une leçon de français au CP, comment la qualification de phase *d'évaluation* relève à la fois de l'analyse a priori de la question posée et de l'observation des interactions entre professeur et élèves. Nous verrons ensuite comment l'existence fréquente de phase d'évaluation façonne le contrat didactique et permet de comprendre pourquoi l'élève interprète les actions du professeur comme des évaluations. J'indiquerai enfin quelques éléments sur les actions possibles et sans doute nécessaires du professeur dans les phases adidactiques.

Une entrée didactique dans les interactions langagières en classe

Pour permettre le travail sur les protocoles d'interactions langagières en classe, il faut pouvoir structurer ces interactions, 'découper' le protocole. Le 'découpage' par les phases de conclusion correspond à l'identification des séquences de 'question posée à l'élève' / 'réponse de l'élève' /

'conclusion'. Ce n'est pas un découpage linguistique, ou pas strictement linguistique. Ce ne sont pas les indicateurs linguistiques qui informent sur l'existence d'une question, mais le fait qu'une tâche est demandée à l'élève, que l'élève a quelque chose à faire sur l'injonction du professeur (la réponse peut être verbale ou non verbale, il peut s'agir d'une action). De même ce n'est pas, ou pas seulement, l'existence d'une réponse verbale du professeur qui marque une conclusion mais le fait que la tâche se referme, que la question est considérée comme réglée par le professeur et l'élève.

La nature des phases de conclusion (validation ou évaluation) est également à questionner. L'important est de déterminer quand la question est fermée par une information décisive sur la validité des réponses, et d'où provient cette information. Le caractère décisif de l'information dépend des connaissances de l'élève, tant linguistiques que mathématiques, ainsi que du contrat didactique. Une telle information peut être donnée par un tiers et acceptée de par l'autorité de ce tiers (qui peut être un autre élève, considéré comme une autorité sur la question considérée, mais qui est le plus souvent le professeur, dont l'autorité en matière de savoir n'est pas questionnée) ou bien recueillie dans l'interaction élève – milieu.

Cette façon de considérer le protocole permet de ne pas exclure des phénomènes liés à la limitation de nos moyens d'observation (cf. vérification et Mante), puisqu'on sait que le mouvement de sourcil du professeur, voire sa non réponse suffit parfois à l'élève à évaluer négativement une réponse, grâce aux connaissances du contrat didactique. S'intéresser ainsi au sens des fermetures permet une lecture didactique du protocole.

Un exemple d'analyse de phase d'évaluation

Pour illustrer ce propos, j'ai choisi de m'appuyer sur ma pratique « privée » de découpage de protocole, en montrant quelques éléments du découpage initial du corpus recueilli par Roland Goigoux « Bébert le bulldozer » (Goigoux 2001, 2002). Ce choix est dicté à la fois par l'importance que j'accorde à l'heure actuelle à l'analyse de séquences d'enseignement d'autres disciplines que les mathématiques, mais aussi parce que ce passage permet une illustration très simple, qui pourra peut-être sembler simpliste… j'en assume le risque.

1. M : vous me rappelez un peu où on en était hier / où est-ce qu'on l'a laissé notre héros
2. EE *(un, puis un autre, puis en choeur)* : au toboggan / au toboggan
3. M : chacun son tour *(M désigne un élève)* commence par t'asseoir
4. E : je crois qu'il fait de la luge
5. E : il fait de la luge maintenant
6. M : de la luge *(étonnement)*

7. M : où est-ce qu'on l'a laissé
8. E *(plusieurs)* : *inaudible*
9. M : oh, le coquin
10. M : Marco / rappelle nous où on en était hier
11. Marco : au toboggan
12. M : c'était à quel endroit exactement
13. Marco : au parc
14. M : qu'est ce qu'il était en train de faire notre héros / comment il s'appelle déjà
15. EE : Samson
16. M : il était parti pour jouer
17. E : il était parti jouer au toboggan
18. M : et qu'est-ce qu'il faisait au toboggan

Il s'agit du début de la leçon, dans une phase de rappel. Dans la première intervention, M pose deux questions : une plus générale « vous me rappelez un peu où on en était hier » qui annonce l'ensemble de la phase de rappel (interventions 1-23 du protocole complet) et une plus spécifique à laquelle je vais m'intéresser « où est-ce qu'on l'a laissé notre héros ». On remarque qu'il existe a priori une possibilité de validation : montrer l'image de l'album, voire revenir au texte. Mais le projet de la maîtresse est de raviver les connaissances des élèves sur l'épisode précédent, pas d'ouvrir une recherche. On peut donc prévoir une modalité d'évaluation par la maîtresse.

Dans un premier temps (intervention 2) des élèves (et même un chœur d'élèves, d'après le protocole) donnent une réponse (au toboggan). J'affirme que cette réponse n'est pas évaluée par la maîtresse, parce que la question ne se referme pas : d'autres réponses seront données (interventions 4 et 5) et la maîtresse relancera la question (intervention 7).

Par contre, la réponse donnée en 4 et 5 (de la luge) est évaluée négativement d'une part par l'étonnement manifesté, mais aussi par la relance de la question (interventions 6 et 7).

L'évaluation positive de la réponse « toboggan », redonnée par Marco en 11, se fait de plusieurs manières : d'une part par la relance de deux nouvelles questions (intervention 14), d'autre part par l'emploi par la maîtresse (intervention 18) de l'information « toboggan ».

Dans une leçon donnée, on observe souvent une certaine régularité des structures d'épisodes ainsi découpés. On peut donc s'interroger quand cette structure change (quand l'épisode s'allonge, notamment) ce qui est à relier avec le phénomène de résonance (indice de résonance, voir [16]). L'existence de « digressions » (nouvelles questions introduites avant conclusion d'une précédente) sont également à questionner. D'autre part, l'évaluation immédiate de la part du professeur est très souvent la marque d'une erreur sur un savoir qui ne fait pas partie du projet du professeur.

Pourquoi l'élève interprète-t-il les interventions du professeur comme des évaluation?

La validation par l'élève n'étant possible que sous certaines conditions concernant le milieu, elle est donc a priori plus rare que l'évaluation de la réponse. La part d'aide à l'enseignement (Mercier 1998) conduit donc l'élève à interpréter le rôle du professeur comme celui qui évalue la réponse, et le rôle de l'élève comme celui qui cherche à obtenir cette réponse, qui fait avancer le temps didactique.

L'élève sait que certaines stratégies du professeur conduisent à masquer la part de l'évaluation. Dans le partage de rôles régit par le contrat didactique, l'élève aide ainsi le professeur en sur-interprétant ses paroles ou ses gestes.

Nous trouvons là un phénomène qui ressemble à celui de « l'âge du capitaine », tel qu'il est analysé dans Chevallard 1983 : c'est parce que le contrat didactique *fonctionne* et non parce qu'il dysfonctionne que les élèves cherchent à lire toute réaction du professeur comme une évaluation de leurs réponses. C'est aussi sans doute pour cette raison que l'installation à court terme d'une ingénierie didactique n'est pas viable, et que l'on n'observe véritablement le fonctionnement adidactique prévu que dans des dispositifs stables : la rencontre répétée avec des phases de validation conduit à un contrat didactique différent, parce que les indices qui permettent à l'élève d'identifier l'attente du professeur sont modifiés.

Quelques éléments du rôle du professeur dans les phases adidactiques

Le professeur étant toujours responsable de la phase de conclusion, il est impossible qu'il n'ait aucun rôle, qu'il soit absent de cette phase. Mais son rôle peut être public (c'est le cas de l'évaluation) ou privé (c'est le cas dans la validation). Dans ce deuxième cas, le professeur est en quelque sorte observateur de la phase de conclusion. Selon ses connaissances, il peut alors transformer la nature de la phase de conclusion si, d'après son observation, cette conclusion n'est pas satisfaisante. Ce jugement dépend de ses connaissances, il est 'subjectif', non pas dans le sens de 'non rationnel' qu'on attribue parfois à ce terme, mais bien dans le sens de l'engagement des connaissances du sujet. Je reviendrai par la suite sur ce que le professeur observe pendant la phase de conclusion, et plus généralement en situation didactique. Le caractère privé d'une partie du travail du professeur pose bien entendu un véritable défi méthodologique qui est loin d'être résolu.

Le processus de dévolution demande de la part du professeur la volonté de déléguer une partie de la responsabilité de l'acte d'enseignement à l'élève. Cette délégation, si elle est génératrice

d'angoisse pour le professeur, puisqu'il y a incertitude, l'est aussi pour l'élève. Le professeur a donc un rôle essentiel à jouer dans la gestion affective de la situation [24]. Une partie de l'omniprésence du professeur dans les séances filmées au COREM pourrait être lue avec ce filtre : le professeur doit rendre acceptable la prise du risque de l'échec et de l'erreur par l'élève. La forte présence du maître a pu faire 'scandale' à une époque, car elle était interprétée comme la mise en évidence flagrante de l'impossibilité de la réalisation en classe de situation adidactique. Les interventions du maître me semblent au contraire devoir être lues comme des techniques qui permettent la dévolution d'une situation adidactique. Ce passage du régime de parole du professeur à l'incitation bienveillante est sans doute lu par les élèves comme un temps particulier du contrat didactique. On retrouve ici les observations de Arsac et Mante 1989, en leur donnant un autre éclairage.

Ce n'est pas ce que le professeur dit ou ne dit pas qui permet de savoir quelle est la nature de la phase observée, et son adidacticité. Si l'analyse de la situation montre qu'un milieu pour la validation est présent, c'est dans la façon dont *l'élève* interprète le travail du professeur que l'on peut inférer dans quel contrat il se place. On retrouve ici une autre face de la participation des élèves à l'enseignement : le processus de dévolution ne se réalise que si l'élève en devient le personnage principal : « laisse moi, je travaille… ».

2.3 Les phases de conclusion comme élément charnière entre les processus de dévolution et d'institutionnalisation

Les concepts de dévolution et d'institutionnalisation n'ont pas été introduits simultanément dans la théorie des situations. Le concept de dévolution a été forgé comme une nécessité du rôle du professeur pour permettre la rencontre de l'élève et de la situation adidactique, il s'agit d'un concept fondateur, central dans la théorie. Au contraire, celui d'institutionnalisation est issu de l'observation répétée des classes de l'école Jules Michelet, et de l'obstination des maîtres à insérer, hors des séances prévues par l'ingénierie, des leçons dont l'importance ne s'est imposée qu'après coup. L'origine de ces concepts a sans doute été pour quelque chose dans une interprétation fausse qui conduit à les voir comme marquant des phases successives. Dans ce paragraphe, je préciserai tout d'abord la nature complémentaire des deux processus de dévolution et d'institutionnalisation. Je montrerai ensuite comment, selon la nature (vraie ou fausse) de la réponse de l'élève et la nature de la phase de conclusion, on peut considérer celle-ci comme élément du processus de dévolution ou d'institutionnalisation. Les phases de conclusion apparaissent alors comme une charnière entre dévolution et institutionnalisation.

Les processus complémentaires de dévolution et d'institutionnalisation

Il s'agit là encore de lutter contre une interprétation simple mais fausse de la dévolution [26] et de l'institutionnalisation. Dans cette interprétation réductrice, la dévolution est la première phase de la situation didactique, pendant laquelle on présente le problème. Vient ensuite une phase adidactique, au cours de laquelle les élèves élaborent leurs connaissances de façon autonome, puis une phase d'institutionnalisation au cours de laquelle le professeur fait la synthèse des connaissances et le lien avec les savoirs culturels.

Cette description relate en effet les éléments saillants à l'observation et peut caractériser les objectifs prioritaires de certaines phases. Mais elle masque l'essentiel : la dévolution et l'institutionnalisation sont des *processus complémentaires*, qui durent tout au long de la situation didactique [1], [5].

Le système didactique est finalisé par l'intention d'enseigner : si le professeur dévolue une situation à l'élève, c'est dans l'intention d'enseigner ; réciproquement, si l'élève accepte la responsabilité du travail de la situation, c'est parce qu'il sait qu'elle a pour but de lui permettre de rencontrer les savoirs. Personne n'est naïf dans cette situation. Le fait même d'envisager de faire la dévolution un problème à l'élève engage dont le professeur dans la transposition didactique, qui suppose des rapports officiel et institutionnel comme enjeu de la relation didactique. La conception même de la dévolution suppose donc l'institutionnalisation possible.

Nature des phases de conclusion par rapport à la dévolution et l'institutionnalisation

Dans ce paragraphe, nous allons voir en quoi les phases de conclusion sont une charnière entre les processus de dévolution et d'institutionnalisation.

Si nous croisons la nature (vrai / faux) des réponses des élèves et la nature (validation / évaluation) des phases de validation, nous obtenons quatre possibilités pour les phases de conclusion :

- phase de validation, solution de l'élève reconnue par lui comme fausse en interaction avec le milieu

Dans ce cas la phase de conclusion est un élément du processus de dévolution. L'élève qui reconnaît ne pas avoir abouti dans la résolution du problème peut rencontrer l'ignorance (Mercier 1998) nécessaire à la recherche de nouvelles connaissances. Quand il retourne à l'étude du problème posé, un nouvel élément existe dans le milieu : l'échec de la première tentative.

- phase de validation, solution de l'élève reconnue par lui comme exacte en interaction avec le milieu

Dans ce cas la phase de conclusion est un élément du processus d'institutionnalisation. L'élève se trouve alors non plus en position de chercher un problème mais de s'interroger sur ce que cela pourrait lui apprendre. Il est en attente du professeur une possibilité d'aller plus loin (nouveau problème, formalisation et stabilisation des connaissances engagées dans l'action, etc.).

- phase d'évaluation, solution de l'élève décrétée fausse par le professeur

Dans ce cas, tout dépend du type d'interaction avec le professeur.

Si celui-ci a simplement donné un message 'faux', alors il peut espérer prolonger la dévolution du problème. Mais ([1], [5]) ce type d'interaction est coûteux, puisqu'il ne peut s'agir que d'une réponse individuelle, et difficile : l'élève veut faire avancer le temps didactique, il peut réclamer du professeur une entrée dans l'institutionnalisation.

Si le professeur oppose à la solution fausse de l'élève les prémisses d'une solution correcte, alors il transforme le milieu du problème posé, la situation n'est plus la même : il faut résoudre le problème connaissant le début de la solution ou connaissant une indication. Le processus de dévolution de cette nouvelle situation peut être considéré comme partie de la dévolution de la situation initiale, mais l'élève peut refuser ce changement de situation, et considérer qu'il s'agit d'une rupture de contrat.

Si le professeur oppose à l'élève une solution exacte, dans une phase collective de 'correction', par exemple, alors la phase d'évaluation fait partie du processus d'institutionnalisation.

- phase d'évaluation, solution de l'élève décrétée exacte par le professeur

Ce cas est à rapprocher de la solution correcte dans la phase de validation. La différence entre les deux ne joue pas sur les relations entre la phase de conclusion et les processus de dévolution et d'institutionnalisation mais sur d'autres considérations : l'élève peut penser que sa solution est *bonne* pour le professeur, au sens moral ou affectif, et non pas *exacte*, au sens logique.

En réalisant cette petite étude, on voit que les modalités de la phase de conclusion ne jouent un rôle véritablement différent du point de vue des processus de dévolution et d'institutionnalisation que dans le cas des réponses fausses des élèves, c'est-à-dire justement dans le cas où la question est problématique pour l'élève, et donc porteuse d'évolution de ses connaissances.

La charge de l'élève dans les phases de conclusion [1] n'est pas la même. Pour ceux qui réussissent, les modalités de conclusion peuvent être différentes du point de vue de la représentation du savoir : plus ou moins lié à la subjectivité du professeur ou à une réalité objective). Mais pour ceux qui se trompent, et pour lesquels l'apprentissage n'est pas terminé, l'évaluation demande une réinterprétation de la démarche erronée : l'élève qui s'est trompé doit 'prendre du recul' pour revivre la situation de façon évoquée et comprendre comment il aurait pu faire autrement, sans plus être en cours de résolution. Il ne peut pas refaire le problème dans les mêmes conditions.

Il peut y avoir ici un élément différenciateur, car il tend à accroître les écarts. Ceux qui savent déjà sont engagés d'emblée dans un processus d'institutionnalisation, et poussent sans doute à l'avancée de ce processus, qui fait particulièrement avancer le temps didactique. Ceux que le problème posé a engagés dans un apprentissage devraient être soutenus par le processus de dévolution, mais ce n'est possible que si le problème initial n'a pas été 'tué' par la phase d'évaluation. Sinon, les plus fragiles doivent toujours 'revenir à zéro', et prendre l'occasion d'un nouveau problème pour avoir une nouvelle chance d'apprendre.

On voit donc ici comment la phase de conclusion apparaît comme une charnière entre les deux processus de dévolution et d'institutionnalisation et en réalise l'unité, dans un processus *d'institution* au sens de Sensevy, Mercier et Schubauer-Leoni (2000).

3 Les critères de validité

Dans ce paragraphe, il s'agit de commencer à montrer les conditions de réalisation des deux modalités des phases de conclusion. L'évaluation peut toujours avoir lieu, mais la validation ne peut exister que dans le cas où existe un milieu pour la validation. J'ai appelé "critères de validité" les connaissances qui jouent un rôle crucial dans l'existence d'un tel milieu (§3.1). Il s'agit d'un des éléments qui me conduira plus tard (ce sera l'objet des chapitres suivants de cette Note) à m'intéresser au milieu de la situation et au rôle du milieu dans les situations du professeur et de l'élève. Les critères de validité n'en sont qu'un élément, mais ils permettent de déterminer des contraintes didactiques dans la situation du professeur (§3.2). L'ingéniosité du professeur peut alors apparaître, car nous pouvons maintenant observer, non pas seulement la nature de la phase de conclusion, mais aussi la façon dont des choix du professeur permettent d'en atténuer les effets différentiateurs (§3.3).

3.1 Identification de connaissances spécifiques nécessaires à la validation

La possibilité d'une phase de validation dans une situation donnée suppose l'existence d'un milieu pour la validation, et de connaissances spécifiques à l'interprétation des rétroactions de ce milieu. J'ai appelé 'critère de validité' une telle connaissance, qui permet à l'élève de valider sa réponse à un problème donné.

Dans le milieu d'une situation adidactique, une partie de l'interaction au milieu doit être stable, sans quoi aucune dévolution de la situation n'est possible : il faut au moins pouvoir communiquer l'enjeu. L'élève doit pouvoir reconnaître si la solution qu'il propose est efficace. Dans une situation donnée, les critères de validité sont donc les connaissances sur lesquelles le professeur peut s'appuyer pour mener à bien le processus de dévolution.

Les critères de validité interviennent également dans le processus d'institutionnalisation, car ils sont le reflet, dans une situation donnée, de la disponibilité d'une connaissance pour un sujet. On peut parler d'acquisition dès qu'une connaissance peut servir de critère de validité dans une classe de situation (défini par une situation fondamentale). On peut donc considérer que le processus d'institutionnalisation est achevé, non pas quand le professeur en a institué les termes et les relations avec le savoir, mais quand l'élève met en œuvre cette connaissance comme critère de validité. J'ai montré comment, dans la séquence de Nadine et Guy Brousseau 1987 sur les rationnels et les décimaux à l'école primaire, ce sont les critères de validité qui servent de 'pivots' pour le passage d'une situation fondamentale à l'autre (Margolinas 1993), alors que Brousseau n'avait pas théorisé ce passage.

3.2 Détermination de contraintes didactiques dans la situation du professeur

Nous venons de voir que les critères de validité jouent un rôle fondamental dans les deux processus de dévolution et d'institutionnalisation : les critères de validité sont les connaissances sur lesquelles le professeur peut s'appuyer pour mener à bien le processus de dévolution ; la transformation de connaissance en critères de validité signe la fin du processus d'institutionnalisation.

Les critères de validité marquent ainsi des limites dans l'action du professeur : pour que l'élève puisse prendre en charge un problème, il ne suffit pas qu'il ait déjà rencontré certains savoirs, mais il faut que ces savoirs soient des connaissances efficaces pour la validation.

J'illustrerai d'abord, sur un exemple simple (le puzzle, que nous reprendrons plusieurs fois dans le texte de cette Note), quelles sont ces connaissances qui servent de critère de validité. Le deuxième

exemple (les colliers de perle) mettra en évidence un phénomène, celui de situation « en boucle », qui rend impossible la dévolution du problème, quelle que soit la bonne volonté du professeur. Sur cet exemple, on verra aussi comment des transformations minimes dans le problème posé auraient pu permettre au contraire d'envisager la dévolution d'une situation adidactique, voire même d'une suite de situations.

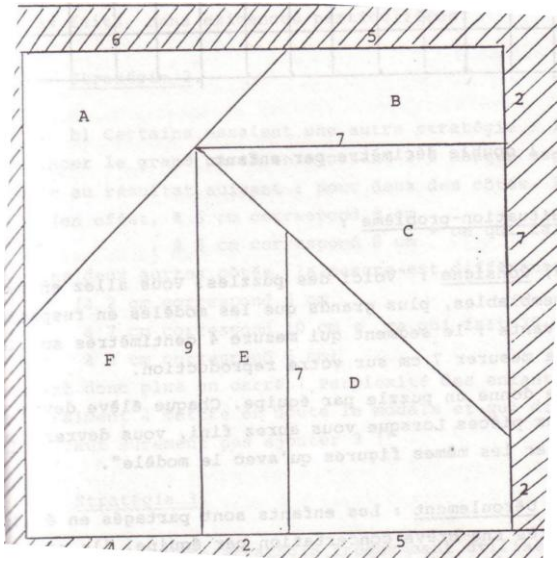
Une situation et ses critères de validité: l'exemple du puzzle

Nous allons nous appuyer sur l'exemple d'une situation très connue, celle du 'puzzle' (Brousseau N. et G. 1987), qui sera utilisée également dans d'autres partie de cette Note.

L'agrandissement du puzzle[9]

Matériel : 6 à 8 puzzles dessinés sur des cartons rectangulaires de 20cm x 15 cm. Pour chacun des puzzles, les 6 pièces (A, B, C, D, E, F) découpées dans le même carton. Chaque puzzle et ses 6 pièces sont placés dans une enveloppe. Des feuilles de papier affiche (en assez grand nombre). 1 double-décimètre par enfant.

Consigne : Voici des puzzles. Vous allez en fabriquer de semblables, plus grands que les modèles en respectant la règle suivante : le segment qui mesure 4 centimètres sur le modèle devra mesurer 7 centimètres sur votre reproduction. Je donne un puzzle par équipe. Chaque élève devra faire une ou deux pièces. Lorsque vous aurez fini, vous devrez pouvoir reconstituer les mêmes figures qu'avec le modèle.



[9] Extrait de N. et G. Brousseau 1987, pages 137-138

Figure 1 - le puzzle (réduction, mesures en centimètres indiquées)

Déroulement : Les enfants sont partagés en équipes de 4 ou 5. Après une brève concertation par équipe, ils se séparent pour réaliser leur(s) pièce(s). Le maître affiche (ou dessine) au tableau une représentation agrandie du puzzle complet.

Cette situation a pour intérêt que la procédure fausse la plus répandue (procédure additive qui consiste à ajouter 3 cm aux mesures des segments perpendiculaires) peut conduire à la réalisation de pièces agrandies, mais ces pièces ne permettent pas de reconstituer un puzzle. Dans cette situation, de nombreux de critères de validité sont essentiels au fonctionnement adidactique :

- savoir construire des pièces du puzzle en mesurant les segments perpendiculaires et en traçant les segments restants
- savoir mesurer les segments et ajouter 3 cm aux mesures choisies
- savoir découper les pièces avec précision
- savoir reconstituer un puzzle simple.

C'est grâce à ces connaissances que les élèves peuvent reconnaître l'impossibilité de reconstituer le puzzle avec la stratégie additive et s'engager dans la résolution du problème clef de la séquence, c'est-à-dire la détermination implicite des propriétés de la fonction linéaire.

Si la situation du puzzle fonctionne, c'est parce que ces connaissances font normalement partie du bagage de l'élève de dix ans auquel s'adresse ce problème. Si ce n'était pas le cas, alors on pourrait dire que l'élève « ne comprend pas le problème », puisqu'il ne pourrait envisager aucune stratégie de base ni aucun moyen de comprendre si la tâche est réalisée ou non. Cette « incompréhension » du problème, trop souvent attachée par les professeurs à de seules capacités linguistiques, relève le plus souvent d'une impossibilité didactique de la dévolution de la situation.

Dysfonctionnement "en boucle" d'une situation: l'exemple des perles

Dans certaines situations proposées aux élèves, l'examen des critères de validité permet de prévoir l'impossibilité du professeur à faire la dévolution de la situation. C'est le cas notamment des situations « en boucle » dans lesquelles les critères de validité et les savoirs à construire sont les mêmes.

Voici un exemple de situation « en boucle » observée en maternelle TPS-PS (enfants de 3-4 ans) (parmi une multitude de telles situations repérées à tous les niveaux scolaires, aussi bien dans les pratiques effectives en classe que dans les manuels scolaires).

Deux colliers de forme identique sont dessinés sur une feuille. Le collier du haut de la feuille a été colorié soigneusement par la maîtresse en alternant une perle bleue et une perle rouge. La consigne est de colorier le collier du bas de la feuille pour obtenir le même que celui du haut. De nombreux enfants estiment avoir réussi la tâche soit quand ils ont colorié soigneusement les colliers avec tous les crayons de couleur à leur disposition, soit quand ils ont colorié les colliers en rouge et en bleu, dans les deux cas, sans respecter l'alternance.

La connaissance en jeu dans la tâche (algorithme d'alternance) est la même que celle qu'il faut pour reconnaître que l'on a réussi. Dans la séance observée, la maîtresse est contrainte de désigner les couleurs à utiliser pour chaque perle, la tâche se réduit alors pour l'élève à celle du coloriage bien fait.

Pour sortir de la situation en boucle, il faut pouvoir s'appuyer sur des connaissances stables, susceptibles de servir de critères de validité. Dans le cas présent, on peut imaginer un collier réel monté sur un support circulaire assez rigide, de même couleur et de même taille que le modèle, dont les enfants auraient été à même de reconnaître qu'on peut le poser sur le collier dessiné et qu'on a exactement la même couleur entre la perle réelle et la perle coloriée pour toutes les perles du collier. Dans ce cas, les connaissances en jeu dans la validation sont la capacité de poser le collier réel sur le collier dessiné de manière à faire coïncider une boule réelle et une boule fictive et la reconnaissance de l'identité de couleurs proches.

On remarque [1] que l'existence d'une validation dans le jeu modifié permet de recommencer la tâche en gardant le même enjeu. La situation – être capable d'anticiper pendant le coloriage ce qui se passera au moment de la superposition – gardant sa complexité et donc son intérêt. La phase de validation, si elle permet de conclure, ne « tue » pas le problème. On remarque également que des variantes deviennent possibles comme : montrer seulement le collier modèle pendant un certain temps sans donner le modèle sur la feuille ; demander à un groupe d'élèves de communiquer oralement à un autre groupe le mode de fabrication d'un collier donné etc. Le même problème peut alors donner lieu à plusieurs situations.

Dans l'exemple ci-dessus, les enfants s'agitent très vite et se désintéressent de la tâche alors que la maîtresse a le sentiment de « s'épuiser » à les guider vers la réalisation. L'analyse montre qu'il ne s'agit pas d'un manque d'expérience ni d'autorité, mais d'une contrainte de la situation sur le professeur. Même si l'idée lui venait en cours de route, la maîtresse ne peut transformer la situation « de chic », le temps de réflexion comme le matériel lui manquant pour cela.

3.3 Ingéniosité du professeur en phase de conclusion

Comme nous venons de le montrer, il existe donc des déterminants didactiques de l'action du professeur. Ces déterminants nous permettent de faire retour sur la question de l'observation du professeur, puisque certains éléments pourront être interprétés comme des choix dans une alternative décrite par une analyse a priori, alors que d'autres sont déjà fixés. Des éléments pertinents dans l'observation du rôle du professeur peuvent ainsi être mis en évidence. Dans le protocole « Bébert et le bulldozer », la problématique des phases de conclusion permet ainsi de révéler l'ingéniosité (Mercier et al. 2001) de la maîtresse qui trouve une solution, dans une situation dans laquelle l'évaluation est nécessaire, pour maintenir néanmoins l'investissement de tous les élèves dans la lecture d'un mot difficile.

Retour sur l'observation du professeur

J'ai affirmé précédemment que le professeur, s'il est toujours libre d'évaluer, n'est pas toujours libre de permettre une phase de validation. Ce paragraphe vise à spécifier et à problématiser cette affirmation issue d'une réflexion théorique générale.

On vient de voir que l'existence ou non de critères de validité et plus généralement d'un milieu pour la validation permet ou non une phase de validation. Il s'agit donc d'une contrainte didactique qui pèse sur l'action du professeur (pour une description très détaillée de ces contraintes sur un exemple en quelque sorte emblématique, voir [33]).

Le professeur peut souhaiter laisser les élèves libres de leurs décisions, de leur résolution de problème, mais il ne le peut que dans certaines conditions. Ainsi, dans l'examen d'un protocole, la détermination de la nature des phases de conclusion dépend non seulement de l'examen de ce que dit ou non le professeur mais également de l'analyse a priori de la situation dans laquelle il travaille avec ses élèves.

Par exemple, si l'on disposait d'un protocole détaillé de la situation « des perles » décrite précédemment, on saurait déjà que les phases de conclusion sont nécessairement des évaluations. Le regard du chercheur pourrait alors porter sur la manière dont cette phase se réalise, mais pas sur la nature, déjà déterminée par les contraintes de la situation.

Si nous reprenons de ce point de vue le morceau de protocole de « Bébert le bulldozer », on peut voir que les connaissances en jeu pour répondre à la question « où on l'a laissé notre héros » sont également les critères de validité pour juger de la réponse, sauf si l'album est rendu accessible aux élèves. C'est la présence ou l'absence de l'album dans le passage considéré qui est l'élément

déterminant ; étant donné son absence, il est nécessaire que ce soit la maîtresse qui évalue[10]. L'examen des phases de conclusion et des critères de validité permet donc une mise en relief d'observables didactiquement pertinents pour l'analyse du rôle du professeur, relatifs à chaque situation particulière. Dans le cas des perles, le chercheur sera attentif à la présence ou l'absence d'un collier modèle et son usage éventuel, dans le cas de la séance de lecture, la présence ou l'absence de l'album et son usage éventuel.

Exemple d'une modalité rare de phase d'évaluation: la réponse individuelle dans le protocole Bébert

Les phases d'évaluation ne permettent pas, le plus souvent, de faire vivre un problème suffisamment longtemps pour que les élèves les plus faibles se l'approprient. Mais la phase d'évaluation ne se définit que par le jugement du professeur sur la réponse de l'élève. Il est donc possible, a priori, de laisser quand même le problème ouvert, en renvoyant chaque élève individuellement à son travail. Cette réalisation de la phase d'évaluation, très coûteuse en temps, s'observe rarement.

Cette modalité rare se trouve réalisée dans la suite du protocole de « Bébert le bulldozer » dans lequel la maîtresse utilise une technique[11] qui lui permet de ne pas 'tuer' le problème de lecture d'un mot difficile.

Le mot à lire est *bouscula*.

161. Yannick : (inaudible)
162. M : tu penses avoir trouvé?
163. Yannick : oui
164. M : Tout entier?
165. Yannick : Oui
166. M : Viens me le dire dans mon oreille (M fait signe à l'élève de s'approcher. Il la rejoint près du tableau.)
167. M : on va voir s'il est malin
168. (Yannick vient lui donner la réponse au creux de l'oreille)
169. M fait un large sourire de satisfaction
170. M : Bravo (elle lui donne une poignée de main de félicitations. Il repart à sa place.)
171. EE (Une dizaine d'enfants arrivent pour proposer une réponse à l'oreille de la maîtresse).

[10] Ce qui est d'ailleurs cohérent avec son projet, cette phase de la leçon n'étant pas une phase d'apprentissage, mais servant à l'établissement du milieu pour la suite

[11] L'entretien réalisé par Roland Goigoux avec la maîtresse permet d'affirmer que cette technique est utilisée régulièrement par cette professeure, en tout cas en lecture.

172. M (les écoute tout à tour, Baptiste arrive le premier): en voilà un malin
173. E (Un autre enfant, Etienne, chuchote dans son oreille)
174. M : c'est incroyable !
175. E (Agathe, Bérengère, Coralie, etc. chuchotent à leur tour)
176. M : tu l'as pas lu jusqu'au bout
177. M : oui
178. M : oui
179. M : je crois qu'il manque un son
180. (Célia quitte sa place, vient en direction du tableau puis fait demi-tour sans rien proposer)
181. M : oui
182. M : ah, t'en a oublié en route
183. M : oui
184. M : tu en as ajouté toi, regarde bien où ça s'arrête. (D'autres élèves arrivent) Oui, oui...
185. M (s'adressant à Hugo) : tu as lu ça ça ça ça (elle montre au tableau avec sa craie des segments du mot bouscula)... tu as trié, mais moi j'aimerais bien que tu me le lises en entier
186. E (D'autres enfants continuent à proposer leurs solutions à l'oreille de la maîtresse qui valide.)
187. M : oui
188. M : oui
189. M : va doucement, t'en as avalé un peu
190. M : oui
191. M : non, t'as oublié quelque chose, mais quoi?
192. M : oui t'as trouvé
193. M : on va aller à sa place ; on va lire ensemble, ceux qui l'ont trouvé... chut ! ... (Les élèves retournent à leur place)

Dans le cas observé, il n'existe aucun critère de validité pour la lecture d'un mot isolé puisque toutes les connaissances sont en cours d'apprentissage, la solution de la maîtresse est donc tout à fait ingénieuse. On imagine bien qu'il faut à la fois la souplesse de temps de l'école primaire et l'enjeu essentiel de la lecture pour qu'une technique didactique aussi coûteuse en temps soit mise en place. Mais elle présente l'énorme intérêt de permettre aux enfants de s'essayer, et de recevoir quelques indications pertinentes « tu en as oublié en route », « tu en as ajouté », là où la lecture trop rapide du mot prive les enfants les plus lents de la possibilité même de se risquer à la lecture.

4 Conclusion

En 1989, quand j'ai introduit les termes de « phases de conclusion » et de « critères de validité », il s'agissait de chercher à mieux décrire les situations didactiques ou leur articulation, pas de travailler sur le rôle du professeur. Dans le même temps, nous avons vu que le problème du rôle du professeur commençait à se poser de façon insistante, mais que les catégories utilisées pour

décrire les difficultés identifiées : « épistémologie du professeur », « incertitude », étaient trop larges pour servir d'analyseur des interactions.

C'est finalement parce que le « point de vue de la validation » donnait une entrée relativement étroite dans l'analyse d'une situation qu'il a pu être utile pour commencer à comprendre non pas seulement le « rôle » du professeur mais sa *situation* : une structure de contraintes et de déterminants qui permettent de faire des hypothèses et des prévisions sur les actions du professeur, envisagées dans un ensemble fini de possibilités. Le professeur n'apparaît plus, dans la situation didactique, comme un concepteur omnipotent. Bien au contraire, il agit dans une situation dans laquelle une partie des déterminants provient du problème qu'il pose à l'élève.

Cette entrée dans les protocoles est restée longtemps une pratique privée, que j'ai pourtant utilisée d'une façon systématique. Avec le développement d'une approche comparatiste, l'intérêt de cette approche ressurgit, d'une part parce qu'elle permet une entrée simple dans des protocoles issus de situations très diverses, mais aussi parce qu'elle permet de questionner dans différentes disciplines le rapport à la conclusion. L'importance du vrai et du faux en mathématiques est a priori une caractéristique de cette discipline, la nature des phases de conclusion dans d'autres disciplines peut donc être différente. Ce travail de redéfinition a été fait en physique par Ludovic Morge (2001), mais on pourrait envisager une extension de la prise en compte de la conclusion dans d'autres disciplines.

Dans ce premier temps de mon travail, le choix du problème posé à l'élève par le professeur n'a pas interrogé, il s'agit seulement d'une donnée de la situation didactique analysée. Nous verrons dans la suite de cette Note que la genèse qui conduit au problème en classe peut également être modélisée, ce qui donne un tout autre éclairage sur la situation de classe.

A l'issue de ce chapitre, notre regard sur le professeur n'est pas celui des chercheurs de la fin des années 80 : nous disposons d'une entrée dans la situation du professeur qui nous permet d'apprécier certains de ses choix, ingénieux ou non, parmi un ensemble de possibilités dont les issues ne semblent pas identiques a priori, notamment en ce qui concerne la différenciation des élèves.

Chapitre 2
La structuration du milieu

Dans le chapitre précédent, nous avons vu comment le problème posé en classe crée une situation qui conditionne les actions de l'élève et du professeur. L'action didactique du professeur étant tendue vers l'enseignement d'un savoir, la situation du professeur dépend de celle de l'élève. Malgré ce lien entre situation de l'élève et situation du professeur, ce chapitre apparaîtra dans un premier temps comme un détour. En effet, j'y décrirai tout d'abord le milieu et sa structuration, tels qu'ils apparaissent dans les travaux de Brousseau (notamment Brousseau 1986), et la façon dont j'ai complété le modèle de structuration du milieu, pour prendre en compte les situations du professeur et de l'élève (§1). La suite de ce chapitre sera alors consacrée aux conséquences de la transformation du modèle pour l'analyse a priori de la situation de l'élève, les conséquences concernant l'analyse de la situation du professeur étant exposées dans le chapitre suivant. J'exposerai alors sur un cas simple les éléments de technique d'analyse de la structuration du milieu qui permettent de déterminer la structure de la situation d'un problème posé à l'élève (§2), ce que j'appellerai le « point de vue de l'élève ». Cette analyse sera alors appliqué à un premier cas plus complexe, observé en classe ordinaire, ce qui conduira à l'introduction d'un nouveau modèle : celui bifurcations de situation didactique (§3). La fin de ce chapitre sera consacré à un retour sur la théorie des situations, à partir des conversions opérées pour envisager la modélisation des classes ordinaires, ce qui conduira à l'introduction d'un nouveau concept : celui de situation nildidactique (§4).

1 Le milieu et sa structuration : exposé et transformation du modèle de Brousseau

Dans ce paragraphe, je partirai des travaux de Brousseau qui concerne la nécessité du « sous-système milieu » et l'existence de milieux (§1.1) et de la présentation du texte de Brousseau 1986, première présentation de la structuration du milieu (§1.2). Il me semble indispensable de revenir ainsi à la source, non seulement sous la forme d'une référence, mais en reprenant véritablement la lecture. Ce choix est lié à trois raisons : d'une part, le changement de communauté de recherche dans lequel cet texte m'engage m'oblige à expliciter plus avant les travaux fondateurs connus essentiellement par les didacticiens des mathématiques ; d'autre part le texte de 1986 auquel je me réfère n'est pas très disponible, les actes des écoles d'été n'étant pas véritablement diffusés ; enfin

il s'agit d'un texte difficile, qui a été finalement assez peu travaillé, y compris par les didacticiens des mathématiques. C'est donc seulement à la fin de cette partie que je montrerai comment j'ai transformé le modèle de Brousseau et quelle est la représentation de la structuration du milieu à laquelle j'abouti (§1.3).

1.1 La nécessité des milieux

Dans ce paragraphe, j'entends montrer en reprenant les raisonnements de Brousseau, d'une part la nécessité de considérer le milieu comme un sous-système du système didactique, puis celle de concevoir plusieurs milieux, qui correspondent aux différentes fonctions du savoir, mais aussi aux différents types de situations adidactiques.

La nécessité du milieu comme sous-système

Pour Brousseau, le point central est de considérer « la situation didactique comme un jeu a (au moins) deux personnes », et « le milieu [comme] un jeu ou une partie du jeu qui se comporte comme un système non finalisé ».

Voici les grandes lignes du raisonnement de Brousseau qui lui permettent d'affirmer la nécessité du sous-système « milieu ». Le système didactique porte en lui-même le projet de son extinction : si l'enseignement réussit, l'élève doit pouvoir se passer du professeur, c'est hors du système didactique que la réussite ou l'échec du système lui-même est visible. L'apprentissage par adaptation de Brousseau propose de résoudre ce paradoxe par l'introduction d'une situation adidactique image d'une situation non didactique fondamentale. Dans la classe, l'élève va interagir avec un milieu plus ou moins semblable à celui des situations qu'il aura à affronter en sortant du système didactique.

Prolongeons ce raisonnement hors de cette proposition particulière d'enseignement. Dans tout système didactique, l'élève doit avoir une part d'autonomie dans la résolution de problèmes (aussi fermés soient-ils) car le système d'enseignement doit montrer à la société que les élèves apprennent bien à répondre aux questions que la société est en droit de leur poser à leur sortie du système éducatif. C'est pourquoi les existences d'un milieu pour l'action de l'élève et de phases de conclusion suite à la réponse d'un élève à un problème sont une nécessité du système didactique. L'existence d'un milieu et celle des phases de conclusion se trouvent en quelque sorte aux deux pôles du paradoxe de l'extinction du contrat didactique, intrinsèquement liés aux processus de dévolution et d'institutionnalisation.

La décomposition en plusieurs milieux

Dans le chapitre 1, l'interaction sujet-milieu a été introduite comme la plus petite unité d'interaction cognitive, l'équilibre sujet-milieu définissant une connaissance. La situation adidactique reconstitue alors artificiellement, en situation didactique, une relation élève-milieu qui définit une connaissance. Dans la problématique de la *construction* de situations adidactiques et de situations fondamentales le problème est donc, étant donné un savoir mathématique, de rechercher une situation fondamentale qui permet de générer par le jeu des variables une suite de situations adidactiques et donc une suite de milieux.

On peut donc dire que ce n'est pas la notion de « milieu » qui est au cœur de l'épistémologie expérimentale, mais plutôt celle de « milieux » puisque d'une façon générale un savoir mathématique donné se défini par un ensemble de connaissances et non pas par une seule. Le problème se pose donc des interactions entre ces milieux ainsi définis.

Par ailleurs, Brousseau (1986, repris dans 1998 p. 99-101, 1982-1983, pp.196-197) considère trois formes de connaissance qui permettent de : (I) fournir des décision, permettre des choix au cours de l'action; (II) permettre la description des situations, c'est-à-dire la formulation des représentations, (III) appuyer la conviction du sujet par des preuves éventuellement organisées en théories. Indépendamment, il classe les interactions d'un élève avec le milieu en au moins trois grandes catégories (Brousseau 1998 p. 98) : les échanges d'informations non codées ou sans langage, les échanges d'informations codées dans un langage, les échanges de jugements. Il s'agit explicitement de deux décompositions qui « se justifient a priori et indépendamment » (p. 103). Les trois types de situations adidactiques, étudiées depuis les années 70 : situations d'action, de formulation, et de preuve, se trouvent ainsi à la conjonction d'une réflexion épistémologique sur les formes de connaissances et d'une analyse des jeux possibles entre l'élève et le milieu.

Les schémas complexes (1998 p. 106 et 110) des situations adidactiques de formulation et de preuve font apparaître plusieurs milieux spécifiés : milieu pour l'action, milieu de la communication. Nous retrouvons ici le problème de l'identification de plusieurs milieux et non plus d'un seul.

1.2 La structuration du milieu dans Brousseau (1986)

Brousseau (1986) détermine, en s'appuyant sur les « énoncés classiques » des problèmes, «au moins quatre personnes, quatre sujets distincts auxquels l'élève peut s'identifier » et « cinq milieux avec lesquels il peut interagir selon des modes différents. Ces milieux étant emboîtés, nous les

décrirons comme des niveaux du « milieu » de l'élève ». (Page 60). L'élève, quand il résout un problème, peut donc s'identifier aux sujets interagissant avec les différents milieux.

La structure emboîtée, récursive, du milieu décrit par Brousseau est alors introduite, toujours en référence aux énoncés classiques des problèmes.

> […] le but de cette classification en niveaux de milieu et de situations est de permettre la prévision des relations sociales – des jeux – qui correspondent aux différents régimes du fonctionnement de la connaissance dans les différents modes d'apprentissages utilisables en situation scolaire. (Brousseau 1986 p. 63)

Voici comment Brousseau décrit la classification en niveaux de milieu.

Le milieu matériel

Le milieu matériel[12] est expliqué par Brousseau en référence aux « problèmes classiques » (pensons à un problème de type « Pierre et Paule jouent aux billes, Pierre perd 4 billes à la première partie, etc. »).

> « La partie informative [de l'énoncé classique] évoque des éléments liés par des relations explicites et qui peuvent être des objets ou des personnes mis en scène dans une histoire (avec un déroulement temporel) ou un système (défini à un instant donné, mais susceptible d'évolution temporelle). Mais cette histoire ou ce système sont considérés comme déterminés, uniques, indépendants de la volonté, de l'action ou des conceptions de l'élève. Ils fonctionnent ainsi comme une réalité objective de référence à laquelle l'élève doit adhérer mais devant laquelle il est placé en spectateur dont le point de vue est fixé à l'avance. Cette réalité est évidemment une fiction didactique reconnue comme telle par chacun des protagonistes. » (p. 59)

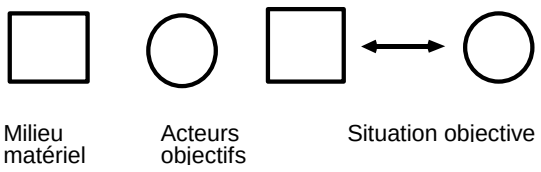


Figure 2 - La situation objective (Brousseau 1986)

Le milieu objectif

> « L'élève se trouve alors devant un « milieu objectif » composé du couple [(milieu matériel, acteurs objectifs)] en position de sujet connaissant et agissant. Bien sûr, il peut, non seulement imaginer et se représenter [l'acteur objectif], mais aussi s'identifier à lui par la pensée et comprendre son point de vue. On reconnaît ici une situation d'action avec des partenaires et du matériel réel. » (p. 60-61)

[12] Une des transformations que j'ai fait subir au modèle de Brousseau est un changement de numérotation des niveaux, j'ai donc choisi de présenter le modèle de 1986 sans numérotation.

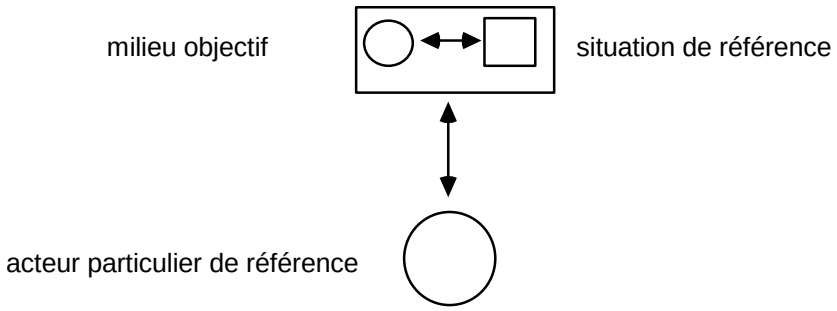


Figure 3 - La situation de référence (Brousseau 1986)

Le milieu de référence

> « Un élève qui s'imagine agissant sur [le milieu objectif] se trouve dans la position [suivante : sujet épistémique résolveur de problème]. Les rapports [de l'acteur particulier de référence] et [celui du sujet épistémique résolveur de problème] avec leurs milieux respectifs sont radicalement différents. Les premiers sont des rapports d'action, les seconds, plus réflexifs, se rencontrent dans des situations de formulation ou de preuve. » (p.61)

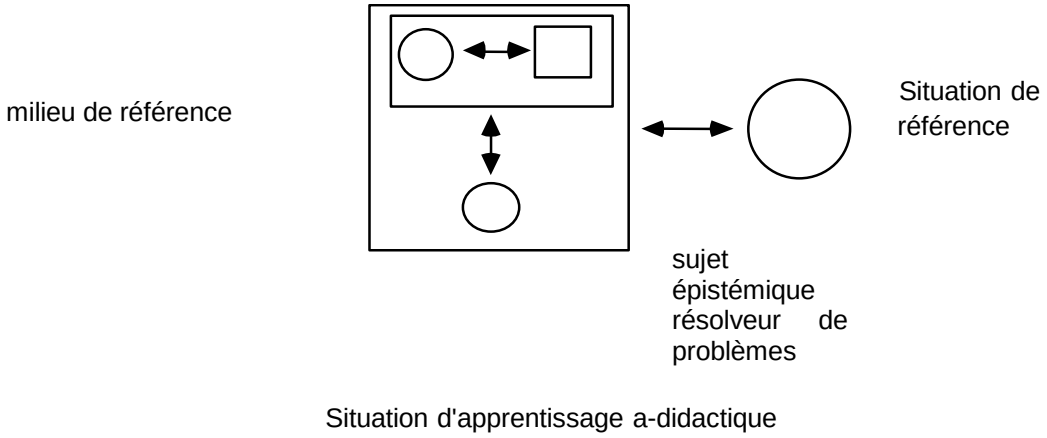


Figure 4 - La situation d'apprentissage adidactique

Le milieu d'apprentissage

C'est dans cette section que Brousseau fait intervenir le professeur.

> « Ces rapports entre un [sujet épistémique résolveur de problèmes] réfléchissant à une situation de référence […] sont du type de ceux qu'un professeur doit établir entre un élève réel et un problème. Pour lui, ces rapports constituent une situation d'apprentissage ou un exercice, dont il se sert pour son projet d'enseignement. Sa propre position est la position [de professeur acteur], et le milieu dont il s'occupe et avec lequel il interagit est le milieu de l'apprentissage adidactique […]. Les relations du [professeur acteur] avec [le milieu de l'apprentissage adidactique] sont une partie des relations constitutives de la situation didactique. » (p. 61-62)

Et c'est en quelque sorte par rapport au travail du professeur dans la situation d'enseignement que va se situer l'élève.

« Mais l'élève est, lui aussi, invité par moments à considérer la situation d'apprentissage et les comportements qu'elle a suscités de sa part, ne serait-ce que lorsque le professeur les corrige et les commente, ou encore au cours de l'institutionnalisation des connaissances. A ce moment, l'élève se place dans une position nouvelle […] face à un milieu […] qui est celui de son apprentissage. C'est aussi la position qu'il prendrait en l'absence de tout professeur réel (position autodidactique). Il réfléchit alors à son apprentissage et aux fonctions, pour lui-même, de la connaissance. » (p. 62)

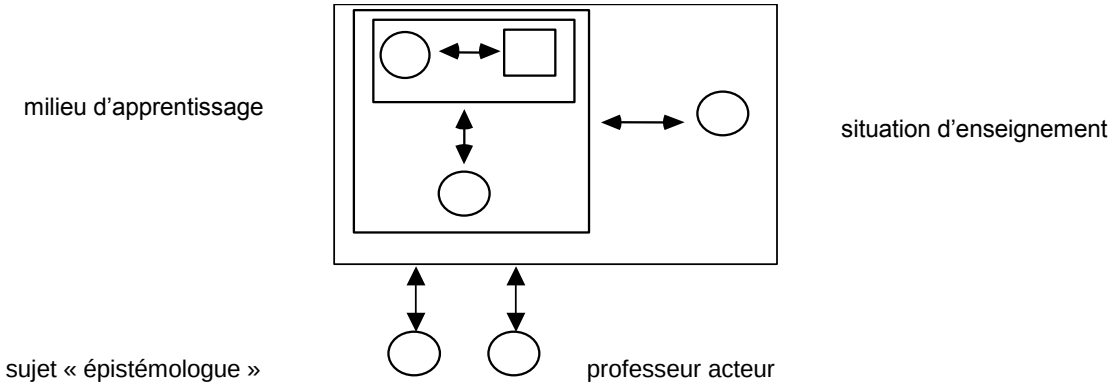


Figure 5 - La situation d'enseignement (Brousseau 1986)

Le milieu didactique

« Le professeur réfléchissant à son activité d'enseignement ou la préparant, envisage ses propres rapports avec ses élèves : il se place ainsi dans une position […] réflexive par rapport à la situation précédente qui se constitue alors pour lui, en un nouveau milieu […] : le milieu didactique, ou situation didactique au sens du professeur. Cette position est similaire pour le maître à la position [de sujet épistémique résolveur de problème] pour l'élève. Remarquons que l'élève peut lui aussi se placer dans cette position […] pour observer, juger ou tirer parti de façon consciente de la situation didactique. » (p. 62)

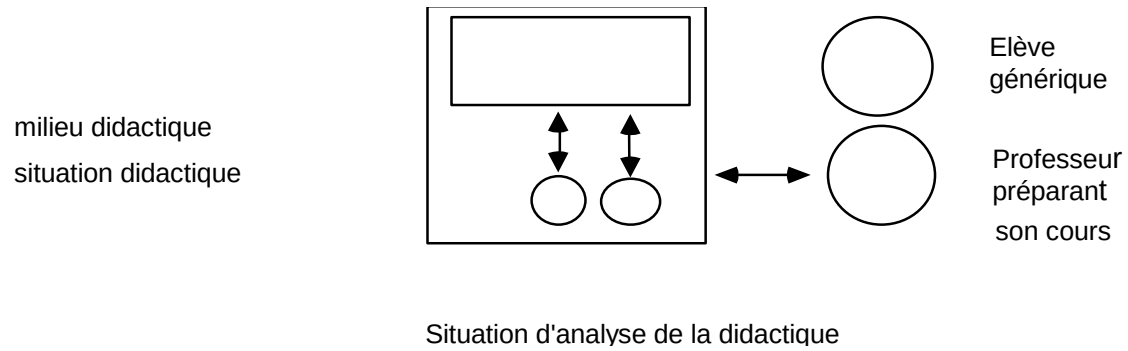


Figure 6 - La situation d'analyse de la didactique (Brousseau 1986)

Le milieu de la recherche en didactique

« Les rapports entre [l'élève générique] et [le milieu didactique] peuvent évidemment être pris comme objets d'étude, par les acteurs de la relation didactique, comme par

un observateur extérieur […]. La situation ainsi créée étant une situation d'analyse de la didactique. » (p. 62-63)

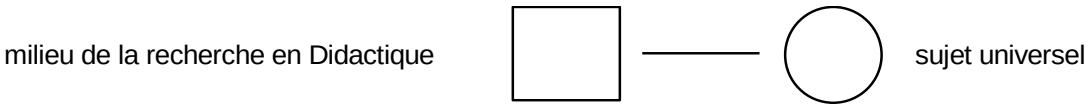


Figure 7 - Le milieu de la recherche en didactique (Brousseau 1986)

1.3 Modification du modèle

Dans ce paragraphe, je vais maintenant pouvoir montrer quelle modification j'ai fait subir au modèle de Brousseau. Tout d'abord, nous allons voir quels sont les circonstances et les motifs qui m'ont conduit à cette modification. Nous verrons ensuite comment j'ai modifié la forme du modèle, puis comment j'ai complété les niveaux des sous-système élève et professeur. J'évoquerai enfin les quelques impacts immédiats qu'a provoqué cet exposé du modèle en 1993 ([13], [14]).

Pourquoi modifier le modèle de Brousseau?

En 1986, lors de la 4ème école d'été de didactique des mathématiques (la deuxième école à laquelle j'ai moi-même assistée), Brousseau présente pour la première fois le schéma de la structuration du milieu, qui permet de rendre compte d'une décomposition du milieu en sous-systèmes.

Le modèle est si complexe et si nouveau que Brousseau doit faire un nouveau cours sur le même sujet pour la 5ème école d'été de 1989 (Brousseau 1990, partiellement repris dans Brousseau 1998 chapitre 5).

> « Trois ans après la quatrième école d'été, me voici conduit à exposer le même sujet (Brousseau 1986) devant le même auditoire. Je peux en inférer diverses conjectures : je dois reprendre ma copie parce qu'elle était mauvaise, elle n'était pas assez claire pour qu'on puisse l'utiliser, ou alors au contraire le nombre de travaux publiés sur ce sujet depuis cette date justifie un nouveau survey et je dois prendre acte de nouvelles orientations sur la question, ou encore je n'ai pas produit de nouveaux travaux plus intéressants depuis 1986.
> Toutes ces déclarations doivent être vraies à la fois : une revue rapide des publications portant sur le contrat didactique[13] montre la vitalité et l'importance de cette branche. Cependant, l'absence de reprise des modélisations en terme de jeux, non seulement dans les présentations théoriques, mais aussi pour le calcul de l'ingénierie didactique, est peut-être l'indice qu'il faut abandonner ce point de vue. De plus le système « milieu » est absent dans les textes de présentation de la relation didactique malgré la « démonstration » que j'avais cru fournir de sa nécessité. Ceci explique peut-être cela. » (Brousseau 1990, p.311)

[13] Brousseau cite ma thèse, soutenue quelques mois auparavant, parmi ces travaux,.

Cette complexité explique sans doute en partie la difficulté de sa diffusion. Mais de plus, s'il est expliqué à partir d'un problème « classique » de type « Pierre et Paule jouent aux billes », il a été peu utilisé par Brousseau et ses élèves pour analyser des situations ordinaires. Ce sont les modifications que j'ai fait subir au modèle, et son exposé en tant que technique qui ont permis sa diffusion ([14]). Plusieurs années de mon travail (1992-2000) ont été consacrées à son développement.

En 1992, deux circonstances ont aidé à ma prise en compte de ce modèle jusqu'alors très peu utilisé, sauf par des proches de Guy Brousseau dans la période (depuis 1986) (Julia Centeno, malheureusement disparue trop tôt, qui a été le plus loin dans le travail du modèle : Brousseau et Centeno 1991, Centeno 1995[14], René Berthelot et Marie-Hélène Salin thèse 1992, André Rouchier thèse d'état 1991, Pilar Orus Baguena thèse 1992) : j'ai du faire un cours sur le milieu pour l'I.R.E.M. de Clermont-Ferrand ; Heinz Steinbring m'a demandé de clarifier le concept de milieu, ce qui, étant donné ses exigences de rigueur, m'a finalement amené à transformer le modèle de Brousseau [13].

Le modèle, présenté dès 1986 par Guy Brousseau a été plus commenté que véritablement utilisé jusqu'en 1993. Dans la revue *Recherches en didactique des mathématiques*, on peut relever seulement deux articles qui évoquent le modèle de structuration du milieu: Margolinas 1992 et Perrin-Glorian 1993. Mais cette utilisation est malcommode, et comme le dit Perrin-Glorian:

> «La situation de rappel telle que nous l'envisageons se situerait clairement aux niveaux de la situation didactique et de la situation métadidactique dans la modélisation par systèmes emboîtés que donne Brousseau (1990) mais il nous faudrait complexifier le modèle […]» (p. 86)

Une des faiblesses du modèle réside dans les difficultés formelles qu'il suscite: Brousseau numérote les milieu et les sujets en interaction avec des milieux de 5 (milieu matériel, acteur objectif) à 0 (milieu de la recherche en didactique, sujet universel). Si l'on voulait étendre le modèle, alors il faudrait continuer la numérotation au delà de zéro, en utilisant des nombres négatifs, ce que donne alors à la situation ainsi codée zéro une signification particulière : celle d'origine, qui ne lui convient pas du point de vue des acteurs de la situation didactique, mais seulement du point de vue de la recherche.

Une autre faiblesse de ce modèle est qu'il est très précis en ce qui concerne les positions qui caractérisent le travail de l'élève (jusqu'à la situation d'enseignement ou la situation d'analyse de la

[14] Thèse posthume que j'ai éditée avec les annotations de Brousseau.

didactique), mais vague en ce qui concerne le professeur, qui n'est caractérisé que par ses actions institutionnelles (acteur, préparant son cours).

Les modifications que j'ai proposé avaient donc pour but : (1) de rendre ce modèle plus abordable au niveau formel, (2) de prendre en compte non seulement la situation de l'élève mais aussi celle du professeur. Ces modifications ont eu immédiatement un impact important, et sont maintenant reprise par l'ensemble des chercheurs qui travaillent dans le paradigme de la théorie des situations.

Premières modifications formelles

Dans ce modèle, comme dans celui de Brousseau, nous considérons les trois sous-systèmes fondamentaux : élève, professeur, milieu et leurs interactions. Une première modification formelle consiste à numéroter 0 le niveau de la situation didactique, considéré comme niveau de base[15].

Pour des raisons pratiques, j'ai utilisé une présentation en tableau qui rend immédiatement visibles les différents niveaux des trois sous-systèmes M, E, P. Cette représentation en tableau présente met bien en valeur les niveaux, mais elle présente l'inconvénient de ne plus représenter les relations d'inclusion entre les niveaux, qui sont les mêmes que celles envisagées par Brousseau : le milieu de niveau n+1 (Mn+1) englobe la situation de niveau n (Sn).

Si l'on reprend les qualificatifs utilisés par Brousseau 1986, on obtient le tableau 1qui ne diffère de l'original que par la forme et les indices.

M2: Milieu de la recherche en didactique	Sujet universel		
M1: Milieu didactique	Elève générique	Professeur préparant son cours	Situation d'analyse de la didactique
M0: Milieu d'apprentissage	Sujet "épistémologue"	Professeur acteur	Situation d'enseignement

[15] On a une fonction f(x) = -x+2 par rapport aux indices utilisés par Brousseau

M-1: Milieu de référence	Sujet épistémique résolveur de problèmes		Situation d'apprentissage adidactique
M-2: Milieu objectif	Acteur particulier de référence		Situation de référence
M-3: Milieu matériel	Acteur objectif		Situation objective

Tableau 1 - Transformation formelle du modèle de Brousseau

Etat actuel de la transformation formelle du modèle

Le modèle de Brousseau, sous cette forme, appelle quelques remarques qui vont conduire à des modifications:

- Les niveaux positifs ne sont pas symétriques par rapport aux niveaux négatifs. Pourtant, la situation dans laquelle se trouve l'enseignant pourrait être au moins aussi complexe que celle de l'élève. J'ai fait l'hypothèse qu'elle pouvait avoir une structure analogue à celle dans laquelle se trouve l'élève si l'on caractérise plus finement ses positions, notamment par rapport à la noosphère[16].

- Le sous-système élève apparaît dans les niveaux positifs (qui caractérisent plutôt les niveaux du professeur), alors que le sous-système professeur n'apparaît pas dans les niveaux négatifs. L'absence de niveau négatif pour le professeur correspondrait à l'idée d'une absence dans la situation adidactique, alors que ce retrait du maître n'est relatif qu'à son rapport public. Un niveau négatif pour le professeur prendrait en compte cette dimension d'observation durant le processus de dévolution.

- Le vocabulaire correspondant au sous-système élève varie: acteur, sujet; cette variation est encore plus importante si l'on prend en compte les articles successifs de Guy Brousseau. Le vocabulaire concernant le sous-système professeur n'est pas aussi concis que celui qui concerne l'élève, il faudrait rechercher des qualificatifs plutôt que de décrire des actions particulières. Je propose d'adopter la solution suivante: les mots désignant les personnes "élève" et "professeur" ne seront utilisés que dans le cadre *didactique*, dans les autres

[16] Ce point sera repris et argumenté dans le dernier chapitre de cette Note.

niveaux, les niveaux seront caractérisés par l'initiale des sous-systèmes correspondants: E, P, et par un qualificatif.

Le modèle formel auquel je parviens aujourd'hui est le suivant (Tableau 2).

M+3: M-Construction		P+3:P-Noosphérien	S+3: Situation noosphérienne	Niveaux surdidactiques
M+2: M-Projet		P+2:P-Constructeur	S+2: Situation de construction	
M+1: M-Didactique	E+1: E-Réflexif	P+1: P-Projeteur	S+1: Situation de projet	
M0: M-Apprentissage	**E0: Elève**	**P0: Professeur**	**S0: Situation didactique**	
M-1: M-Référence	E-1: E-Apprenant	P-1: P-Observateur	S-1: Situation adidactique d'apprentissage	Niveaux sousdidactiques[17]
M-2: M-Objectif	E-2: E-Agissant		S-2: Situation de référence	
M-3 : M-Matériel	E-3 : E-objectif		S-3 : Situation Objective	

Tableau 2 - La structuration du milieu

La suite de cette Note illustrera le fonctionnement de ce modèle de structuration du milieu.

Quelques impacts

Dès les premières versions de ce modèle (Colloque « Vingt ans de didactique des mathématiques en France, juin 1993 ; Séminaire national de didactique des mathématiques, octobre 1993), celui-ci a suscité de très nombreuses questions (on en trouvera quelques unes dans [14] pages 100-101) ; et on peut dire que c'est comme outil de questionnement que celui-ci est intéressant dans

[17] On verra par la suite pourquoi je ne conserve pas le nom de situations adidactiques ici

un premier temps. Il est toujours un puissant instrument heuristique, au moins autant qu'un modèle.

Par la suite, plusieurs chercheurs ont eu l'intuition que l'analyse fine que permet la structuration du milieu pourrait apporter des réponses aux questions qu'ils se posaient sur des situations particulières, et m'ont demandé d'appliquer le modèle à leur problème (en particulier Claude Comiti et Denise Grenier [16], Marc Legrand [34]), ce qui a effectivement produit des résultats importants, que nous examinerons plus loin.

D'autres chercheurs se sont ensuite emparés de cette modélisation pour produire de nouveaux résultats (en particulier dans Noirfalise 1998 : Marie-Jeanne Perrin-Glorian (équipe Didirem, Paris), Lalina Coulange et Annie Bessot (Equipe Leibniz, Grenoble), et pour proposer de nouvelles évolutions Perrin-Glorian 1999, Bloch 1999.

Je n'ai pas cessé pour ma part d'apporter des modifications au modèle de départ, et de produire des résultats à l'aide des outils ainsi forgés.

2 Eléments de technique d'analyse de la structuration du milieu

L'analyse des situations en classe ordinaire pose des problèmes méthodologiques spécifiques, dont la résolution rejaillit en fait sur l'ensemble de la méthodologie d'analyse des situations de classe, y compris dans le cadre de l'ingénierie. Un détour méthodologique me paraît nécessaire avant d'aborder la structuration du milieu comme une technique d'analyse (§2.1).

Si la structuration du milieu est une technique intéressante, c'est parce qu'elle va nous permettre de construire ce que j'appelle « le point de vue » des acteurs de la situation didactique : élève et professeur. C'est le point de vue de l'élève que je développerai ici, réservant le chapitre suivant au point de vue du professeur. Je m'appuierai sur une situation assez simple issue d'une ingénierie de Brousseau (la situation du « puzzle », que nous avons déjà rencontrée au chapitre 1) pour montrer la mise en oeuvre de la technique de l'analyse ascendante (§2.2).

2.1 Analyses a priori, analyses a posteriori, analyse préalable,

Dans une première approche (je reviendrai sur ce point), on peut dire que *l'analyse a priori* est une analyse théorique qui ne dépend pas des faits d'expérience (de la contingence). Il y a autant d'analyses a priori que de techniques à la disposition des chercheurs. *L'analyse a posteriori* est une analyse qui place les faits contingents dans le cadre créé par l'analyse a priori.

Dans le cadre d'une science expérimentale, analyses a priori et a posteriori correspondent aux temps avant et après expérience, l'analyse a priori permettant de programmer une expérience pour tester des hypothèses et l'analyse a posteriori décrivant les résultats de l'expérience vis-à-vis de ces hypothèses. Il s'agit d'un modèle très simpliste, qui ne s'applique sans doute d'ailleurs exactement à aucune science, même « exacte ». Dans le domaine des sciences humaines en général, des sciences de l'éducation et dans le cadre de la didactique en particulier, un tel modèle est presque toujours inopérant.

Dans l'observation de classe ordinaire, l'analyse préalable est très rarement possible. On doit d'abord en quelque sorte « préparer » l'analyse a priori. Dans le chapitre précédent, pour élément de l'observation, j'ai extrait le texte d'un problème posé, ou un énoncé oral. A chaque question posée, j'ai associé une phase de conclusion. Ces séquences (question/conclusion) déterminent des épisodes, plus ou moins longs, plus ou moins emboîtés. Ce premier tri me permet de repérer les épisodes les plus longs, ou les plus « significatifs ». Il est alors possible de passer à la phase d'analyse a priori, pour un épisode donné, déterminé par l'étude d'une question donnée. L'analyse a priori n'est donc pas indépendante des faits d'expériences, puisqu'elle s'appuie sur l'observation, mais elle est une analyse des stratégies et des décisions possibles, qui permet de déterminer des observables.

L'analyse de la structuration du milieu va nous fournir une technique d'analyse a priori des situations ainsi préparées par le découpage des phases de conclusion. Le fait de disposer d'une technique didactique visible me semble très important [6] : ce sont souvent des champs connexes aux didactiques qui fournissent des techniques, ce qui diminue la visibilité des didactiques et limite l'interaction dans les deux sens entre la didactique et les différents champ des sciences de l'éducation.

2.2 Analyse ascendante d'une situation didactique

Pour comprendre cette modélisation, on peut imaginer un élève qui entre dans le problème posé en prenant en compte des aspects de plus en plus complexes (même s'il ne s'agit pas d'un modèle temporel, il est plus simple de l'envisager de cette manière dans un premier temps). Il s'agit d'essayer de reconstituer et de comprendre la complexité de la situation de l'élève qui découvre et résout un problème. Avec les notations que j'ai introduites, cette construction consiste à déterminer d'abord les niveaux –3 puis –2, jusqu'à 0 +1, et c'est pourquoi je l'appelle analyse

ascendante. Cette analyse permet de construire ce que j'appelle le *point de vue de l'élève*[18]. Le chercheur en didactique a en effet besoin de techniques qui lui permette de se détacher du projet du professeur (ou du manuel), pour envisager ce que le problème génère effectivement comme situation pour l'élève. C'est pour permettre ce pas de côté que l'analyse ascendante de la situation didactique est intéressante.

La présentation d'une technique est toujours difficile, chaque exemple d'usage étant particulier, ce qui pose le problème de son exposé. Appliquer la technique de la structuration du milieu à des situations adidactiques construites dans les ingénieries de Brousseau nous entraîne à l'analyse d'une situation complexe, qui ne correspond pas à un seul problème posé à l'élève, mais à une succession de situations engendrées par un jeu de variables[19]. Choisir un problème posé dans une observation ordinaire conduit le plus souvent à des résultats complexes que l'on envisagera par la suite. Quand on choisit un exemple trop simple, le lecteur peut douter de l'intérêt de la technique… J'ai donc choisi de présenter la technique d'analyse de la structuration du milieu sur la situation du puzzle, déjà utilisée comme exemple au chapitre précédent, car elle apparaît comme une situation relativement isolée[20] et ne se décline pas par un jeu de variables dans l'ingénierie des rationnels et décimaux.

La situation objective S-3

La clé de cette première étape est de considérer que la situation objective *n'est pas finalisée.* E-3 est un acteur qui, comme dans le problème « Pierre et Paule jouent aux billes… » représente un personnage (Pierre, ou Paule) à qui aucun problème à résoudre n'a été donné. Pour que E-3 puisse être investi par l'élève, il faut bien sûr des connaissances, qui ne sont pas nécessairement mathématiques, mais qui sont nécessaires pour l'interprétation de l'énoncé et l'entrée dans le problème. La consigne est ainsi interprétée partiellement : « Voici des puzzles. Vous allez en fabriquer […] »

M-3 : carton (découpé et entier) et matériel de découpe de formes géométriques simples
Situation S-3 : E-3 reconstitue et fabrique des puzzles simples

Les connaissances associées sont celles qui sont nécessaires à un sujet qui réalise l'action de E-3, ici, par exemple, « les pièces d'un puzzle s'emboîtent ». Pour que la dévolution de la situation soit

[18] Point de vue de l'élève générique, et non pas point de vue d'un élève en particulier, comme on le verra par la suite.

[19] Par exemple, si on veut analyser la structuration du milieu pour la course à 20, on n'analysera pas seulement le jeu individuel, mais l'ensemble des jeux y compris celui de la découverte des théorèmes.

[20] Il s'agit de la première activité du module 8 (similitudes) qui en comprend cinq, mais elle a souvent été étudiée isolément.

possible, il est nécessaire que la situation et les connaissances objectives soient *naturalisées* pour l'élève. Un élève qui ne peut imaginer pas qu'on puisse reconstruire et découper les pièces d'un puzzle ne peut pas interpréter la consigne du problème posé.

Le fait que la matériel soit présent (c'est le cas ici) n'est pas nécessaire à la description de la situation objective. Dans le problème « Pierre et Paule jouent aux billes… » les billes et le jeu de bille, bien qu'évoqués, dont partie du milieu matériel.

La situation S-2

Le milieu M-2 inclut la situation S-3 que nous venons de déterminer, c'est le principe de la structuration du milieu. Brousseau n'indique pas, au delà de la relation d'inclusion, ce qui constitue effectivement le milieu de la situation suivante. Je considère que l'interaction sujet-milieu de la situation S-3 définit des connaissances (le plus souvent implicites) stables et contextualisées au problème posé, des « objets-connaissances » en quelque sorte, qui constituent le milieu M-2.

M-2 : puzzle, pièces de puzzle

Le fait de parler maintenant de « pièces de puzzle » cristallise les connaissances (emboîtement possible des pièces, notamment) : il s'agit d'un puzzle et non pas seulement de pièces en carton.

Dans la situation S-2, une finalité du problème s'introduit. S-2 est une situation d'action, M-2 est à la fois l'objet de l'action de E-2 et la source de rétroaction.

E-2 compare un puzzle agrandi et un puzzle origine

L'action sur M-2 est maintenant finalisée, l'interaction avec M-2 doit fournir les éléments qui permettront de fonder une prise en compte de l'ensemble du problème dans la situation supérieure. Tout se passe comme si on découvrait une nouvelle partie de l'énoncé : « [vous allez en fabriquer] de semblables, plus grands que les modèles ». L'interaction de M-2 avec S-2 constitue des connaissances sur la « similitude » d'un puzzle agrandi par rapport à un puzzle de départ. Cette transformation n'est pas productrice de connaissances associées à un nouveau savoir, mais elle actualise dans le contexte de cette situation particulière les connaissances qui vont servir de critères de validité. Il s'agit de connaissances implicites (S-2 est une situation d'action) : le puzzle agrandi doit occuper une place de même forme que le puzzle origine (ici un carré), les pièces du puzzle agrandi ont la même forme (les mêmes angles, le même nombre de côtés) que celles du puzzle origine.

La situation S-1

La situation S-1 est une situation d'apprentissage, elle comprend des composantes d'anticipation, de formulation et de validation. La prise en compte de l'énoncé complet permet une rétroaction complexe du milieu, qui comprend les connaissances précédentes :

M-1 : forme des pièces du puzzle agrandi, forme totale du puzzle agrandi (carré)

Il faut maintenant prendre en compte le respect de la règle « le segment qui mesure 4 centimètre sur le modèle devra mesurer 7 centimètres sur votre reproduction ».

E-1 construit des pièces du puzzle agrandi puis les insère dans le puzzle agrandi complet

Dans cette situation, certaines connaissances vont se trouver en conflit : la consigne « agrandir » pouvant être interprétée par l'élève comme quelque chose que l'on doit « ajouter » à la pièce, ce qui peut conduire à une procédure additive « ajouter 3 centimètres ». Les pièces du puzzle ont toutes suffisamment de côtés perpendiculaires pour construire les pièces en utilisant uniquement la règle et l'équerre, chaque élève peut donc construire une pièce en ajoutant 3 centimètres aux côtés deux à deux perpendiculaires.

Puisque chaque élève construit une pièce du puzzle, c'est seulement dans le groupe que va intervenir l'insertion de chaque pièce dans le puzzle agrandi. Les connaissances intégrées dans le milieu concernant la forme des pièces représentent donc un premier niveau de validation, éprouvé au niveau individuel, mais c'est la (non) reconstruction du puzzle complet, basée sur les critères de validités issus de la situation de référence (S-2), qui permet la rétroaction.

La situation S0

Dans la situation didactique S0, se rencontrent les intentions d'enseigner et d'apprendre du professeur et de l'élève dans le contrat didactique. Les phases d'institutionnalisation et de conclusion y réunissent et actualisent les points de vue de l'élève et du professeur. C'est la dimension publique du travail de l'élève et du professeur.

M0 : échec de la construction des pièces par les stratégies mises en oeuvre
E0 rend compte de l'échec des stratégies mises en oeuvre P0 entérine cet échec et annonce l'étude d'un « bon moyen » dans une leçon future

La mise en commun de l'échec des stratégies additives permet de considérer celles-ci comme une classe de stratégies et non pas comme des essais individuels, le professeur peut alors confirmer qu'il ne s'agit pas d'un échec contingent mais de l'impossibilité de construire le puzzle agrandi de cette manière.

La situation S+1

La situation surdidactique suivante comprend une position de l'élève (E+1), qui considère avec un certain recul ce qu'il a pu apprendre dans la situation didactique. Il ne s'agit pas de 'l'élève générique' que Brousseau envisage dans ce niveau, l'élève générique est celui auquel s'adresse le professeur, quand il prépare son cours, c'est donc du point de vue du professeur que ce qualificatif serait approprié. Dans le modèle que je propose, il s'agit d'une position « méta »[21] dont l'importance a été montrée par Robert et Robinet 1996. Dans le cadre de la structuration du milieu, il s'agit d'un niveau dans lequel l'élève se projette dans les intentions du professeur et l'avancée du temps didactique.

> *M+1 : échec de la construction des pièces par une classe de stratégies*
> E+1 s'interroge sur les raisons de cet échec, il connaît maintenant son ignorance d'une bonne stratégie pour l'agrandissement des pièces du puzzle.

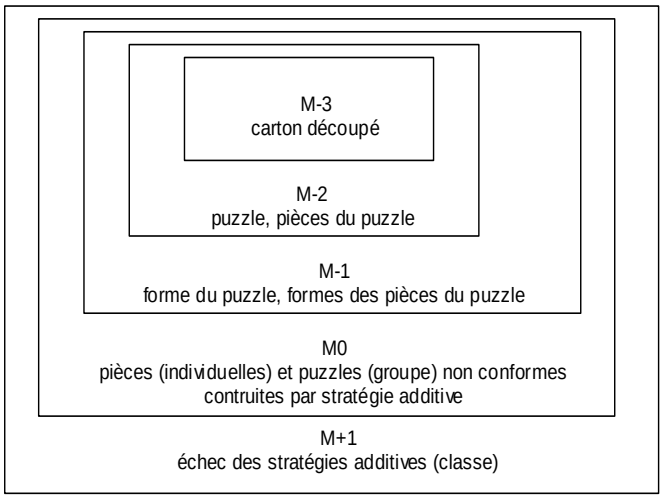


Figure 8 - Structuration du milieu de la situation « puzzle »

Conclusions de cette analyse

L'analyse de cette situation montre que le milieu n'est pas un milieu « matériel » mais bien une construction, qui suppose des connaissances, même implicites. C'est parce que des connaissances sur le puzzle et les formes de pièces agrandies sont présentes dans la situation que l'élève peut éprouver la non conformité des pièces produites par la stratégie additive. Par contre, c'est seulement dans la situation didactique S0 que cet échec, qui n'est pour l'instant que l'échec d'un élève ou d'un groupe, va être considéré collectivement comme un échec certain, même si l'on

[21] Dans la structuration du milieu, chaque niveau est méta par rapport à celui qui le précède, le caractère réflexif de chaque situation par rapport à la précédente étant l'essence même de ce modèle, et c'est pourquoi je n'ai pas choisi de réserver ce terme à cette situation spécifique.

n'en connaît pas encore la nécessité. C'est ce saut qualitatif qui insère la situation didactique dans le processus d'institutionnalisation.

Nous disposons ainsi d'une description précise, qui permet de mettre en valeur certaines conditions de viabilité de cette situation. Par exemple, il faut pouvoir s'appuyer sur des connaissances, construites souvent socialement, sur les puzzles et les agrandissements. Sans modifier l'adidacticité de la situation, le professeur peut rappeler certaines propriétés, par exemple « le puzzle qu'on va construire, il va être plus grand ou plus petit que celui de départ ? ». Si l'on étudie des réalisations de cette situation enregistrées au COREM , on peut vérifier que ces interventions du professeur existent bien, et qu'elles font partie de ce que le professeur *dit* pendant les phases dont l'analyse permet de dire qu'elles peuvent être adidactiques. Si l'on voulait transmettre cette situation à des professeurs hors d'un cadre expérimental, on pourrait s'appuyer sur cette description parce qu'elle permet de préciser ce que peut ou doit faire le professeur, et pas seulement de ce qu'il ne doit pas faire.

3 Un nouveau prolongement : bifurcations dans les situations didactiques

J'ai choisi la situation du puzzle pour la simplicité de son analyse. Mais ce que l'étude de la structuration du milieu a permis de montrer c'est que la structure des situations n'est pas toujours un simple emboîtement. J'ai rencontré à plusieurs reprises ([13], [16], [23]) des situations plus complexes, qui présentent ce que j'appellerai ici des bifurcations.

Dans ce paragraphe, je partirai de la situation qui m'a fait comprendre pour la première fois la complexité des situations didactiques, celle du problème du « carré de -1 », qui a conduit à l'idée de *dédoublement d'une situation didactique* (§3.1) Au cours de mes travaux ultérieur, j'ai compris que le phénomène de dédoublement étant en fait le représentant d'une catégorie plus vaste de structure de situation que j'ai appelé *bifurcations didactiques* (§3.2), et que je présenterai ici sur l'exemple du carré de -1.

3.1 Michaël et le carré négatif

La situation que je vais présenter maintenant m'a été proposée en 1993 par Claude Comiti et Denise Grenier. Grâce aux outils d'analyse qu'elles avaient élaborés (notamment celui de résonance d'un épisode), elles savaient que le professeur avait éprouvé une difficulté singulière dans cette leçon, mais sans pouvoir en expliquer les raisons.

L'observation a lieu dans une classe de 3e, en 1992. Il s'agit de la première leçon d'introduction des racines carrées. La professeure observée est expérimentée, les habitudes de travail dans la classe sont bien installées. Elle pose plusieurs questions oralement[22] auxquelles les élèves doivent « essayer de répondre personnellement » et annonce « ensuite on échange là-dessus ». Dans sa préparation, le traitement de ces questions doit aller très vite, et c'est notamment le ralentissement important de la situation qui avait été repéré par Comiti et Grenier. Je ne reprendrai ici que les résultats de l'analyse de la première question : « Peut-on trouver des nombres dont le carré est moins un ? ».

Le milieu matériel qui apparaît le plus immédiatement, et qui permet l'entrée dans les données du problème comprend « les nombres » et « les carrés des nombres », les nombres envisagés peuvent être simplement les entiers relatifs, ou un ensemble plus grand de nombres relatifs (décimaux, rationnels ou réels). D'après les programmes scolaires, la notion de carré d'un nombre relatif est étudiée antérieurement (dans le programme en vigueur au moment de l'observation) depuis la classe de 5e.

Sans détailler l'analyse, en appliquant la technique de structuration du milieu, on obtient :

- M-3 nombres relatifs, multiplication des relatifs, définition du carré (nombre multiplié par lui-même)
  E-3 associe un nombre et son carré
- M-2 couples (nombre ; carré de ce nombre)
  E-2 recherche un couple dans lequel le deuxième terme (carré) est moins un
- M-1 résultat infructueux de la recherche (nombre ; carré de ce nombre égal à moins un)
  E-1 cherche une formulation du résultat de sa recherche et une raison de cette réponse
- M0 résultats et réponses de l'ensemble des élèves
  E0 énonce des preuves du résultats trouvé que P0 entérine ou précise (une preuve par exhaustion des cas possible est disponible)
- M+1 preuve de l'impossibilité de trouver un nombre dont le carré est moins un
  E+1 peut s'interroger sur la généralisation de cette preuve à tous les nombre négatifs, ou sur les propriétés des carrés

C'est bien entendu ce que le professeur attend. Les réponses des élèves peuvent être plus ou moins élaborées : « je ne l'ai pas trouvé », « c'est impossible », « impossible car un carré est toujours positif », d'autant qu'il n'y a pas de rétroaction possible du milieu matériel pour valider

[22] Voici ce que dit le profeseur au tout début de la leçon (intervention 2) : « première question/ peut-on trouver des nombres dont le carré est moins un//deuxième question/deux nombres différents/alors/commencez déjà à réfléchir à la première question/et notez déjà quelque chose sur votre cahier/peuvent-ils avoir le même carré/réfléchir à la question sans déjà y répondre/mais y réfléchir//troisième question/les nombres que je vais donner/est-ce que ce sont des carrés de nombres entiers/et il faudra justifier/voilà/je note tout au tableau//vous répondez ». Au tableau, le professeur écrit les nombres 40 ; 9 ; -16 ; 0 ; 25/4 ; 1 ; 400 ; 10^5 ; 121 ; 0,004 ; 9^{10}.

ces propositions, mais leur convergence permet de prévoir une situation didactique en forme de phase de bilan collectif rapide.

Dans la classe observée, voici un résumé de l'épisode correspondant au bilan de cette question (le protocole complet se trouve dans [16] pages 114-127).

> La professeure interroge les élèves collectivement, la classe est partagée sur la réponse à donner (oui, non, 1/3 des élèves ne se prononcent pas). La première élève qui donne sa réponse publiquement est Stéphanie, qui produit une réponse attendue : « Non, parce que le carré d'un nombre est toujours positif », d'autres élèvent abondent dans le sens de Stéphanie. Mais la professeure interroge alors « les élèves qui ont répondus oui tout à l'heure » pour savoir s'ils sont « déjà convaincus par Stéphanie ». Voici l'intégralité de l'épisode qui s'en suit (transcription établie par Comiti et Grenier) :
> 24 Michaël : Et bien non ! Si on prend le carré négatif…
> 25 P : Michaël. Si tu prends le carré… qu'est ce que tu veux dire, le carré négatif, le carré d'un nombre négatif… ? Est-ce qu'il peut finir son explication ? On écoute Michaël.
> 26 Michaël : On prend un, on met moins…
> 27-P : On prend un, alors comment je l'écris, je met moins un… *P écrit* $(-1)^2$ et alors ça fait quoi ? Ça fait un.
> 28 Michaël : Non
> 29 P : Alors, viens nous l'écrire
> 30 *Michaël va au tableau et écrit :* $-(1)^2=-1$
> L'épisode se poursuit avec difficulté, aucun argument décisif ne venant rejeter la proposition de Michaël. Mohammed, par exemple, dira que « ça n'a rien à voir [avec la question posée] » mais la raison « parce que là [$(-1)^2$] on a moins un entre parenthèse » est faible. Finalement, le professeur acceptera (tour de parole 67-69) la réponse de Lise (identique à celle de Stéphanie, 40 tours de paroles plus tôt) « Le carré d'un nombre négatif est toujours positif », mais la perturbation apportée par Michaël est durable, jusqu'à la fin de la séance.

Dans l'analyse du problème telle que je l'ai décrite ci-dessus, la réponse de Michaël, mais aussi la difficulté de Mohammed à la réfuter, ne sont pas prévue par l'analyse a priori, puisque la définition du carré comme nombre multiplié par lui-même a été considérée comme une connaissance naturalisée du milieu matériel. L'épisode ci-dessus montre que ce n'est pas le cas. Normalement, on aurait du assister à un blocage de la situation, des élèves incapables de s'engager dans une recherche pour laquelle manque une connaissance du milieu. Or, ce n'est pas ce qui est observé.

Il y a donc une autre façon d'interpréter le problème qui n'a pas été prévue : autre interprétation, et donc autre milieu matériel et autres connaissances naturalisées à la base de l'analyse ; en voici la clé :

- M'-3 nombres entiers (ou écritures entières), « signes » (parenthèses, signe moins, exposants), règles d'écriture

E-3 associe une écriture numérique et la même écriture numérique bien formée avec un exposant 2

La situation objective produit ainsi beaucoup plus de possibilités que précédemment, la seule contrainte étant que les expressions soient bien formées : par exemple, on obtient, associé à l'écriture 3, les écritures 3^2 ; $(3)^2$, pour l'écriture –5, les écritures $–(5)^2$, $(-5)^2$, $-(5^2)$, etc.

- M'-2 couples (écriture numérique ; même écriture et exposant 2)
  E-2 recherche un couple dans lequel le deuxième terme (carré) est moins un. La recherche se termine avec les couples (-1 ; $-(1)^2$) et (-1 ; $-(1^2)$) (au moins).
- Il n'y a pas de situation adidactique d'apprentissage (S-1)
- M'0 résultats et réponses de l'ensemble des élèves
  E0 énonce le résultat trouvé au problème posé par P0. Le problème pour P0 est de montrer que ce n'est pas le problème qu'il a posé.
- M'+1 conflit entre les interprétations de E1 et P1
  E+1 peut s'interroger sur les raisons de P1.

Le milieu matériel à la source de cette nouvelle situation est plus vraisemblable que le précédent, car les connaissances qu'il suppose sont plus anciennes et plus stables, la confusion nombre/écriture [30] est un obstacle épistémologique connu.

Dans l'article de [16], nous avons appelé ce phénomène « dédoublement de situation », avec la représentation suivante (figure 9)

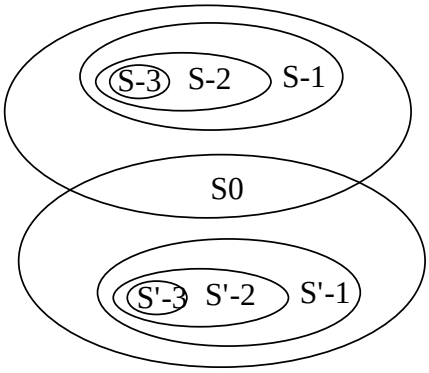


Figure 9 - Dédoublement de la situation du carré de -1

3.2 Une nouvelle modélisation : bifurcations de situation didactique

Dans l'article de 1995, nous n'avions pas eu conscience de découvrir un phénomène général, mais plutôt une particularité de la situation étudiée, qui permettait d'expliquer son dysfonctionnement, et c'est pourquoi nous l'avions appelé « dédoublement de situation didactique ».

Par la suite, la multiplicité des situations complexes rencontrées m'a conduit à penser qu'il s'agit d'un phénomène tout à fait général et non pas exceptionnel, dont les formes peuvent être beaucoup plus complexe que le dédoublement observé.

C'est pourquoi j'introduis ici une nouvelle représentation, qui permet de mieux percevoir le phénomène que je nomme plus généralement, non pas dédoublement mais *bifurcation* de situation didactique (voir figure 10).

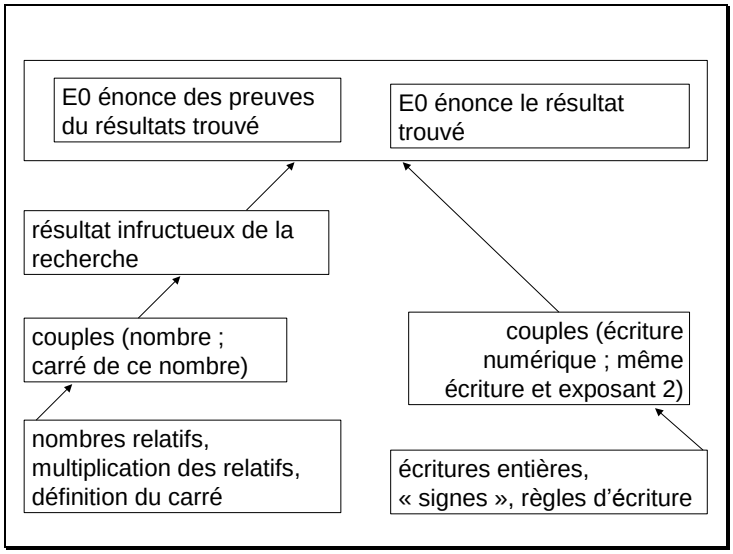


Figure 10 - Bifurcation de la situation du carré de -1

Ou encore, sous une forme plus schématique encore, qui ne fait apparaître aucun détail et seulement la structure de la situation (figure 11).

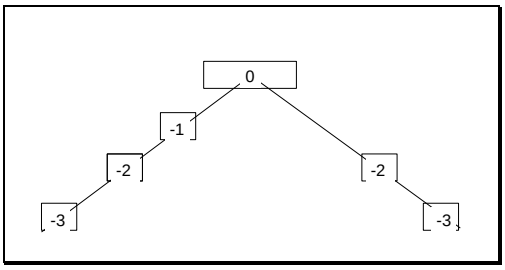


Figure 11 - Bifurcation schématique de la situation du carré de -1

Cette schématisation conduit à d'autres pistes de travail, elle fournit une nouvelle heuristique qui va permettre de questionner à nouveau la théorie de situations.

4 Modélisation des problèmes en classe ordinaire : des problèmes méthodologiques et théoriques

La théorie de situations est née dans une logique de construction de situation. L'essentiel de mon travail, depuis le début des années 90, m'a conduit à travailler cette théorie dans le cadre de l'observation des classes ordinaires. Il s'agit au départ d'un pari, que je crois nécessaire d'expliciter maintenant (§4.1). La conversion de la théorie des situations didactiques pour l'étude des classes ordinaires pose en retour des questions théoriques, notamment à la notion fondamentale de

situation adidactique. En effet, dans les problèmes ordinairement rencontrés, l'idonéïté de la situation et du savoir à enseigner n'est le plus souvent pas réalisé, notamment dans certaines branches des bifurcations didactiques. Doit-on pour autant parler de situation adidactique pour toutes les situations dans lesquelles l'élève a une certaine autonomie ? C'est en réponse à ce problème que je propose ici la notion de situation nildidactique (§4.2). L'analyse en terme de bifurcation introduit plusieurs situations dans la classe à partir du même problème posé, il n'est donc plus possible de considérer l'élève seulement d'une façon générique, puisque s'introduit ici au moins plusieurs élèves génériques. Comment doit-on alors parler, pour un élève singulier, du rapport entre l'élève et la situation ? C'est pour répondre à ce problème que je dirai qu'un élève *investit* une situation (§4.3). Dans le chapitre 1, j'ai décrit le professeur devant une alternative dans la phase de conclusion, nous verrons ici que l'élève est devant une alternative similaire en situation, que la notion de situation nildidactique permet de révéler (§4.4).

4.1 Construction et reconstruction de situation

Dans la construction de situation, le chercheur assume à la fois le mode de construction et l'intention d'enseigner. Dans les classes ordinaires, l'intention d'enseigner est assumée par le professeur, un des problèmes étant de comprendre ce que l'élève a l'occasion d'y apprendre, quelle que soit l'intention de départ. Il s'agit donc de *reconstruire* la situation effectivement proposée à l'élève.

Dans le cas l'ingénierie, le savoir à enseigner est donné au départ, et la situation de classe en découle. Dans le cas des classes ordinaires, la situation de classe est donnée au chercheur au départ, et il doit identifier les connaissances construites et les savoirs correspondants. Mon pari a donc été d'utiliser le même cadre théorique dans les deux cas, en le faisant évoluer. Les résultats obtenus depuis quinze ans montrant à mon avis l'intérêt de celui-ci, et non pas sa légitimité, qui est une autre question.

Reprenons le concept fondateur de la théorie de situations. La situation adidactique a été conçue comme l'adaptation à une situation didactique d'une situation non didactique fondamentale pour un savoir à enseigner. Réciproquement, dans une situation didactique effective, j'appelle situation adidactique l'image d'une situation non didactique fondamentale d'un savoir non encore institué. Le savoir ainsi 'en jeu' dans une situation adidactique est identifié a posteriori, il n'est pas toujours identique au savoir que le professeur a l'intention d'enseigner. Cette définition permet de garder un sens fort au concept de situation adidactique, qui me semble refléter le sens donné au qualificatif 'adidactique' dans les écrits qui développent la théorie des situations.

4.2 Situation nildidactique

Dans le cadre de situations ordinaires, l'élève rencontre de nombreuses questions qu'il sait déjà résoudre, il arrive d'ailleurs que les activités proposées aux élèves ne mettent en jeu que des savoirs très anciennement institués. De telles situations peuvent avoir une légitimité didactique, car l'actualisation de savoirs institués peut être nécessaire pour constituer le milieu d'une nouvelle situation, ou bien toutes les fois que l'on s'intéresse non pas au résultat cognitif que met en jeu la résolution d'une question, mais à la réponse elle-même. On remarque que l'élève peut avoir une part d'autonomie dans ces situations, d'autant plus grande qu'elles ne déstabilisent pas de connaissance.

Dans le modèle que je propose, ces situations ne mettent en jeu que deux niveaux de la structuration du milieu : le niveau -3, dans lequel l'interaction avec le milieu n'implique que des connaissances naturalisées, le niveau -2, dans lequel l'interaction avec le milieu n'implique que des connaissances stables, réactualisées par la situation. Dans la définition que j'ai donné de situation adidactique, un critère n'est pas rempli ici, l'existence d'un savoir non encore institué. C'est pourquoi je ne considère pas ces situations comme adidactiques.

Pourtant, elles jouent un rôle particulier dans l'équilibre du contrat didactique, notamment parce qu'elles permettent une part d'autonomie de l'élève sans faire la dévolution d'une situation adidactique. On verra de plus au chapitre suivant qu'elles peuvent jouer un rôle dans les ruptures de contrat et les malentendus entre professeur et élèves. C'est pour cela que je pense que nous avons besoin d'une façon de nommer ces situations.

J'appelle *situation nildidactique*[23] une telle situation, qui se caractérise par l'absence de niveau -1 dans la structuration du milieu : dans laquelle l'interaction avec le milieu met en jeu uniquement des savoirs institués, naturalisés ou stables.

Le coeur de toute situation adidactique est une situation nildidactique (figure 12).

[23] Merci à Jean Stratonovitch me m'avoir proposé ce qualificatif !

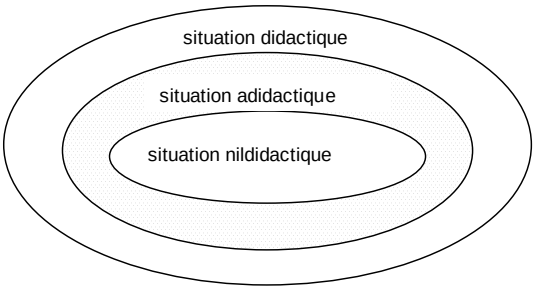


Figure 12 - Inclusion des situations didactique adidactique nildidactique

Avant de poursuivre ce développement, il est nécessaire d'envisager une façon nouvelle de considérer le travail de l'élève en situation.

4.3 L'élève et la situation

L'analyse des situations didactiques en terme de bifurcations introduit des possibilités différentes pour des élèves dans une même classe. Elle introduit donc une différence entre les élèves en terme même de situation. Je ne dirai pas que l'élève a le choix, car cela impliquerait qu'il ait conscience des différentes possibilités. Il faut donc trouver un terme qui convient pour caractériser ce qui se produit entre un élève donné et une des situations générées par le problème posé par le professeur.

En suivant la lecture de Dewey de Elisabeth Chatel (2002), on pourrait dire que l'élève « a » une situation :

> « L'action ne saurait donc être décrite comme le résultat d'un calcul pour atteindre des fins qui *a priori* seraient claires. Elle n'a de sens et ne se produit qu'en relation à un tout organisé. Toute expérience a lieu en connexion à un tout qu'on peut nommer situation. La situation n'est donc pas une entité qu'on pourrait caractériser a priori par un découpage du monde ou par des variables. Elle se présente quand nous agissons, elle est « eue » précise Dewey [en note : Insistons sur le verbe avoir. La situation n'est pas là devant nous, nous ne *sommes* pas non plus dedans, nous *l'avons.*]. Entrent dans la situation tous les éléments qui se sont révélés pertinents dans la conduite et la résolution de l'enquête que le caractère vague, indéterminé de la situation au départ occasionne. La situation est « eue » au sens où elle contient l'être agissant et contient de ce fait la façon dont il peut socialement percevoir, saisir, penser les choses dans lesquelles il est engagé. » (page 39)

Comme le montre la citation, ce vocabulaire ne peut pas vraiment nous convenir, puisque je pense tout au contraire que la situation peut se caractériser, au moins en partie, par un découpage du monde et des variables, elle n'est pas toute entière créée par le sujet qui « l'a ». Pourtant,

plusieurs pistes sont intéressantes : la situation contient bien, au moins en partie, l'être agissant, et la façon dont il peut penser les choses dans lesquelles il est engagé. Entre l'analyse de Chatel et la mienne, la différence me semble être que je ne cherche pas une modélisation qui ne chercherait à faire entrer toute la dimension pragmatique de l'interaction, mais seulement la dimension didactique. Le sujet n'est pas considéré dans toutes ses dimensions, il est modélisé par ses connaissances.

Pour résoudre cette difficulté, je dirai que l'élève *investit* une situation. Ce terme me semble prendre en compte la dimension non consciente de l'activité aussi bien qu'un engagement pour l'action.

4.4 Alternatives pour l'élève en situation

L'inclusion d'une situation nildidactique dans toute situation adidactique nous permet de révéler une alternative pour l'élève en situation didactique.

Quand un élève a investi une branche nildidactique d'une situation, il n'a pas l'occasion de rencontrer des savoirs nouveaux, parce que la situation nildidactique ne lui offre pas cette possibilité. Il n'a pas d'alternative.

Par contre, quand un élève a investi une branche adidactique d'une situation, il doit nécessairement investir d'abord la situation nildidactique, qui sert de milieu pour la situation adidactique d'apprentissage. Mais il est possible qu'il considère que son travail d'élève soit seulement de s'engager dans le problème posé par le professeur, dans ce cas il n'investira que la part nildidactique, sans se confronter personnellement à la situation adidactique.

5 Conclusion

Si je prends maintenant un peu de recul sur le travail accompli en ce qui concerne la structuration du milieu, tel qu'il est envisagé dans ce chapitre, j'aurai envie de dire qu'à l'inverse du chapitre précédent, à partir d'un travail théorique dont l'ambition était de mieux inclure le professeur dans l'analyse des situations, les résultats obtenus permettent maintenant d'envisager tout autrement la situation de l'élève, et de construire un point de vue de l'élève.

Si ce parcours a été possible, c'est parce que les modèles des milieux que j'ai introduis, sous les deux formes : tableau et bifurcations, produisent une *heuristique* puissante, qui donne des pistes de travail et produisent des questions sur l'analyse des situations. C'est d'ailleurs plus comme heuristique qu'il faut les envisager que comme des modèles rigides. Par exemple, « que signifierai

un niveau E+2 ou E+3 ? » n'est pas réglé par la négative dans le modèle (même si je ne fais pas figurer cette position), cette question, et bien d'autres, doit être vue comme une piste qui permettrai peut-être d'envisager autrement le travail de l'élève.

D'autre part, la structuration du milieu produit une *technique*, dont la maîtrise n'est pas très facile, il est vrai, mais qui peut se transmettre (et qui a d'ailleurs diffusé dans la communauté francophone de recherche en didactique des mathématiques). Une technique est un élément visible du travail d'un paradigme, qui peut donc en tant que tel être proposé à l'usage et à la conversion dans d'autres paradigmes, qu'il s'agisse d'autres champs des didactiques ou plus largement du champ des sciences de l'éducation [6]. Dans le parcours qui me conduit à proposer mon travail en sciences de l'éducation, comme un apport à cette discipline, la mise au point de techniques d'analyse joue un grand rôle : chaque chercheur d'une discipline aussi vaste ne peut connaître toutes les théories disponibles, mais il peut extraire des techniques dont l'usage lui permettra d'avancer dans son propre paradigme. Plus encore que les résultats, toujours difficiles à interpréter hors des cadres qui les ont produits, la technique joue le rôle de moyen d'échange et à terme de rapprochement de problématiques.

Les nouveaux concepts que j'ai introduits (bifurcation didactique, situation nildidactique) dans cette Note représentent un apport spécifique à la théorie des situations, pour l'étude des problèmes usuels. D'une certaine manière, ils permettent un renversement de l'analyse didactique. Comme je l'ai dit au chapitre précédent, la didactique est née comme épistémologie expérimentale, avec l'ingénierie comme phénoménotechnique. La direction de travail du chercheur était alors de partir du savoir pour aller vers la situation et sa proposition à l'élève. La technique de l'analyse ascendante de la structuration du milieu permet au chercheur d'adopter le mouvement inverse : partir du problème donné et remonter vers le savoir et questionner l'idonéïté au savoir à enseigner. Les chercheurs, qui pour l'instant se trouvaient dans une position assez similaire à celle du professeur, ou du « super professeur », qui construirait tout son enseignement en partant uniquement du savoir à enseigner, peuvent maintenant adopter une position assez similaire à celle de l'élève, qui reçoit une situation sans avoir participé à sa construction.

Ce renversement permet d'envisager *plusieurs* élèves génériques et non pas un seul, ce qui ouvre la voir à l'étude des différenciations *didactiques*. L'élève *investit* une situation plutôt qu'une autre, suivant des déterminations qui sont maintenant ouvertes à l'étude, et dont certaines ne sont sans doute pas didactiques. Même quand le professeur cherche à faire la dévolution d'une situation

adidactique, l'élève peut n'investir que la part nildidactique. Le champ d'investigation qui s'ouvre ainsi appelle une coopération, à l'intérieur des sciences de l'éducation, entre les didactiques et la sociologie de l'éducation.

Ce nouveau point de vue rend nécessaire un retour sur l'épistémologie de la didactique des mathématiques. Tant que nous étions tournés essentiellement vers l'ingénierie, il a été possible de s'inspirer très largement de celle des sciences expérimentales, au moins avec les spécialités les plus complexes du point de vue méthodologique (comme la biologie évolutionniste (Mayr 1989), voir [1]. Avec l'étude des situations ordinaires, l'épistémologie de notre discipline doit se modifier considérablement, et se rapprocher décidément de celles des sciences humaines et sociales. Les techniques de structuration du milieu que j'ai développées incluent explicitement dans le milieu, et donc dans la situation, des savoirs institués antérieurement. L'analyse a priori de la situation suppose donc que le chercheur puisse faire des hypothèses sur ces savoirs et leur caractère plus ou moins naturalisé. L'indépendance avec les faits d'expérience est alors à interroger, elle est plus complexe que ce qui était envisagé dans une époque antérieure de nos travaux. Dans l'analyse des situations ordinaires, une autre question méthodologique se pose : les problèmes posés aux élèves ne sont pas entièrement déterminés avant la séance. Même si la question principale est prévue à l'avance par le professeur, certaines interventions du professeur (des indications de résolution, par exemple, ou bien des allusions à d'autres contextes) peuvent modifier profondément la situation de l'élève. Une analyse préalable à la leçon est donc le plus souvent impossible et même l'analyse a priori du problème posé doit intégrer des éléments contingents à une observation.

C'est donc d'une épistémologie nouvelle dont nous avons besoin. L'insertion de ce travail dans le cadre des sciences de l'homme et de la société en général et dans celui des sciences de l'éducation en particulier me semble ainsi mieux assurer la possibilité d'une vigilance épistémologique.

Chapitre 3
La situation du professeur

La recherche d'une modélisation de la situation du professeur a guidé mon travail pendant toute la rédaction de cette Note. Ce chapitre, qui en est le dernier, va donc reprendre tous les éléments introduits, et en apporter de nouveaux pour permettre à la situation du professeur d'être décrite avec une certaine précision.

Dans une première partie (§1) je chercherai les éléments qui interviennent dans la situation du professeur, en les ordonnant en niveaux de détermination, selon le modèle de la structuration du milieu introduite au chapitre précédent, en m'inspirant de ce que nous avons déjà vu pour l'analyse de la situation de l'élève.

J'introduirai ensuite le point de vue du professeur, que je décrirai par l'analyse descendante de la structuration du milieu, en me basant sur l'observation de la professeure qui propose dans sa classe le problème du carré de -1 (§2).

Considérer ainsi séparément les points de vue de l'élève et du professeur est essentiel pour envisager des différences. Mais c'est la synthèse des points de vue du professeur et de l'élève qui nous permettra une analyse de la situation de classe. Les positions institutionnelles des élèves et du professeur sont différentes, c'est le professeur qui fait des choix dans l'avancée du temps didactique, c'est aussi le professeur qui détermine par son projet des préférences dans l'interprétation du problème qu'il pose aux élève, ce qui m'amènera à introduire les notions de branches *principale* et *marginale* dans l'analyse de situation. Nous pouvons maintenant prévoir a priori des tensions, des ruptures de contrats, des malentendus entre professeur et élèves (§3).

Dans l'ensemble de cette Note, je n'ai pris jusque là que des exemples, plus ou moins développés, pour appuyer mon propos. Mais l'écriture même de cette synthèse m'a fait découvrir un certain nombre de concepts qui n'étaient pour l'instant que sous-jacent à mon travail – notamment la systématisation et la description des bifurcations didactique et la nature des branches des bifurcations. C'est pourquoi j'ai voulu montrer dans une dernière partie l'analyse d'un corpus que j'ai recueilli en 1997 pour étudier la situation du professeur qui reprend tous les éléments que j'ai introduit dans ce travail (§4).

1 Recherche d'un modèle pour la situation du professeur

Je n'ai pour l'instant pas véritablement abordé dans cette Note la construction d'un modèle pour la situation du professeur, l'introduction des niveaux correspondant au professeur dans la structuration du milieu restant encore à fonder. Le professeur, comme tout sujet, interagit avec un milieu, et il apprend dans cette interaction, à la fois consommatrice et productrice de connaissances. Dans un premier temps (§1.1), je chercherai quels sont les éléments qui doivent apparaître dans le milieu du professeur, sous forme de niveaux d'activité. Je dirai ensuite comme ces niveaux interagissent d'une façon complexe et produisent des systèmes de contraintes qui interviennent dans la situation du professeur (§1.2).

1.1 Les éléments du milieu du professeur

Partons du premier schéma proposé par Brousseau, qui considère les jeux de la dévolution et de l'institutionnalisation comme étant les jeux fondamentaux du professeur, ce qui donnera le premier fil conducteur du modèle de la structuration du milieu du professeur, et permettra de préciser la nature des milieux surdidactiques introduits au chapitre précédent.

Les jeux du professeur

Le premier schéma proposé par Brousseau (1986, 1990 repris dans 1998) est le suivant (fig.13).

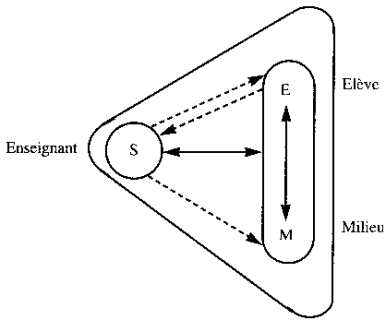


Figure 13 - Le maître organisateur des jeux de l'élève d'après Brousseau 1998 page 92

D'après Brousseau, « le jeu du maître dans chaque système d'action concret, définit et donne un sens au jeu de l'élève et à la connaissance. Il découle de cette définition que les deux types de jeux principaux du maître sont *la dévolution* […] et *l'institutionnalisation.* » (p.91-92)

L'interaction principale (double flèche pleine) du professeur s'effectue avec un système lui-même composé de l'interaction élève-milieu. Il interagit également directement avec l'élève et agit sur le milieu de l'élève, mais ces actions et interactions ne sont que secondaires (flèches pointillées).

Cela correspond bien à ce que nous savons de la situation du professeur en classe : le professeur agit sur le milieu de l'élève (par exemple, il choisit les problèmes à résoudre et les conditions de cette résolution) et l'interaction de l'élève dans ce milieu (par exemple, les réponses que les élèves apportent au problème, les difficultés qu'ils rencontrent) apporte des informations et des rétroactions au professeur.

Le jeu de la dévolution

Si nous reconsidérons le schéma de Brousseau en cherchant à définir le milieu du professeur pour le jeu de la dévolution, nous devons inclure dans le milieu du professeur l'interaction élève – milieu, ce qui correspond à la position P0 du professeur dans le modèle de la structuration du milieu introduit au chapitre 3 (figure 14).

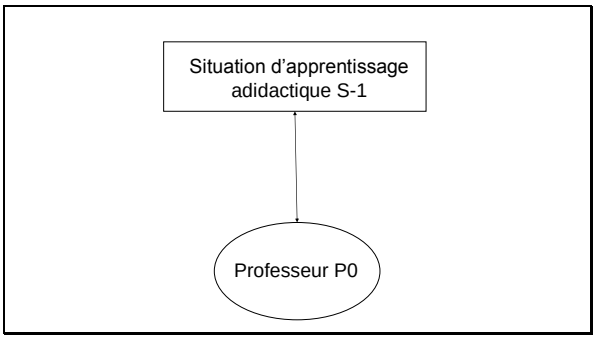


Figure 14 - Le professeur dans la situation didactique S0

Dans la situation didactique S0, le professeur et l'élève interagissent à partir des formulations et preuves produites par l'élève, dans un rapport réflexif à la situation adidactique d'apprentissage (S-1). Le rôle du professeur comprend notamment la responsabilité des phases de conclusion, c'est-à-dire la possibilité soit de renvoyer l'élève aux interactions adidactiques avec le milieu (validation) soit de statuer sur la validité des énoncés produits (évaluation). Ces interactions, typiques de la situation didactique (S0) participent au processus de dévolution et d'institutionnalisation.

Dans son modèle, Brousseau ne considère pas de position du professeur dans la situation d'apprentissage adidactique elle-même. Or une position au cœur même de la situation adidactique est nécessaire pour le professeur, qui intervient à la fois pour permettre l'interaction de l'élève avec le milieu adidactique qu'il a construit, mais également pour observer les procédures des élèves pendant la phase de résolution. Les connaissances de ces procédures lui permettent de prendre des décisions pendant la situation d'enseignement, elles constituent une partie du milieu

de cette situation. J'ai donc ajouté au modèle de Brousseau une position P-1, de « professeur – observateur ».

Le jeu de l'institutionnalisation

L'institutionnalisation, si elle est un processus qui s'actualise dans la classe et au sein de la relation didactique, ne peut exister sans relation avec le savoir mathématique lui-même et les institutions qui participent directement à la transposition didactique. Si l'on veut décrire un milieu pour le professeur qui prenne en compte l'institutionnalisation, alors d'autres composantes sont nécessaires.

Pour envisager lesquelles, le raisonnement le plus naturel me semble celui qui part de l'activité du professeur dans sa diversité. L'action du professeur n'est pas une action qui se situe uniquement en classe. La planification des chapitres et des leçons, l'étude des documents sont des activités fondamentales du point de vue didactique et qui n'ont pas lieu principalement en classe.

Pendant cette activité hors classe, la composante du milieu constitué par l'interaction élève – milieu n'est pas absente, l'élève y apparaissant comme un élève générique auquel le professeur entend adresser son enseignement. Mais la conception des projets didactiques ne peut prendre en compte seulement l'interaction future entre l'élève et le milieu. Elle est également régie par des contraintes de nature épistémologique : le professeur doit permettre à l'élève l'apprentissage de connaissances relatives à des savoirs déterminés par différentes institutions. Le professeur, s'il est un acteur de la transposition didactique, est aussi agi par elle. Par exemple, quand le programme change, le professeur doit transformer une partie de ses projets didactiques. Selon les époques et la nature des changements, différents matériaux seront disponibles ou non dans l'environnement du professeur, et vont constituer une partie du milieu de la préparation de ses leçons.

D'autres contraintes encore doivent être intégrées pour rendre compte de la situation du professeur, même si l'on s'intéresse seulement aux aspects didactiques de son travail. La conception générale de la part de l'école dans l'éducation des enfants, celle de l'apprentissage mais encore la façon dont les horaires conditionnent certaines activités, font partie des éléments qui constituent la situation du professeur. Par exemple, on pourra étudier, jusque dans les interactions fines avec les élèves, comment le « puérocentrisme » permet ou interdit certaines actions du professeur, et leurs effets didactiques ([7], [17]). Ou encore, on pourrait s'intéresser au type de problème qu'un professeur de collège peut ou ne peut pas poser dans le temps d'horloge d'une leçon, et la façon dont cette temporalité joue sur le temps didactique.

Les situations surdidactiques

Ces raisons m'ont conduit à compléter le modèle de Brousseau par des positions supplémentaires du professeur, au delà de la situation didactique, là où Brousseau envisageait seulement « professeur préparant son cours » dans la situation « d'analyse de la didactique ». Il comprend trois niveaux que j'appelle surdidactiques (tableau 3).

M+3: M-Construction		P+3:P-Noosphérien	S+3: Situation noosphérienne	Niveaux surdidactiques
M+2: M-Projet		P+2:P-Constructeur	S+2: Situation de construction	
M+1: M-Didactique	E+1: E-Réflexif	P+1: P-Projeteur	S+1: Situation de projet	
M0: M-Apprentissage	**E0: Elève**	**P0: Professeur**	**S0: Situation didactique**	

Tableau 3 – Les niveaux surdidactiques

Le niveau du projet correspond à la situation du professeur qui construit un projet de séance pour la classe, celui de construction correspond à la situation du professeur qui conçoit une séquence dans laquelle des séances singulières vont s'insérer (on peut penser à la logique de la construction d'un chapitre), le niveau noosphérien est celui des conceptions de l'enseignement des mathématiques voire de l'enseignement-apprentissage en général.

1.2 La complexité de la situation du professeur

Dans le paragraphe précédent, j'ai introduit les différents niveaux de la situation du professeur en me référant aux temps et aux lieux de son travail : en classe, pendant l'interaction avec les élèves, et hors classe, avant ou après cette interaction. Cette description simplifiée ne nécessite d'ailleurs pas la description d'un véritable milieu, mais seulement d'une succession d'actions ; elle ne rend pas compte de la complexité du travail du professeur.

L'objet de ce paragraphe est donc d'entrer dans certains aspects de cette complexité. Tout d'abord, nous verrons que les niveaux de l'activité du professeur ne décrivent pas une succession temporelle : bien au contraire, chaque niveau a une interprétation dans les trois composantes temporelles (passé, présent, futur). Ensuite nous verrons que c'est l'interaction et plus encore la tension entre les niveaux qui caractérise la situation du professeur. Enfin, nous verrons que

chaque niveau produit son propre système de contrainte et de ressource, à l'intérieur duquel le professeur investit une dimension ou une autre.

Temps et niveaux

En effet, durant le travail en classe, une première interprétation pourrait conduire à comprendre l'activité du professeur comme une activité didactique (niveau 0). Mais le professeur en classe peut travailler à son projet de future leçon (niveau +1), ou bien (toujours au niveau +1) au projet de la même leçon mais dans une autre classe. Son action dans la situation didactique (niveau 0) peut parfois masquer une activité principale qui peut être d'observer l'activité des élèves et de maintenir leur relation adidactique avec la situation (niveau -1).

Mais encore, le professeur, dans son activité en classe (niveau 0), peut être pris entre son projet passé qui lui sert de guide, mais aussi de cadre contraignant (niveau +1, passé) et son projet futur (niveau +1, futur). De même, dans son activité hors classe, par exemple quand il prépare une leçon à réaliser (niveau +1, présent), il est influencé par la construction passée qu'il a faite du thème mathématique (niveau +2, passé) qu'il envisage d'enseigner mais cette activité de préparation peut l'amener à modifier cette construction et à envisager une nouvelle construction future (niveau +2, futur).

Il existe donc une complexité temporelle de l'activité du professeur : à chaque niveau, l'action du professeur peut être considérée aussi bien dans le présent de l'action que dans les interactions passées ou futures.

Interactions entre les différents niveaux

Le professeur est toujours en tension entre les niveaux supérieurs (c'est à dire, étant donné un niveau n, les niveaux n+1, n+2, etc.) et les niveaux inférieurs (resp. n-1, n-2, etc.), c'est à dire entre un niveau de conception plus ou moins général d'une séance, d'un enseignement, de l'enseignement, et un niveau qui le rapproche de la classe à partir de sa position de départ.

Quand il prépare une leçon (niveau +1), il doit composer à la fois avec son ambition concernant le savoir en jeu (niveau +2) et plus généralement l'enseignement (niveau +3) mais aussi avec ce qu'il pense que les élèves pourront répondre (niveau 0) et la façon qu'il aura d'observer ces réponses pour les interpréter (niveau –1). Les réponses qu'il a observées les années précédentes, avec des élèves différents, sont des connaissances qui font partie du milieu de cette situation ; les exigences des programmes, les propositions des manuels scolaires, en font partie également.

Déterminants de l'action du professeur

Dans un premier temps, pour introduire le modèle, j'ai donné une description de l'activité du professeur comme si elle découlait linéairement d'une action du professeur dans une logique descendante (partant de S+3 vers S0 et S-1). Cette description doit maintenant être relativisée, car elle pourrait laisser croire que le professeur agit et choisit en toute liberté alors que, on l'a vu au chapitre précédent, mon propos a toujours été, au contraire, de chercher les contraintes et les déterminants de cette action.

Chaque niveau produit son propre système de contrainte et de ressource, à l'intérieur desquelles le professeur *investit* une dimension ou une autre. L'investissement que le professeur peut faire dépend notamment des déterminants propres à la profession à un moment particulier : les demandes de l'ensemble de la société, les instructions officielles, etc. La situation ainsi faite au professeur dépend de ses connaissances, au sens large. Pour un professeur de mathématiques de collège ayant commencé à enseigner au début des années 70, le programme des mathématiques modernes jouera ainsi un rôle sans doute crucial à la fois dans sa représentation des mathématiques (niveau +3) mais aussi plus finement dans sa conception d'un thème mathématique (niveau +2) et dans son répertoire de leçons et de problèmes (niveau +1). Un professeur d'école qui travaille depuis de nombreuses années avec un manuel donné aura des connaissances sur la progression dans l'année (niveau +2) et le type d'activité à donner aux élèves (niveau +1) qui seront très différentes de celles d'un professeur d'école ayant en apparence le même cursus mais travaillant avec un autre manuel.

Ce qui conduit chaque professeur à « choisir » un problème qu'il propose aux élèves dans une leçon donnée relève finalement d'un emboîtement complexe de situations (c'est le principe de la structuration du milieu). Dans chaque situation, l'action du professeur ne peut être décrite systématiquement en terme de choix, car les alternatives qui peuvent exister pour un observateur extérieur (chercheur, formateur) ne sont souvent pas visible pour l'acteur.

2 Le point de vue et la situation du professeur

Dans le chapitre précédent, j'ai introduit ce que j'ai appelé le *point de vue de l'élève*, qui correspond à l'analyse ascendante de la situation. Symétriquement, je vais introduire maintenant *le point de vue du professeur*, qui correspond à l'analyse descendante. Dans le cas de l'élève, je me suis appuyée sur le cadre fourni par le travail de Guy Brousseau. Dans le cas du professeur, l'analyse descendante a demandé une construction originale, dont je commencerai par exposer les principes, en analogie

symétrique avec l'analyse de la situation de l'élève (§2.1). Nous reprendrons ensuite le cas du « carré de -1 », pour y examiner la situation de la professeure qui propose ce problème dans sa classe (§2.2). Je discuterai enfin l'importance de la synthèse des deux analyses, descendante et ascendante, pour rendre compte de la *situation* du professeur, et non pas seulement de son point de vue (§2.3).

2.1 Principes de l'analyse descendante

Le modèle de structuration du milieu de Brousseau a parfois été qualifié « d'oignon » parce qu'il conduit à un schéma qui se présente en couches circulaires, le cœur étant la situation objective S-3 (figure 15).

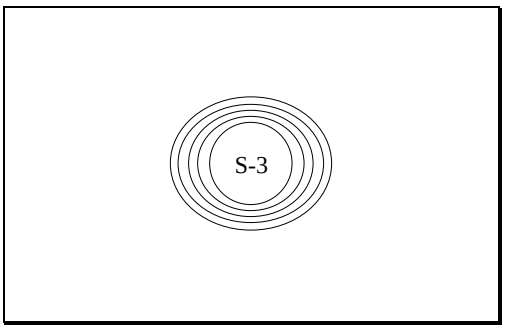


Figure 15 – « Oignon » de la structuration du milieu de l'élève

En reprenant la métaphore de l'oignon, l'analyse de la structuration du milieu du point de vue de l'élève que j'ai appelé analyse ascendante (du niveau –3 au niveau 1) correspond à la construction de l'oignon en partant de la situation S-3 et en déduisant les couches successives. Ce point de vue est cohérent avec le fait que l'élève investit la situation : il reçoit le milieu matériel, et investit progressivement tout le problème posé.

Quel peut être le point de départ de la situation du professeur ? En poussant jusqu'au bout la symétrisation du modèle de l'élève à celui du professeur, on devrait faire l'hypothèse d'une structuration inverse du milieu pour le professeur, c'est-à-dire considérer la situation S+3 comme étant le coeur de la structuration du milieu pour le professeur (figure).

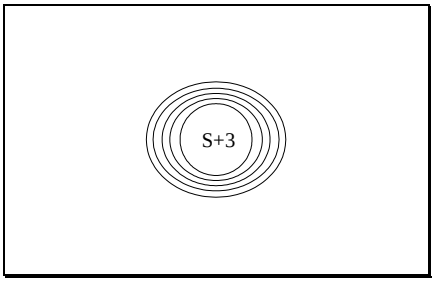


Figure 16 – « Oignon » de la structuration du milieu du professeur

Après avoir hésité entre plusieurs modèles pour la structuration du milieu du professeur, c'est finalement cette hypothèse qui me semble aujourd'hui la plus cohérente et la plus féconde. Elle conduit à considérer l'analyse descendante de la façon suivante.

La situation S+3 joue le même rôle que la situation S-3 pour l'élève : celui d'une situation non finalisée, dans laquelle il n'y a pas d'enjeu mais seulement les éléments qui permettront à la situation suivante de se construire, et dans lesquelles les connaissances sont naturalisées. Il me semble que la situation noosphérienne joue effectivement ce rôle pour le professeur, la plupart du temps du moins. Les connaissances du professeur concernant l'enseignement-apprentissage sont effectivement naturalisées, on parle souvent à leur sujet de 'représentation', terme qui dit bien ce que ces connaissances ont de structurant pour la personne elle-même : le professeur n'a pas l'impression de les avoir acquises, ni le plus souvent qu'elles puissent être mises en cause. Par ailleurs la situation noosphérienne (S+3) n'est pas une situation finalisée.

La situation S+2 se construit alors, dans la perspective descendante, en interaction avec le milieu M+2 qui comprend les choix du professeur concernant l'enseignement de la discipline considérée en général, et conduit aux choix du professeur concernant le thème disciplinaire dans lequel s'insère une ou plusieurs leçons qu'il s'agit de préparer.

Ces choix sont les composants du milieu M+1 avec lequel le professeur interagit pour la construction de son projet local d'enseignement (S+1).

Les choix précédents conditionnent eux-mêmes la situation didactique S0, dans laquelle il interagit avec les élèves.

L'ensemble des connaissances précédentes forme les composantes du milieu M-1 de la situation S-1 de dévolution ou d'observation, dans laquelle le professeur observe les stratégies des élèves en fonction de ce qu'il a prévu.

L'analyse descendante ainsi constituée correspond au *point de vue du professeur*, tel qu'il se construit au sujet d'une leçon avant sa réalisation en classe, et donc au filtre au travers duquel il est susceptible de prendre des décisions en classe et d'interpréter les actions des élèves.

2.2 Le point de vue de la professeure observée dans la situation du carré de -1

Je reprendrai ici, en la modifiant et en la résumant, l'analyse présentée dans [16]. Il s'agit de la situation du professeur qui pose en classe le problème du carré de -1, situation que nous avons

étudiée précédemment du point de vue de l'élève. Cette analyse est rendue possible par les entretiens avec cette professeure menés par Claude Comiti et Denise Grenier.

Je construirai tout d'abord l'analyse descendante de la situation de cette professeure, et je montrerai ensuite l'interaction entre les niveaux que l'on peut observer ou envisager.

Analyse descendante

La situation noosphérienne n'est pas finalisée, il s'agit d'une sorte de situation générique du professeur, et de la position qu'il occupe par rapport aux possibles variations du genre (au sens de Clot, voir Clot et Faïta 2000) 'professeur de mathématiques de collège français en 1992'. Je ne retiens ici que ce qui permet de rendre compte des phénomènes observés.

Dans le cas de la professeure observée, la situation S+3 peut être décrite comme : *P+3 cherche à engager les élèves dans un débat de manière à ce que la réponse attendue n'apparaisse pas comme la seule réponse possible et que les réponses fausses puissent être discutées.*

La situation de construction (S+2) intègre la nécessité de produire des questions en direction des élèves, pour instaurer un débat, ce qui implique de partir de leurs connaissances. La professeure le dit[24] : « j'ai fait le choix de partir des carrés, de ce qu'ils connaissent déjà », le problème étant d'insérer les racines carrées « dans l'arrivée progressive des réels », comme de nouveaux nombres « j'essaye de leur montrer que racine de *a* c'est un nombre et pas une opération ».

S+2 : *P+2 construit la succession des questions et des réponses qui lui permettent d'insérer les racines carrées dans l'arrivée progressive des réels et de les considérer comme de nouveaux nombres, en partant des connaissances concernant les carrés.*

La situation de projet (S+1) intègre les choix didactiques globalement relatifs au chapitre « racine carrée ». Dans la première leçon, l'accent sera mis sur les connaissances anciennes, c'est-à-dire sur les carrés et sur l'introduction implicite de la fonction racine carré comme fonction réciproque de la fonction carré, ce qui implique de considérer l'ensemble d'arrivée de la fonction carré, c'est-à-dire les réels positifs. Il ne s'agit que d'un préalable qui permet de donner une bonne assise à l'ensemble du chapitre, puisque l'important pour la professeure est de construire des nouveaux nombres, et non pas une fonction ou une opération. Ainsi, même s'il y a un débat, l'important est d'asseoir la définition de la racine carrée sur une base claire.

[24] Extraits du protocole de l'entretien ante leçon établi par C. Comiti et D. Grenier.

S+1 : *P+1 choisit les questions qui lui permettront de conclure par une définition de la racine carrée.*

La situation didactique (S0) intègre les choix didactiques locaux relatifs à la leçon : partir des carrés, définir la racine carrée. La professeure cherche à la fois à ouvrir les questions de pour faire apparaître les difficultés, notamment sur la nature des nombres, positifs et négatifs, mais en même temps il ne s'agit que d'une leçon d'introduction d'une définition, puisque l'important est ailleurs : « racine de a comme nombre », dans une autre leçon. Les questions posées par la professeure sont nombreuses, pour 'boucler' sa leçon et permettre l'écriture du cours en synthèse des débats, mais elle ne veut pas passer trop de temps sur chacune d'elles.

S0 : *P0 ouvre le débat sur les questions posées de manière à faire émerger les difficultés et à permettre la définition de la racine carrée*

Les choix d'organisation de la séance déterminent pour partie les possibilités d'observation du professeur (S-1). Il ne demande pas aux élèves d'écrire leur réponse mais de réfléchir et de se tenir prêts à répondre oralement. Il n'a donc pas de possibilité d'observation des réponses des élèves en dehors de la phase collective de débat. Le professeur doit donc interpréter très rapidement les réponses des élèves pour prendre les décisions appropriées : évaluer, laisser en suspens, proposer des éléments de milieu pour la validation, etc. Il s'agit d'un professeur expérimenté, qui pense pouvoir 'faire sens' des réponses ou des questions des élèves quasi immédiatement.

S-1 : *P-1 interprète les réponses des élèves de manière à imaginer une conclusion possible qui permette à chacun de comprendre les raisons des réponses vraies comme fausses*

Contraintes dans la situation de la professeure : interactions entre les niveaux

Dans sa gestion de la situation didactique (S0), le professeur est contraint par la situation ainsi définie à tous les niveaux. Si l'on reprend les éléments de l'extrait de protocole du chapitre précédent, on se souvient que la professeure n'accepte qu'au tour de parole 67 la réponse correcte énoncée par une bonne élève (Lise) alors que la même réponse a été donnée mot pour mot par une autre élève (Stéphanie) 40 tours de paroles plus tôt. La situation noosphérienne (S+3) contraint l'enseignante à ne pas conclure trop rapidement, mais la situation d'observation (S-1) y contribue aussi : il faut laisser la question ouverte et entendre des réponses fausses pour pouvoir y apporter une conclusion. Par ailleurs, l'existence de connaissances naturalisées concernant les carrés de nombres entiers est essentielle pour la construction de la séance. Dans le temps de l'interaction en classe, la professeure ne change pas ses hypothèses sur les connaissances des

élèves, ce qui est visible par l'absence de rappel de la définition du carré d'un nombre comme multiplication d'un nombre par lui-même, qui aurait permis de régler l'essentiel de la difficulté didactique de la séance. On peut d'ailleurs s'appuyer sur cet exemple pour comprendre les interactions possibles entre les niveaux : si le professeur sait que les élèves de niveau troisième confondent nombre et écriture du nombre (niveau +2), son observation de l'activité des élèves peut en être transformée (niveau -1) ; inversement, l'observation des élèves pourrait apporter des informations nouvelles au professeur, qui pourraient aller jusqu'à modifier les connaissances des niveaux surdidactiques.

2.3 La situation du professeur

L'analyse descendante (partant de S+3 vers S0 ou S+1) de la situation du professeur a été introduite tout d'abord, car elle correspond à ce que j'ai appelé « le point de vue du professeur », et à une reconstruction chronologique. Mais nous venons de voir que les interactions entre les niveaux inférieurs et supérieurs jouent un rôle important dans la situation du professeur.

Symétriquement, j'ai considéré comme caractéristique pour le point de vue de l'élève l'analyse ascendante (partant de S-3 vers S0 et S+1), considérant que l'élève est placé par le professeur devant un problème dont il investit une situation dans laquelle il doit répondre à des questions, qui sont donc les buts de ses actions et les conditionnent.

Mais la situation de l'élève conditionne les actions du professeur, au moins dans les niveaux où élève et professeur « cohabitent » (S+1, S0, S-1), par exemple quand le problème posé par le professeur est une situation « en boucle » comme celle des « perles » prise en exemple précédemment, le blocage provoqué par l'énoncé chez les élèves peut provoquer une réaction du professeur. Ainsi, même si l'action du professeur se décrit dans un premier abord par l'analyse descendante, l'interaction avec la classe produit un mouvement à rebours, qui peut transformer les connaissances du professeur dans tous les niveaux surdidactiques. Dans ce cas, l'analyse ascendante de la situation du professeur devient le moyen de caractériser ce point de vue du professeur engagé dans un processus d'adaptation.

C'est donc l'interaction entre les deux types d'analyse qui permettra un modèle suffisant de cette situation.

3 Nouveaux développements du modèle des bifurcations didactiques

Dans le chapitre précédent, le modèle des bifurcations didactiques a été introduit en référence à l'analyse ascendante. Dans les premiers paragraphes, je m'appuierai sur l'exemple de la situation du carré de -1 pour introduire de nouvelles dimensions dans l'analyse des bifurcations didactiques, puis j'envisagerai plusieurs cas typiques pour les bifurcations.

Du point de vue de la professeure observée, les branches définies par l'analyse des bifurcations ne sont pas également visibles, certaines sont attendues et d'autre pas, ce qui demande de considérer des branches *principale* et *marginale* (§2.1). Si l'on prend en compte le point de vue complet de l'élève, qui investit non seulement les niveaux sousdidactiques, mais possède également un point de vue surdidactique, l'existence de branches d'importance inégale conduit à envisager une attente différenciée des élèves, des malentendus et des tensions entre les points de vue de la professeure et des élèves (§2.2).

A l'issue de cette analyse, je proposerai deux formes de base pour les bifurcations didactiques dont l'une (branche principale adidactique, branche marginale nildidactique) correspond à l'exemple du carré de -1 alors que l'autre (branches principale et marginale adidactiques) sera introduite à partir d'un nouvel exemple (§2.3).

3.1 Branches principale et marginale

L'analyse descendante correspond à un point de vue du professeur qu'il projette sur la classe, dans laquelle il construit une situation qui lui semble correspondre à son projet. L'élève, quand il reçoit le problème, ignore ce projet, même s'il peut chercher à en imaginer un (ce qui correspond à la position E+1 de l'élève réflexif).

Je propose de schématiser cette dissymétrie en considérant comme *principale* la situation projetée par le professeur. Si l'on reprend le schéma des bifurcations de la situation « carré de moins 1 », au lieu d'obtenir le schéma symétrique du chapitre précédent, qui ne correspond qu'au point de vue de l'élève et non pas à l'articulation des points de vue de l'élève et du professeur. On obtient un schéma (figure 17) dans lequel apparaissent une branche principale et une branche marginale.

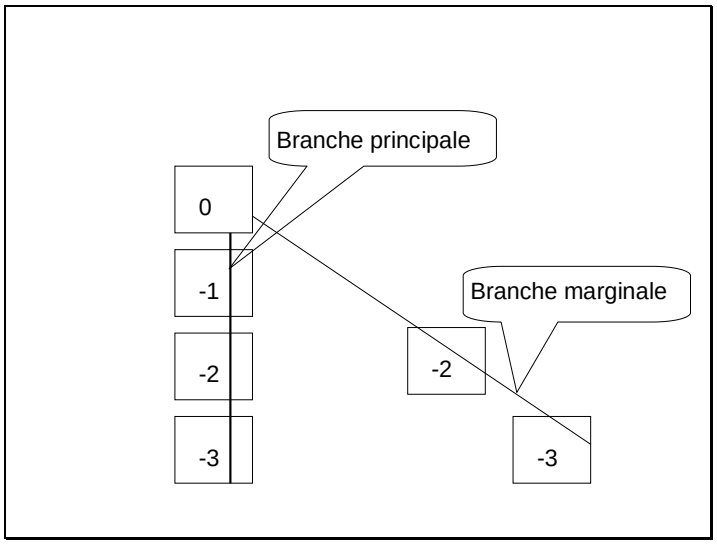


Figure 17 – Branches principale et marginale de la situation du carré de -1

La professeure s'attend à ce que les élèves s'engagent dans la recherche du carré d'un nombre égal à -1, c'est à dire fassent des essais qui pourraient conduire à la réponse complète. Elle ne pense pas que tous les élèves pourront aboutir à cette preuve, mais qu'ils seront au moins sur le chemin de celle-ci : par exemple, que certains élèves pourraient dire « oui, -1 au carré égal -1 », affirmation fausse qui pourrait être vite réfutée, ou bien « je n'ai pas trouvé de nombre dont le carré est égal à -1 », sans en trouver la raison, d'autres « moins par moins fait plus, ce n'est pas possible », produisant une amorce de preuve. La disparité des réponses possibles ne trouble pas la professeure Elle peut faire l'hypothèse que les élèves, ayant parcouru une partie du chemin, pourront comprendre la suite du raisonnement quand elle leur sera proposée (par un autre élève ou par elle-même).

La branche marginale conduit à des réponses d'une toute autre nature (comme celle de Michaël), qui appellerait une autre réaction de la professeure : celle du retour à ce qu'est un carré, alors qu'elle pense partir des carrés « de ce qu'ils connaissent déjà », et ne remettra pas en cause la disponibilité de la définition du carré comme connaissance naturalisée du milieu.

Cette analyse permet un renouvellement de la problématique de la topogenèse (Chevallard 1985). Les différentes places pour le professeur et l'élève, décrites par Chevallard avec un grain plus large, se découvrent ici dans le quotidien des interactions. Mais surtout, elle permet de montrer que certains élèves occupent un espace prévu par le professeur et d'autres non, résultat qui n'avait pas été obtenu par d'autre méthode.

3.2 Tensions et malentendus entre les points de vue du professeur et de l'élève

On a donc une tension entre les points de vue du professeur et de *certains* élèves, puisque des élèves investissent la situation de la branche principale alors que d'autres investissent celle d'une branche marginale. Poursuivons le diagramme en incluant les niveaux surdidactiques (Figure 18).

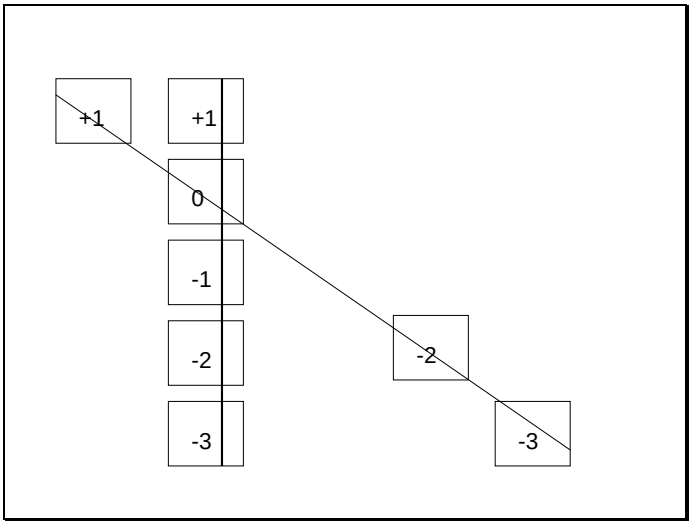


Figure 18 – Branches principale et marginale complètes de la situation du carré de -1

Le niveau +1 correspond, pour l'élève, à la réflexion qu'il a sur l'avancée du temps didactique, à son attente sur la fonction de la réflexion amorcée dans la résolution de la question posée.

Un élève qui investit la situation de la branche principale attend une avancée concernant les propriétés de l'ensemble d'arrivée de la fonction carrée. De fait, le professeur fera écrire dans la leçon :

> « a a pour carré a^2
> $-a$ pour carré a^2 »,

qui correspond bien à cette attente.

Un élève qui investit la situation de la branche marginale est dans l'expectative, il n'a produit aucun résultat vraiment nouveau puisqu'il n'a fait que manipuler les écritures pour obtenir le nombre -1, et n'a produit aucun raisonnement (il a investi une situation nildidactique). Il peut penser que le travail va porter sur les écritures et sur la réaffirmation de leurs règles, comme une révision avant une leçon. Quand la professeure fait écrire la phrase ci-dessus, cet élève ne comprend pas, d'autant que la deuxième phrase peut paraître ambiguë : pour un élève qui a investi la branche marginale, le carré de –a peut être $(-a)^2$, mais aussi $-a^2$.

Dans la leçon observée, des élèves protestent suffisamment pour que la professeure accepte leur suggestion d'écrire au tableau (et de faire recopier à tous dans le cours) :

« *a* a pour carré a^2
(-a) pour carré a^2 »,

ajoutant les parenthèses qui, dans l'optique de la branche nildidactique, permettent une 'application' de l'exposant 2 sur l'écriture (-a) pour produire $(-a)^2$. Elle perd ainsi une occasion de canaliser à nouveau la situation, parce qu'elle n'aperçoit pas l'enjeu de ce que lui demandent ces élèves. Dans l'observation de la leçon dans laquelle est posée (entre autres) la question du carré de -1, la tension avec une partie de la classe est suffisamment forte pour gêner la professeure, qui passe beaucoup plus de temps que prévu pour l'étude des questions posées et subit une agitation de la classe.

L'introduction du niveau de l'élève réflexif permet ainsi de montrer qu'il n'y a pas seulement une place inattendue de certains élèves dans la situation, mais deux points de vue radicalement différents entre le professeur et les élèves investis dans la situation nildidactique. Pour un chercheur adoptant un point de vue proche de celui du professeur, ceci peut être interprété comme un *malentendu* produit ici localement entre certains élèves et le professeur. Mais si le chercheur se place d'un point de vue proche de l'élève, il peut considérer qu'il y a une *rupture de contrat didactique :* le professeur n'a pas fourni à l'élève le bon problème pour s'engager dans l'activité didactique et dans le processus d'institution.

3.3 Deux modèles de base de bifurcations didactiques

Dans ce qui précède, j'ai utilisé l'exemple simple de la situation « carré de -1 » pour introduire le modèle des bifurcations didactiques. Au cours des études que j'ai menées en utilisant la structuration du milieu, j'ai été amenée à rencontrer d'autres structures. Plutôt que de les reprendre exemple par exemple, je préfère ici montrer quels sont les deux types les plus fréquents des bifurcations didactiques que l'on rencontre effectivement dans les classes ordinaires, en les associant à des exemples rapidement évoqués.

Branche principale adidactique, branche marginale nildidactique

Il s'agit de la forme schématique de la situation « carré de -1 », que j'ai rencontré plusieurs fois, en mathématiques comme dans d'autres disciplines. Il est vraisemblable qu'elle soit assez courante. Dans cette forme, les élèves qui sont investis dans la branche marginale nildidactique ne rencontrent pas de nouveaux savoirs. Dans un premier temps ils peuvent interpréter la situation comme une situation de rappel ou bien d'entraînement des techniques anciennes. Au moment de la phase d'institution, ils vivent une rupture de contrat. Au contraire, les élèves investis dans la

branche principale adidactique rencontrent les nouvelles connaissances qui vont contribuer à l'avancement du temps didactique, ils vont dans la direction du projet du professeur.

Branches principale et marginale adidactiques

Il s'agit ici d'une situation qui correspond au schéma 19.

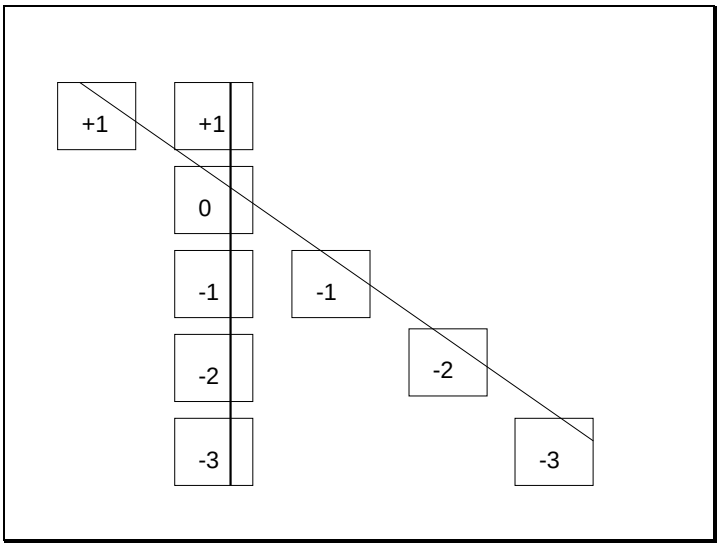


Figure 19 – Branches principale et marginale adidactiques

Un exemple simple de cette situation est analysé dans Noirfalise (1994-1995), à partir d'une observation de Yves Chevallard (non publiée). Pour introduire la démonstration du théorème de Pythagore, un professeur de 4e travaille avec ses élèves sur différents découpages du carré[25]. L'égalité de Pythagore est énoncée 'en passant' au cours de l'activité, et peu mise en valeur. Le professeur donne un exercice élémentaire classique à faire pour le lendemain : un triangle rectangle étant donné, on connaît les mesures effectives des deux côtés de l'angle droit, il s'agit de calculer la longueur de l'hypoténuse. Une fois rentrée chez elle, une bonne élève de la classe demande de l'aide à sa mère, professeure de mathématiques, pour résoudre cet exercice pourtant très simple.

L'analyse de Noirfalise montre que les techniques de décomposition d'une figure en sous-figures dont on sait calculer les aires et les traductions numériques et littérales de l'effet de cette décomposition peuvent être prises par l'élève comme le point central de la leçon, en tant que techniques nouvelles, alors que pour le professeur il ne s'agit que d'un point secondaire qui n'aura pas de prolongement. Si cette activité a été effectivement investie par des élèves, ceux-ci ont sans

[25] Il s'agit d'un appui assez courant pour la démonstration, que l'on pourra retrouver sous différentes formes dans des manuels scolaires

doute été dans l'attente d'une toute autre institutionnalisation que celle du théorème de Pythagore[26].

Le projet du professeur[27] est beaucoup plus simple. A partir des égalités obtenues à partir des formules d'aires sur les différentes figures construites par le professeur (S-3), il s'agit de calculer le carré de l'hypoténuse dans deux cas (S-2), puis d'en déduire la valeur de l'hypoténuse (S-1), seule nouveauté de la leçon, la technique d'obtention de cette valeur avec la touche racine de la calculatrice étant donnée quasi-instantanément par le professeur (S0). Le projet didactique du professeur (tel que l'on peut l'inférer) produit un saut assez important avec l'activité des élèves, puisqu'il s'agit d'admettre le caractère général de l'égalité de Pythagore. Le fait que la dimension d'apprentissage de la situation S-1 soit aussi maigre a pu renforcer certains élèves dans l'idée qu'il ne peut s'agir seulement de cela[28].

Ce type de schéma se rencontre toutes les fois que la situation investie par les élèves n'a comme fonction pour le professeur que d'être prétexte pour introduire des éléments de savoir sans que les conséquences épistémologiques de l'activité des élèves aient été anticipées. Il s'agit sans doute d'une forme assez courante, puisque l'injonction institutionnelle actuelle faite au professeur d'introduire les notions et techniques nouvelles par des « activités » peut conduire à rechercher coûte que coûte une action de l'élève. Dans cette forme, les élèves qui s'investissent dans la branche adidactique doivent être assez déconcertés par les prolongements donnés par le professeur, mais il est possible que leur activité ait produit des connaissances nécessaires à d'autres apprentissages, à l'insu du professeur, apprentissages invisibles de l'institution didactique (voir Mercier 1995).

4 Une recherche dans les classes de trois professeures

Ce paragraphe représente une sorte de « conclusion expérimentale », à la fois au chapitre 3 et à la Note d'une façon générale. Le travail qui est exposé ici, et a donné lieu à de nombreuses publications [8 ; 35 ; 21 ; 23 ; 25 ; 37], se trouve ici réuni de manière à permettre une vision d'ensemble.

---

[26] Voir Noirfalise pour un prolongement fictif possible, basé sur des techniques historiquement attestées dans les mathématiques chinoises

[27] Tel que l'on peut l'inférer, en l'absence d'entretien.

[28] Sous une autre forme, je rejoins ici l'analyse de Noirfalise

En 1997, le modèle théorique de la structuration du milieu était suffisamment avancé pour que naisse le besoin d'élaborer un système de protocoles approprié pour rendre compte de la situation du professeur et des interactions entre les différents niveaux. Dans un premier temps, j'expliquerai comment j'ai ainsi constitué un protocole adapté à l'étude du rôle du professeur en classe ordinaire et quels en sont les principaux éléments (§4.1).

Je décrirai ensuite les analyses ascendante et descendantes de la situation, dont le résultat est d'une part une situation comportant trois branche (une nildidactique, deux adidactiques), d'autre part plusieurs projets qui différencient les trois professeures adoptant le même scénario (§4.2).

Quelques résultats de l'analyse a posteriori seront ensuite exposés, qui chercheront à mettre en valeur d'une part les actions du professeur en classe et la façon dont l'analyse a priori permet de mettre en valeur les interventions du professeur et leur effet sur la situation, d'autre part les connaissances du professeur, leurs déterminants et leur évolution (§4.3).

4.1 Constitution du protocole

Le problème que je me suis posé en 1997 était de trouver un dispositif qui permette de recueillir des informations sur les connaissances d'un professeur aux différents niveaux, mais qui soit pourtant un dispositif d'observation des pratiques ordinaires, qui ne perturbe pas de façon trop importante ces pratiques. La solution m'a été donnée par la rencontre d'un groupe de quatre professeures travaillant ensemble toutes les semaines depuis la rentrée scolaire pour préparer les leçons de leurs classes de quatrième. L'existence de ce groupe de travail me permettait d'avoir des informations sur la préparation des leçons sans qu'un entretien ante leçon ne vienne perturber les pratiques usuelles de ces professeures.

Dans un premier paragraphe, je décrirai le dispositif d'observation de ce groupe de travail. Je résumerai ensuite le scénario commun adopté par les trois professeures observées : Béatrice, Danièle et Marie-Paule.

Un dispositif d'observation

J'ai ainsi pu observer et enregistrer :

- la séance du groupe de travail précédent les observations en classe (enregistrement audio et photocopie des documents échangés, transcription intégrale)
- une ou deux premières leçons du chapitre « Rotations et translations » dans les classes de quatrième de trois professeures (enregistrements vidéo, transcription intégrale des trois

premières leçons du chapitre observées chez trois professeures différentes, copie à l'identique des travaux écrits par les groupes d'élèves)

- la séance du groupe de travail suivant les observations en classe (enregistrement audio, transcription du passage de bilan du chapitre)

Par ailleurs, j'ai conçu un entretien post leçon, réalisé une semaine après les observations en classe, spécifique au recueil suivant les différents niveaux, dont voici la trame (publiée avant l'observation dans [35]).

> « **Grille d'entretien avec les enseignants**
> Je partirai du niveau « de base » +1 pour procéder ensuite en spirale. Les aspects temporels seront abordés d'abord vers le passé puis vers le futur.
> *Niveau +1*
> - Comment tu voyais la séance avant (recueillir la feuille de prep)? (+1, passé)
> - Pendant cette leçon, il y a des choses qui t'ont étonnée? que tu n'avais pas prévu? tu as eu l'impression de prendre des décisions? Est-ce qu'il y a des choses sur lesquelles tu penses que vous avez pu faire des choix assez différents dans le groupe de travail? (+1, présent)
> - Dans la leçon suivante, tu as fait quoi? C'était ce que tu avais prévu avant ou tu as modifié en fonction de la leçon précédente? (+1, avenir)
>
> *Niveau +2*
> - Tu avais déjà enseigné ça avant (les transformations, les vecteurs)? Tu te souviens de ce que tu as fait (en 4e, ou dans d'autres classes)? En tant qu'élève, tu as des souvenirs? (+2, passé)
> - En ce qui concerne les transformations, qu'est-ce qui est important à ton avis en 4e? Dans les classes antérieures? Et après, en 3e ou au lycée (+2, présent) Et au sujet des vecteurs?
> - Toujours sur les transformations, tu penses qu'il y a des choses qui devraient évoluer, dans les programmes par exemple? ou dans les manuels, les façons de les présenter? (+2, avenir). Et au sujet des vecteurs?
> - Au sujet des transformations et des vecteurs, qu'est-ce qu'il faudrait que les élèves retiennent à l'issue du lycée?
>
> *Niveau 0*
> Si on revient à la séance elle-même
> - Qu'est-ce que tu penses des réponses des élèves (sur les transparents)?
> - Est-ce que tu penses qu'ils ont bien compris leurs erreurs, tu penses qu'ils se sont corrigés seuls ou bien que tu les as beaucoup guidés?
> - Tu voulais qu'ils retiennent quoi exactement de cette séance là? Ce que tu as vu par la suite te laisse penser que ça a marché ou pas?
> - (pour Danièle) tu as demandé les dessins commentés avec des tracés à main levée et des signes, est-ce que tu as introduit des constructions après?
>
> *Niveau -1*
> - Pendant la séance, tu as observé les élèves, pendant le travail individuel d'abord, puis pendant le travail en groupe. Tu peux me dire ce que tu as remarqué (nommer les élèves)?

- Sinon, tu as l'impression qu'ils sont bien rentrés dans le travail que tu leur as demandé? Pourquoi?
- Tu penses que les difficultés des élèves dans ce travail peuvent provenir de quoi?

Niveau +3

Pour finir, on va revenir au général

- Dans l'enseignement des maths, tu penses que c'est quoi le plus important? (+3, présent)
- Dans le passé, tu penses que c'était différent? que c'était mieux? moins bien? (+3, passé)
- Pour l'avenir, tu souhaiterais quoi pour l'enseignement des maths? (+3, avenir) »

Enfin, les élèves des trois classes ont répondu, à la fin de la semaine correspondant à la fin du chapitre, à un questionnaire nominatif très ouvert, dont l'unique question était : « Explique, pour un camarade qui aurait été absent [les deux premiers jours du chapitre], ce que tu as appris dans ce nouveau chapitre ».

Le système de protocole (Tavignot 1997, [8]) comprend également les documents (instructions officielles depuis 1970, manuels scolaires) qui sont des points de référence pour les professeurs observés, mais aussi les versions successives du problème posé aux élèves par la professeure prépondérante dans le groupe (Marie-Paule).

Résumé de la première leçon du chapitre « Translations et rotations »

La première leçon du chapitre a été observée dans les trois classes. Elle comprend une mise en situation des élèves autour du problème suivant : « Voici 10 situations. Pour chacun des 10 cas comment obtient on la figure $\mathcal{B}$ à partir de la figure $\mathcal{A}$. Regroupe les situations analogues[29] » (figure 20).

[29] La consigne est écrite sur le texte présentant les figures, c'est par souci de lisibilité que je l'ai recopiée.

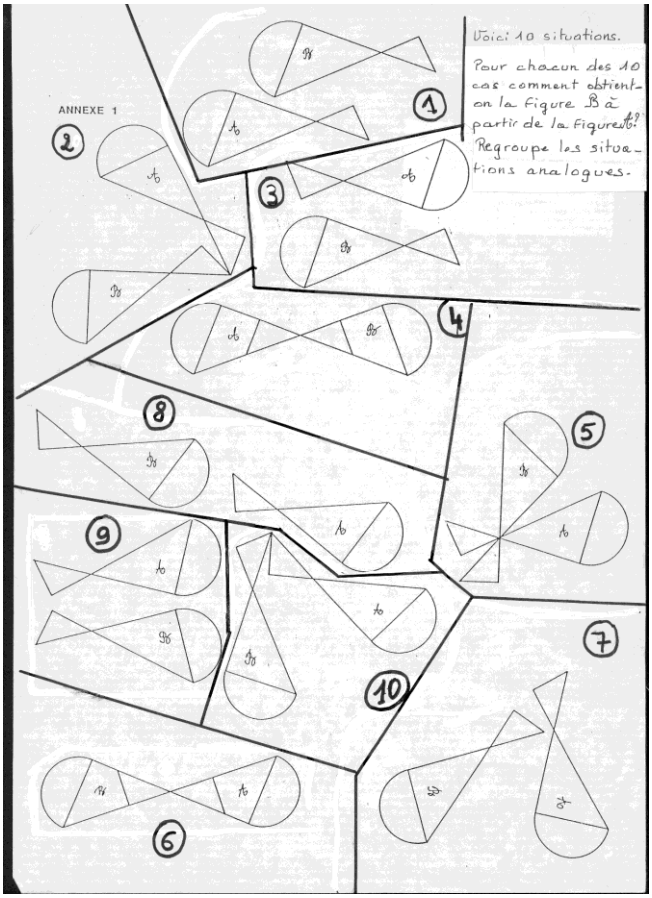


Figure 20 - Document distribué aux élèves, réduction à 40%

Le déroulement de la leçon est prévu par le collectif des professeurs : (a) distribution de la feuille de consigne photocopiée à chaque élève, explication de la consigne, mise au travail des élèves (b) travail individuel des élèves, le professeur passe de l'un à l'autre, interagit individuellement et reprend parfois la parole collectivement pour apporter des précisions (c) travail en groupes de 4 élèves déterminés à l'avance par le professeur, chaque groupe doit produire une réponse concertée sur un transparent comportant la consigne photocopiée (d) un représentant de chaque groupe expose au tableau les résultats de son groupe (e) conclusion du travail par le professeur, éventuellement (selon le temps restant) définition de translation et rotation. Le cours sur « translations et rotations » est prévu sous forme d'une fiche polycopiée, identique pour toutes les professeures et préexistant à la leçon.

4.2 Analyses ascendante et descendante

Dans les trois classes observées, les professeures posent le problème déterminé par le groupe de travail, la conclusion des différentes questions n'intervenant que dans la phase collective

d'examen des transparents. L'analyse du problème posé par la structuration du milieu se justifie donc puisque la phase de travail du problème représente pratiquement toute la leçon.

Dans ce paragraphe, je donnerai donc les résultats des analyses ascendante et descendante. La situation présente une sorte de synthèse des formes décrites au chapitre précédent : une branche nildidactique, deux branches adidactiques. Nous verrons que selon les professeures, le caractère principal des branches adidactiques peut varier, première entrée dans les différences entre des professeures qui pourtant réalisent le même scénario. Enfin, nous verrons que les analyses descendante et ascendante de la branche adidactique principale ne conduisent pas tout à fait à la même situation didactique S0, il y a une *tension* entre les points de vue de l'élève et du professeur, phénomène que j'ai déjà rencontré en 1994 [34], mais que je n'avais pas eu l'occasion de décrire pour l'instant dans cette Note.

Résumé de l'analyse ascendante de la situation

L'analyse ascendante va conduire à considérer des interprétations de plus en plus complexe de la consigne et de l'ensemble des signes présents sur la feuille distribuée. Le résultat comporte trois branches : deux branches adidactiques, une branche nildidactique (figure 21)

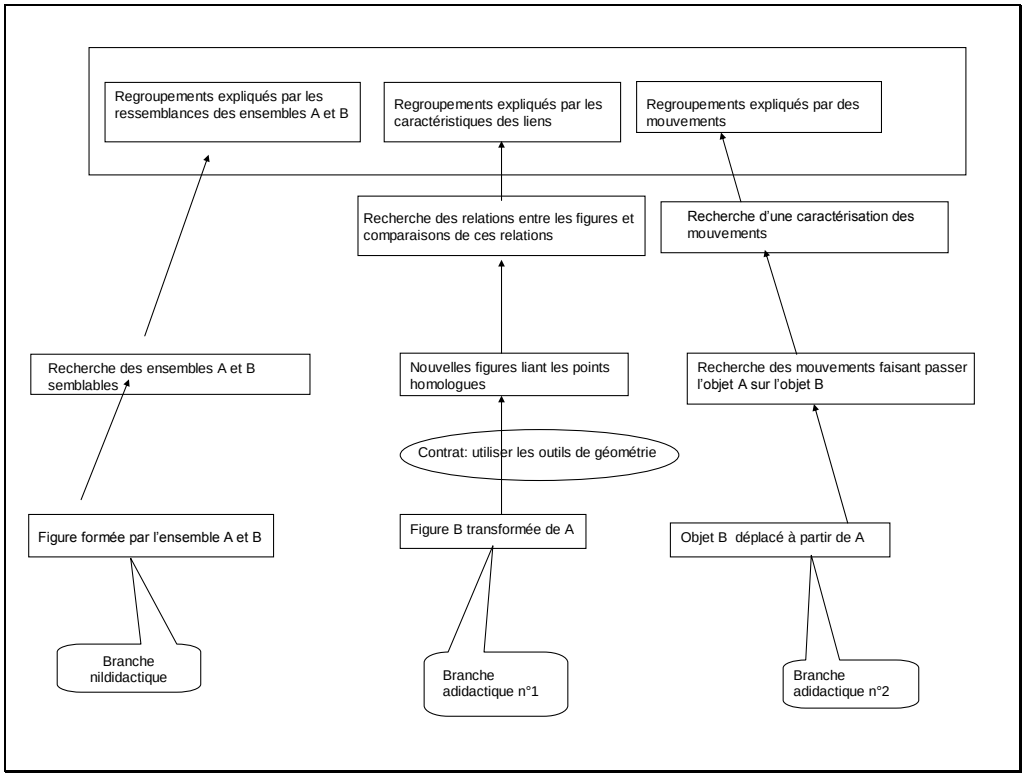


Figure 21 - Analyse ascendante de la situation des poissons

Dans ce résumé, je me contenterai d'interpréter les différentes branches sans rentrer dans les détails de la construction des milieux[30]. Dans cette situation, comme dans la plupart des cas, c'est l'examen des différents milieux matériels possibles qui donne la clé de l'analyse de la structuration du milieu. Commençons par l'examen des branches adidactiques.

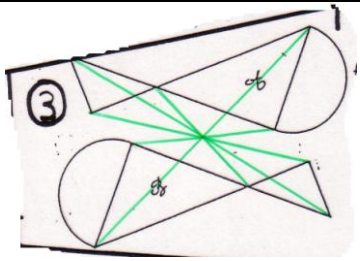
La branche adidactique n°1

Sans préjuger de l'analyse descendante, l'énoncé du problème laisse penser que cette branche est sans doute la branche principale.

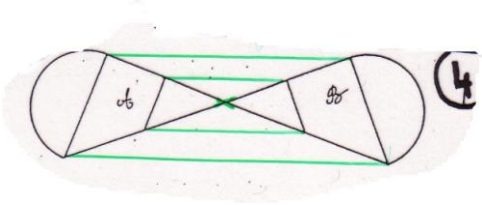
Elle suppose que la figure $\mathcal{B}$ puisse être considérée comme obtenue par une transformation (au sens courant du terme) de la figure $\mathcal{A}$ (S-3). Ce ne sont pas les dessins des 'poissons' qui sont donnés à voir, $\mathcal{B}$ est la transformée de $\mathcal{A}$ par un procédé géométrique. La finalité du problème est d'étudier ce procédé.

Cette étude peut être amorcée par l'usage des outils usuels de géométrie (crayon, compas, règle). Les figures $\mathcal{B}$ et $\mathcal{A}$ étant liées l'une à l'autre, on peut envisager de relier les points homologues à l'aide des outils usuels, ce qui produit de nouveaux dessins (S-2).

Voici ce que l'on obtient, à la règle, pour les différentes transformations (figure 22).

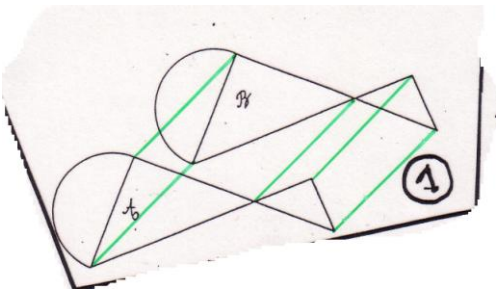


Symétrie centrale

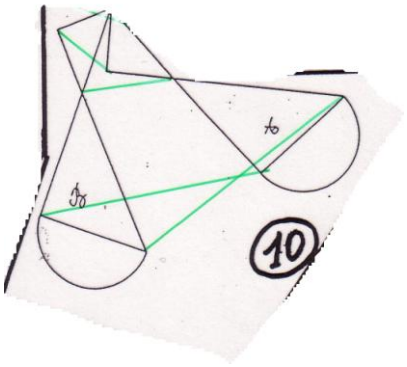


Symétrie axiale

[30] Le problème posé est en fait très complexe si on rentre dans les détails, notamment je n'aborderai pas le problème posé par la figure 7, qui n'a été traité dans aucune des classes observée. D'une façon générale, dans l'analyse a priori, je ne conserve ici que ce qui sera utile ensuite pour comprendre les phénomènes que je traiterai.



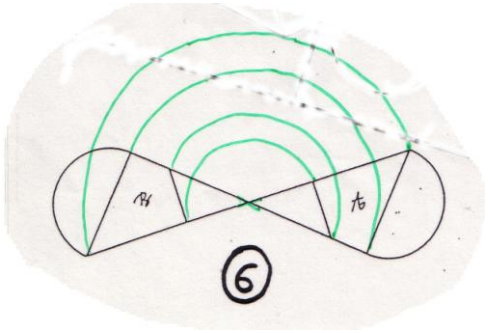
Translation



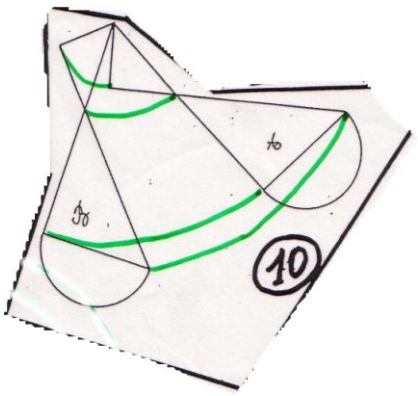
Rotation[31]

Figure 22 - Points homologues reliés à la règle

Pour les rotations (y compris le cas particulier des symétrie centrale), on peut envisager les liens au compas (figure 23).



Symétrie centrale



Rotation

Figure 23 - Points homologues des rotations reliés au compas

L'étude porte alors sur les caractéristiques géométriques des liens ainsi dessinés entre les figures $\mathcal{A}$ et $\mathcal{B}$, sachant que d'ordinaire, en géométrie, on privilégie notamment les relations d'égalité de longueur, de parallélisme et de perpendicularité[32] (S-1). Cette étude devrait faire apparaître des configurations connues des élèves : symétries axiale et centrale, et inconnues : translation et rotation.

La réponse (S0) élaborée à partir du travail précédent permet de répondre à la question des regroupements des configurations et éventuellement à la caractérisation des regroupements par

[31] Dans le cas des rotations, relier les points homologues à la règle ne donne pas une figure interprétable, pour obtenir une information, il faut comparer les angles obtenus en reliant les points homologues au centre de la rotation, et non pas entre eux.

[32] Dans le cas de la rotation, il faudrait considérer les égalités d'angles, voir note précédente.

les transformations connues. En ce qui concerne les transformations nouvelles, la lecture en terme de similarités géométriques permet d'observer certaines caractéristiques (par exemple, dans le cas des translations, les segments reliant les points homologues sont de même longueur et parallèles).

On remarque que la question de l'obtention de la figure $\mathcal{B}$ *à partir* de la figure $\mathcal{A}$ n'est pas véritablement traitée dans la réponse que j'imagine ici en situation didactique. Dans le cas de la translation, que le sens du vecteur n'a aucune raison d'apparaître. Si l'on prend un point M quelconque, l'image n'est pas entièrement déterminée : il y a deux positions possibles. De même, dans le cas de la rotation, le centre et la mesure de l'angle au rapporteur ne suffisent pas, il faut connaître le sens. Les deux nouvelles transformations à étudier dans le chapitre présentent donc une particularité nouvelle : l'importance du sens, qui n'est rencontrée dans le problème des 'poissons' que si l'on envisage la consigne de cette façon.

Sans détailler suivant les transformations, en S+1, l'élève s'attend en tout cas à ce que les configurations nouvelles qu'il a rencontré soient développées par le professeur, ce qui est précisément l'objet du chapitre.

Branche adidactique n°2

On considère ici les figures $\mathcal{A}$ et $\mathcal{B}$ comme étant les dessins des positions différentes d'un objet obtenues par 'déplacement' (au sens courant du terme) (S-3). Le problème posé est alors globalement interprété comme l'étude de ces déplacements.

On imagine donc (en S-2) les déplacements permettant de faire coïncider les points homologues des figures $\mathcal{A}$ et $\mathcal{B}$. Il n'est pas nécessaire de réaliser une construction sur la feuille, il faut imaginer ce que le déplacement d'un objet en carton de la forme de $\mathcal{A}$ doit faire comme trajet pour coïncider avec $\mathcal{B}$. Les caractéristiques de ces déplacements sont alors comparées (S-1). Les réponses (S0) associent bien les transformations géométriques entre elles, mais les caractéristiques sont recherchées dans l'analogie des mouvements : glissement, pliage, rotation.

Au niveau réflexif (S+1) l'élève qui a investit cette branche marginale peut s'attendre à ce que le professeur montre au tableau, par exemple avec un modèle en carton, les mouvements qui permettent d'obtenir la figure $\mathcal{B}$ à partir de la figure $\mathcal{A}$. ou bien qu'il montre à l'aide d'un logiciel de géométrie dynamique la trace de ce déplacement sur un écran d'ordinateur. Il pourrait s'agir d'une introduction au chapitre, permettant de travailler ensuite sur les caractéristiques des nouvelles transformations (rotation et translation).

Branche nildidactique

L'énoncé du problème demande tout d'abord de reconnaître « dix situations ». On peut donc considérer la figure $\mathcal{A}+\mathcal{B}$ comme étant la configuration sur laquelle il s'agit de travailler, ce qui ne demande que l'interprétation des traits de séparation et des numéros entourés comme représentant les « dix situations » de l'énoncé (S-3). Le problème est alors de regrouper ces configurations par analogie. La réponse (S0), obtenue à partir des associations visuelles naturalisées (S-2), est alors « 2 et 10 : 'poissons' accolés par la 'queue' », « 4 et 6 : 'poissons' emboîtés », la configuration 5 est seule dans son genre, les autres sont semblables en tant que configurations de « 'poissons' isolés ».

Comme nous l'avons vu précédemment dans l'étude d'une branche marginale nildidactique, il est difficile pour l'élève qui a investit cette situation d'imaginer le projet didactique du professeur.

Analyse descendante des situations des trois professeures

Au niveau noosphérien (+3) les connaissances des professeures sont très semblables. En particulier, elles affirment : "Le principe, c'est de leur faire découvrir par eux-mêmes"[33].

En ce qui concerne le chapitre "translation et rotation" pour la classe de quatrième, leur interprétation (niveau +2) du programme officiel peut se résumer comme : "L'objectif en quatrième est seulement que les élèves puissent construire l'image d'une figure simple par translation et rotation". D'autre part, elles relient celui-ci au travail global sur les transformations, et font donc des hypothèses sur ce que les élèves savent déjà, au regard des programmes : "En quatrième, les élèves doivent maîtriser les symétries axiales et centrales".

C'est au niveau de ce qui constitue pour chacune le projet de la leçon (+1) que l'on observe des différences entre les professeures. Synthétiquement, pour Marie-Paule : "A l'issue de la leçon, les élèves doivent pouvoir démarrer les exercices qui suivent (construction de translation ou rotation dans des cas simples)" ; pour Béatrice : "A l'issue de la leçon, les élèves doivent connaître des méthodes de construction des transformations" ; pour Danièle : "A l'issue de la leçon, les élèves doivent avoir une représentation intuitive (dynamique) de chacune des transformations".

Au niveau didactique (0), leurs exigences minimums sont différentes : Marie-Paule exige l'amorce de méthode de construction ; Béatrice exige l'explicitation des méthodes de construction de

[33] Il ne s'agit pas ici (et suivant) de citations effectives d'un protocole, mais de reconstruction d'un résumé correspondant aux énoncés possibles pour ces professeures, ces 'pseudo-citations' sont entourées de guillemets "droits".

l'image d'un point par une transformation ; Danièle exige seulement l'explicitation du passage d'une figure à l'autre.

Les connaissances a priori disponibles concernant l'observation des élèves en situation (niveau -1) sont sans doute différentes. Marie-Paule a déjà travaillé avec ce problème, associé à des consignes variables, depuis plusieurs années, elle fait partie de l'IREM et intervient en formation à l'IUFM. Danièle elle a enseigné auparavant en GRETA et travaille pour la première année au collège, suite à sa réussite au concours de l'agrégation interne. Béatrice est professeure-stagiaire[34], elle n'a jamais enseigné auparavant.

Conclusion de l'analyse

D'après la synthèse des analyses descendante et ascendantes, on a donc une différence entre les professeures (voir figure 24). Pour Béatrice et Marie-Paule, la branche principale est la branche adidactique n°1. Par ailleurs, Béatrice considère nettement comme réponse attendue la caractérisation complète de la construction par une transformation, ce qui pourrait produire une tension entre le projet du professeur et la réponse considérée comme attendue par l'élève (voir paragraphe suivant), cette demandé étant moins nette dans le projet de Marie-Paule.

Par contre, dans le cas de Danièle, on ne perçoit pas vraiment de différence entre les deux branches adidactiques, elles sont toutes deux légitimes aux yeux de cette professeure.

[34] Au moment de l'observation, Béatrice a déjà été titularisée. Elle a obtenu d'excellentes mentions, que ce soit pour l'évaluation de son stage en responsabilité ou son mémoire professionnel.

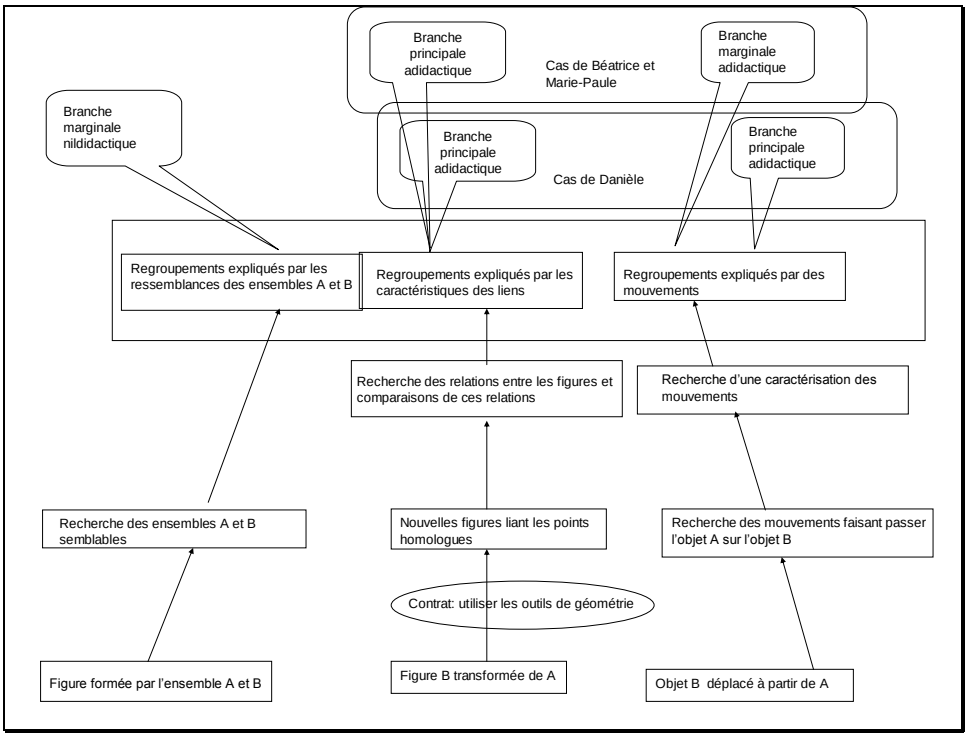


Figure 24 - Branches principales et marginales dans les trois classes

Tension en situation didactique

Les analyses descendante et ascendante de la situation adidactique n°1 ne conduisent pas exactement à la même situation didactique. Le professeur attend 'plus' que ce que l'élève peut trouver légitime de devoir répondre.

En effet, pour donner leur réponse, les élèves peuvent considérer qu'ils ont besoin uniquement de formuler les caractéristiques des figures qu'ils ont sous les yeux (figures et traits de construction), ce qui conduit, dans le cas des translation par exemple, à considérer que les segments qui la définissent sont de même longueur et parallèles. De son côté, le professeur ne peut pas parler de translation, par exemple, sans insister sur les *trois* caractéristiques du vecteur : longueur, direction *et sens*. Le même problème existe pour la rotation. On peut schématiser cette tension par la figure 25

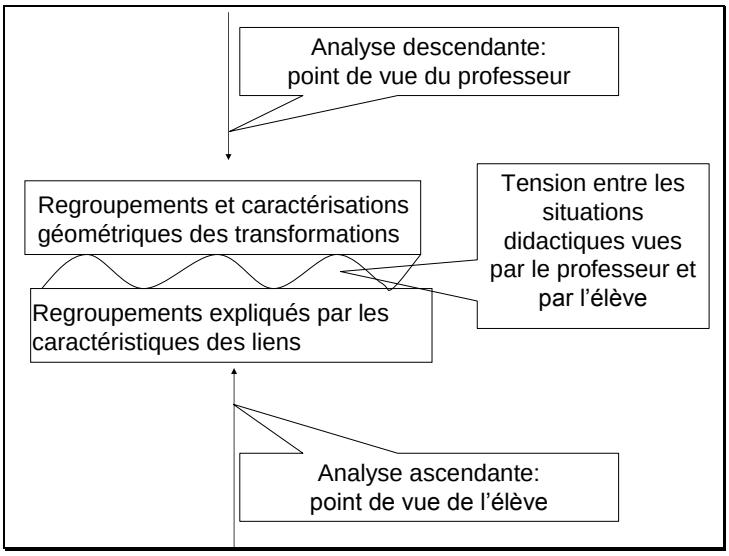


Figure 25 - Tension entre les points de vue de l'élève et du professeur en situation didactique

Cette tension est caractéristique des problèmes posés aux élèves qui, tout en étant significativement porteurs de nouveaux rapports au savoir en jeu, sont investis par le professeur d'une dimension qui va au delà de ce qu'il est possible d'attendre de leur dévolution. La tension que l'on peut alors observer en classe (voir paragraphe suivant) est alors une tension *didactique* et non pas pédagogique, même si elle peut éventuellement se manifester par des réactions hostiles de la part des élèves.

Il s'agit d'un phénomène que j'ai déjà décrit dans le cas du problème des 'circuits' dans une séance de DEUG de Marc Legrand [34].

4.3 Analyses a posteriori : résultats

Dans ce paragraphe, je donnerai un aperçu des principaux résultats de l'analyse du système de protocole. Etant donné l'analyse ascendante, la situation est complexe d'une part parce qu'elle comporte plusieurs branches, d'autre part parce que, dans la branche principale, elle présente une tension entre les points de vue du professeur et de l'élève sur la conclusion possible.

Dans une première partie, je m'intéresserai à la situation vécue en classe et à la mise en évidence de différents phénomènes prévisibles d'après l'analyse a priori. Les projets de Béatrice et Marie-Paule étant d'engager les élèves dans une branche principale adidactique, je chercherai d'abord à décrire les actions de ces professeurs que l'on peut interpréter comme un maintien dans la branche principale. Au contraire, le projet de Danièle étant plus incertain, aucune des branches n'étant très nettement privilégiée, nous nous intéresserons donc aux phénomènes observables

résultant de cette incertitude. En dernier lieu, je m'intéresserai aux manifestations éventuelles de la tension entre les points de vue des professeures et des élèves.

Dans une seconde partie, je chercherai à décrire les connaissances des professeures : les interactions entre les niveaux et les évolutions repérées.

Actions de Béatrice et Marie-Paule visant à privilégier la branche principale

La clé d'entrée dans la branche principale est de considérer la figure $\mathcal{B}$ comme étant obtenue à partir de $\mathcal{A}$ par une construction.

Béatrice, quand elle lit la consigne avec les élèves, met immédiatement l'accent sur cet aspect (conforme à son projet) :

> « on lit la consigne ensemble [...] alors c'est dix situations où on a construit une figure $\mathcal{B}$ à partir de la figure $\mathcal{A}$ / donc on dira que la figure $\mathcal{B}$ est image de la figure $\mathcal{A}$ par une certaine construction / et c'est à vous / sur votre feuille / de faire apparaître cette euh construction et d'essayer de classer ces situations / en situations analogues ».

Dans son intervention, Béatrice canalise l'attention à la fois sur le fait que $\mathcal{B}$ est image de $\mathcal{A}$, mais également sur l'utilisation nécessaire des instruments de géométrie, élément de contrat repéré pour l'avancée dans la situation.

De même, Marie-Paule, au bout de 5 minutes de travail individuel, intervient collectivement, en jouant très directement sur le contrat didactique :

> « si je vous ai proposé des instruments / c'est que / je m'attends à ce que vous fassiez des constructions / avec ces instruments. ».

Pour avancer dans le problème, il faut reconnaître que les figures $\mathcal{A}$ et $\mathcal{B}$ sont les mêmes à une transformation près, et identifier les points homologues entre ces figures. Au bout de 13 minutes du travail individuel, Béatrice intervient sur ce point :

> « Aurélie t'as remarqué quelque chose / elles sont pareilles / elles sont superposables / donc qu'est que / qu'est-ce qu'on peut faire en fait / on pourrait presque / à chaque point de la figure $\mathcal{A}$ faire correspondre / Grégoire [pas de réponse] / Aurélie nous a dit que les figures étaient pareilles / elles sont superposables donc on pourrait presque à chaque point de la figure $\mathcal{A}$ faire quoi / [pas de réponse] / faire correspondre à chaque point de la figure $\mathcal{A}$ le même point / enfin le point qui se situe au même endroit dans la figure $\mathcal{B}$ ».

Béatrice et Marie-Paule agissent donc directement sur les connaissances de contrat permettant de regrouper les élèves dans la branche principale. Dans leurs classes, les productions des élèves comportent majoritairement le tracé des segments entre les points homologues nécessaire à la

caractérisation des symétries et de la translation et une partie des tracés pour la rotation. Le regroupement des élèves est donc efficace.

Une situation incertaine : le cas de Danièle

En cohérence avec son projet, dans la classe de Danièle, la situation reste très incertaine:

> « [commentaire de la consigne] y a des choses que vous allez peut-être reconnaître / tout ce que vous reconnaissez vous l'explicitez au crayon sur votre feuille / d'accord / tout ce que vous voyez / vous faites des petits signes / des petits dessins / vous faites ce que vous voulez / ou un mot / certains vont se caractériser par un mot / ou par une petite explication ».

L'explication de la construction est bien le but annoncé, mais elle n'est jamais qu'une possibilité de montrer ce qu'on a compris, parmi d'autres:

> « [suite du commentaire de la consigne] vous m'expliquez ce que je dois faire / d'accord / pour passer de l'un à l'autre / comment / vous m'expliquez comment je vais pouvoir le construire » « [commentaire de la consigne au moment de la constitution des groupes] vous allez essayer d'expliquer à vos collègues / comment / on passe d'une figure à l'autre / donc / dessus vous avez le droit de faire une construction / j'en vois qui en ont déjà fait / vous avez le droit que faire un petit schéma / vous avez le droit que / je sais pas / faire des petites flèches / tout ce que vous voulez / qui va vous permettre d'expliquer aux autres et à moi même comment / je peux passer d'une figure à l'autre. ».

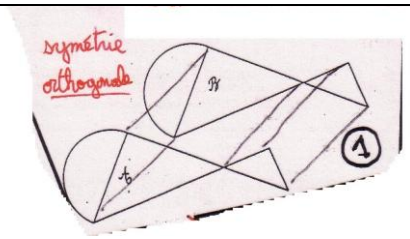
Danièle intervient collectivement pendant le travail individuel pour préciser l'égalité entre les figures $\mathcal{A}$ et $\mathcal{B}$, nécessaire aux deux branches adidactiques :

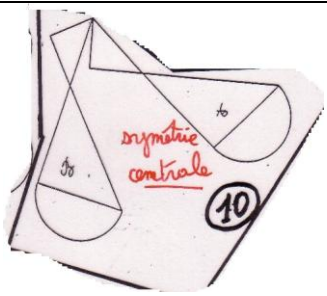
> « j'ai oublié de préciser / il y a au moins une chose que vous n'avez pas besoin de / vérifier / tout ces petits poissons entre guillemets / sont identiques / hein ».

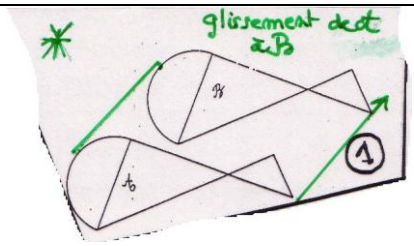
Conformément à son projet, Danièle rend possible les deux situations adidactiques. Le temps consacré au travail des élèves en individuel ou en groupes est un peu moindre que dans les classes de Béatrice et Marie-Paule (26 minutes contre 37 minutes).

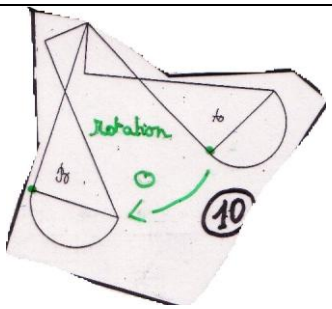
Dans cette classe, on peut attester d'un investissement de la branche nildidactique. On trouve une trace d'une partie de cette réponse : « 2 – 10 » et « 4 – 6 » sur le transparent du groupe Stéphane, Fabien, Jérémy, Johan. Ce groupe s'est agité pendant tout le temps du travail, produire cette réponse ne lui avait sans doute pas demandé beaucoup de temps.

D'une façon générale, dans la classe de Danièle, la plupart des groupes finissent vite, les transparents produits par les groupes comportent très peu de construction, et en particulier aucune construction d'arc de cercle pour les rotations (voir figure 26 pour deux exemples).

<table>
<tr>
<td>

Groupe de Julien, Eric, Guillaume, Sylvain</td>
<td>

Groupe de Julien, Eric, Guillaume, Sylvain</td>
</tr>
<tr>
<td>

Groupe de Séverine, Claire,</td>
<td>

Groupe de Séverine, Claire, Adeline, Arnaud, Alexandra</td>
</tr>
</table>

Figure 26 - Extrait des transparents de deux groupes de la classe de Danièle

Danièle consacre le temps collectif à mettre en scène le problème de la situation principale commune. Mais elle considère comme un choix possible pour les élèves de donner une réponse plus "intuitive" en terme de mouvements plutôt que de construction géométrique. C'est donc l'ensemble des deux situations adidactiques qui est dévolue par Danièle. Le traitement du problème de la branche adidactique principale se trouve dans le topos du professeur, qui interagit avec les élèves de façon maïeutique dans la phase collective. L'incertitude de la situation conduit ainsi à une gestion très dirigée du travail.

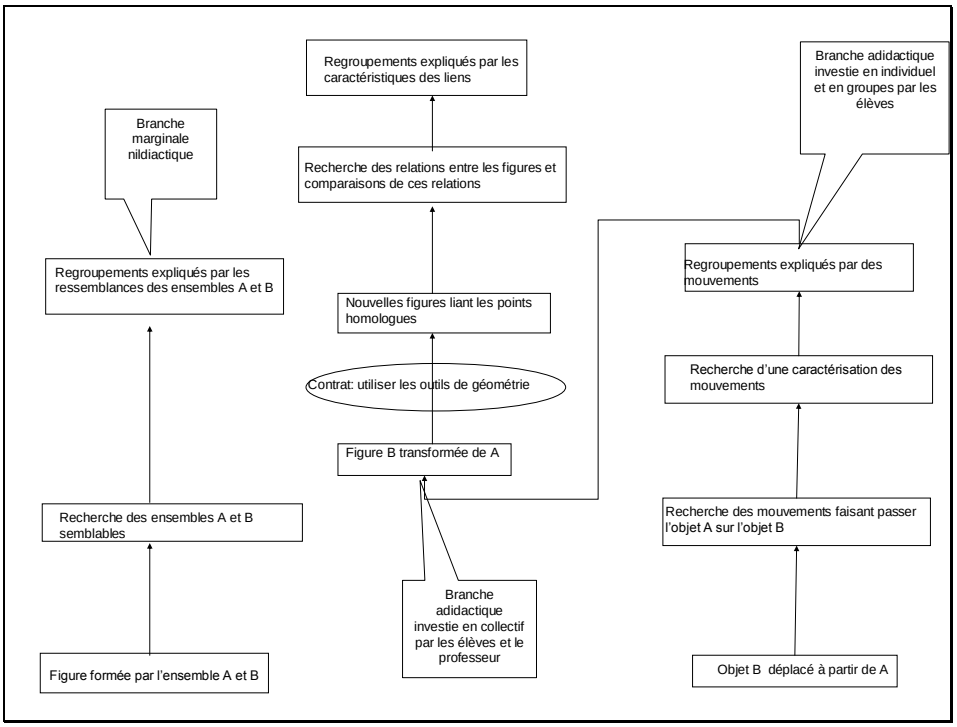


Figure 27 - Le problème et son interprétation dans la classe de Danièle

Tension de la situation didactique

Dans le déroulement, toutes les professeures manifestent aux élèves que la solution complète du problème serait de décrire les constructions des transformations, ce qui correspond à la branche adidactique n°1 : description des transformations permettant de construire $\mathcal{B}$ en ne connaissant que $\mathcal{A}$. Il s'agit d'un problème qui n'est qu'évoqué, puisque à la fois $\mathcal{B}$ et $\mathcal{A}$ sont déjà dessinés. Pour le poser, il faut pouvoir imaginer que seul $\mathcal{A}$ est dessiné et qu'on ne connaît que les caractéristiques de la transformation qui permettront de dessiner $\mathcal{B}$.

Voyons maintenant comme cette tension se réalise pendant la situation de classe, en particulier dans la classe de Béatrice, la professeure la plus exigeante.

Dans la classe de Béatrice, la dévolution de la situation de construction selon une transformation donnée prend une place importante, aussi bien dans son action en classe que dans l'entretien post leçon. Elle introduit dès la première consigne le mot «image ». Dans la phase collective de présentation des transparents au tableau, Héloïse est la première à se présenter, elle travaille sur la figure 3, sur laquelle tous les segments sont dessinés, ils passent par O qu'Héloïse a bien identifié comme centre de la symétrie, mais cela ne suffit pas à Béatrice :

> Béatrice: donc si on voulait construire la figure $\mathcal{B}$ à partir de la figure $\mathcal{A}$ / il faudrait que j'obtienne le point A' / et comment j'obtiendrais le point A' / quelle

construction je vais faire / pour obtenir A' à partir de A / qu'est-ce que je fais / je trace
Héloïse: la droite AO et euh O'O et euh AO'
B: je trace la droite AO / elle coupe la figure / comment tu places le point A'
Héloïse: ben / euh

Devant l'incompréhension d'Héloïse, elle va évoquer le problème prévu :

B: je m'exprime mal / si la figure $\mathcal{B}$ n'était pas dessinée / comment tu obtiendrais le point A' / donc tu traces AO et ensuite qu'est-ce que tu
Héloïse: de la même longueur que OA'
B: et tu reportes euh / tu prends A' sur la droite de façon à ce que O soit
Héloïse: de même longueur
B: soit le milieu de AA' / d'accord /
Dans le traitement de la figure 1, Héloïse ne prend pas en compte les exigences de Béatrice. Béatrice essayera de nouveau avec Yann (meilleur élève) sans succès.

Dans sa classe, Marie-Paule va tout d'abord tenter d'évoquer le problème, sans grand succès. Elle va faire preuve, dans cette séance, d'une grande créativité; elle me dira d'ailleurs à ce sujet, "à chaud" après la séance, qu'elle a pris des décisions non prévues au préalable et qui lui semblent importantes. Elle va tenter d'inventer un nouveau problème, avec la collaboration du meilleur élève de la classe (Nicolas). Sur la partie quadrillée du tableau noir, elle trace une figure simplifiée et va demander à Nicolas

« Est-ce que là dessus sur cette figure sur ce dessin ou quoi on pourrait mettre quelque part un élément qui nous permettrait d'obtenir cette figure en fonction de celle là »

Elle n'obtiendra pas satisfaction, alors que l'intervention du quadrillage permettait de parler de la direction du vecteur de la translation, là où le papier blanc le rendait difficile. Plus tard, elle introduira un nouveau point dans les figures proposées, ce qui constitue une variante du problème évoqué:

« voilà dans que ce point là je prends ce point là / je l'appelle M et j'imagine qu'il fait partie de la figure $\mathcal{A}$ ».

Elle obtiendra ainsi l'adhésion de quelques élèves, et pourra écrire les éléments caractéristiques de la transformation au tableau juste avant la sonnerie.

Danièle, comme Béatrice, introduit dès la consigne le problème évoqué :

« parce que par exemple moi si / si je rajoute / ben ça ressemble vaguement à des petits poissons / si je rajoute un autre petit poisson et que je vous demande son image / comment vous m'expliquez ce que je dois faire / d'accord / pour asser de l'un à l'autre / comment / vous m'expliquez comment je vais pouvoir le construire ».

Pas plus que dans les autres classes, l'évocation de ce problème ne suffira à sa dévolution, par contre, conformément à son projet, Danièle acceptera toutes les interprétations du problème, elle n'en ressentira donc aucune gêne.

Les documents (figures 28) recueillis au cours des travaux de groupe permettent d'attester du type de réponses d'élève prévu, comme dans les exemples ci-dessous.

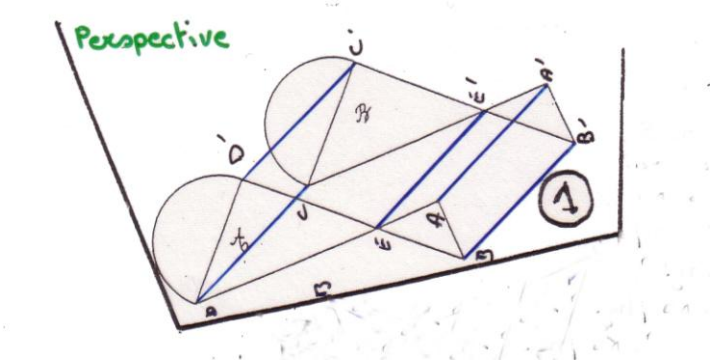


Figure 28 - Classe de Béatrice, réponse du groupe Héloïse, Marianick, Caroline, Bénédicte, Grégoire

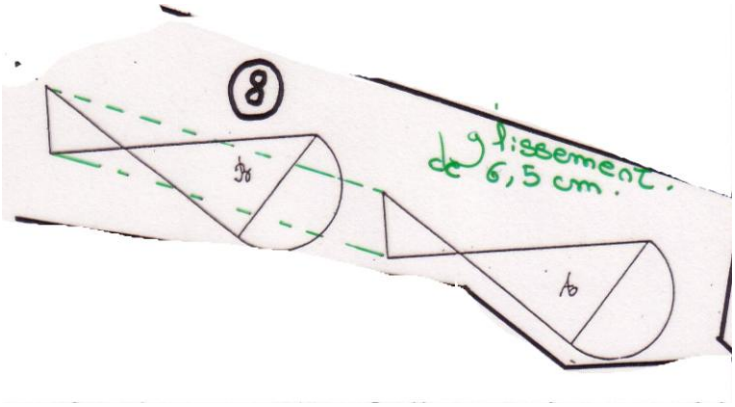


Figure 29 - Classe Marie-Paule, groupe de Julie, Audrey, Simon, Christophe

Dans ces deux extraits, la tentative des élève est d'expliquer ce qu'ils voient après avoir tracé les liens entre les points homologues en donnant plus ou moins de détail (comme par exemple glissement de 6,5 cm). Dans le même groupe (figure 30) une des translations est encore plus détaillée (figure), les élèves tentent de préciser un sens pour le 'glissement', qui irait dans le sens du projet du professeur. Il s'agit de la réponse la plus élaborée (de ce point de vue) trouvée dans l'ensemble des classes, elle est pourtant encore loin de ce qu'attend le professeur.

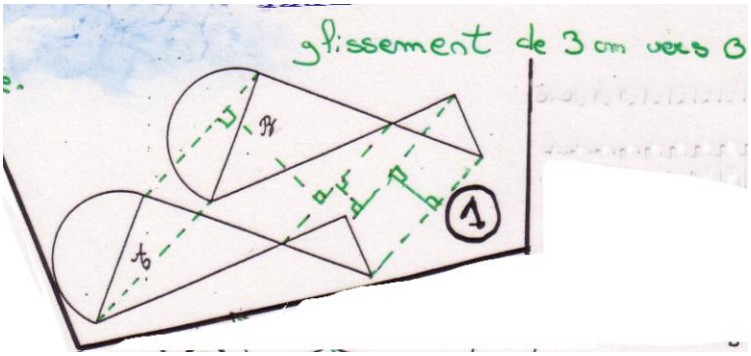


Figure 30 - Classe Marie-Paule, groupe de Julie, Audrey, Simon, Christophe

Interactions entre les niveaux : étude des cas de Béatrice et Marie-Paule

Le protocole recueilli nous permet de montrer comment des contraintes qui opèrent aux niveaux surdidactiques vont avoir des effets dans la gestion de la situation didactique elle-même.

Le groupe de travail s'appuie sur un document qui a été utilisé par Marie-Paule et Geneviève depuis quelques années. Geneviève[35], qui a soigneusement recopié la consigne adoptée l'année précédente, présente une photocopie de celle-ci.

> Voici dix situations. Classe-les suivant la transformation qui permet de passer de la figure $\mathcal{A}$ à la figure $\mathcal{B}$

Cette consigne suscite immédiatement une vive réaction de la part de Béatrice et Danièle (nouvelles dans le groupe de travail) :

> Danièle : je crois que dans le programme ils disent / à aucun moment
> Béatrice (2) (en chœur avec Danièle): faire référence à une transformation du plan dans lui-même / tu me diras on n'a pas dit une transformation du plan dans lui-même / mais quand même

On observe alors une forte perturbation sur le travail du groupe. La consigne finalement adoptée ne comporte plus le nom de « transformation » et le remplace par celui de « situation ».

Pour l'ensemble du groupe de travail, (niveau +3) une contrainte forte est que "Les programmes et les instructions officielles doivent être scrupuleusement respectés". Au niveau de la construction du thème mathématique (niveau +2), cette contrainte va se spécifier par l'interprétation du programme correspondant. Dans le programme de 1985, valable en 1997 pour la dernière année, le thème est nommé de la manière suivante : « Dans le plan, *transformation* de figures par translation ou rotation; translation et vecteur; polygones réguliers ", le commentaire précise : " *La translation et la rotation n'ont à aucun moment à être présentées comme des applications du plan dans lui-même.* Suivant les cas, elles apparaîtront dans leur action sur une figure, ou comme laissant invariante une figure ». Ce n'est pas tout à fait ce que Béatrice et Danièle citent en choeur, qui considèrent comme une contrainte didactique (niveau 0) qu'il "est interdit de prononcer le mot 'transformation'", puisqu'on ne doit pas « y faire référence ».

Béatrice le confirme dans l'entretien post-leçon :

> Béatrice: « t'as vu / je disais à chaque fois dans chaque situation / au lieu de dire à chaque transformation / il me semblait que c'était une consigne qu'on s'était donné aussi / enfin ça c'est si on veut / respecter le programme à la lettre »

[35] Geneviève fait partie du groupe de travail mais n'a pas souhaité être observée en classe.

Dans le protocole de la leçon, Béatrice et Danièle vont buter tout au long sur le mot à prononcer, hésitant ou bredouillant plutôt que de dire le mot « transformation ».

> 9h17 Béatrice (collectif, à voix haute): je vous ai dit qu'il y a une figure était l'image de l'autre par une certaine euh / à partir d'une certaine construction
> *Béatrice ne dira qu'ils doivent "donner un nom à la situation" que dans la consigne du travail en groupe, c'est-à-dire au bout de 21 minutes de travail.*
> 9h27 alors je vais vous donner à chacun deux figures / vous donnez un nom à ces / à ces / situations
> 9h28 / donc vous pouvez tout écrire sur transparent / et donner un nom à la / à la situation /

La lecture du programme de Marie-Paule est tout à fait différente, on pourrait la résumer par : " on ne doit pas faire formellement l'enseignement de toutes les applications du plan dans lui-même, on n'introduit pas formellement l'image d'un point par une application mais on reste au niveau des figures. ". Ainsi, à la grande gêne de Béatrice qui assiste à sa leçon, Marie-Paule va introduire le mot 'transformation' dès le début, et en user abondamment. Dans l'entretien post-leçon, Béatrice attribue à l'expérience cette attitude qu'elle trouve plus décontractée vis-à-vis du programme : « je sais pas si c'est l'expérience ou quoi mais elle travaille plus au feeling / parce que moi / j'ai des idées et j'essaye de les suivre ».

L'analyse montre au contraire que ce n'est pas 'l'expérience', en tout cas pas l'expérience de la classe et de la décontraction qui fait la différence, mais ce sont les connaissances nécessaires à l'interprétation du programme. En effet, Béatrice ne connaît que le programme de 1985, qui correspond également à celui qu'elle a connu en tant qu'élève de collège. Pour elle, l'interdit du programme de 1985 est impossible à interpréter, ce qui produit une connaissance fausse : l'interdiction de prononcer le mot 'transformation', synonyme de 'application du plan dans lui-même'. Marie-Paule connaît les programmes depuis 1945 (et en particulier celui des années 70, premières années de son professorat) et interprète donc le programme comme "on ne doit pas faire formellement l'enseignement de toutes les applications du plan dans lui-même, on n'introduit pas formellement l'image d'un point par une application mais on reste au niveau des figures", ce qui est sans doute le souhait des rédacteurs du programme.

On voit dans cette section du protocole comment l'analyse descendante donne une des clés de lecture des interventions du professeur en classe, les contraintes qui en découlent étant pour le professeur tout aussi effectives que celles qui résultent de l'interaction avec les élèves.

Observation de l'évolution des connaissances de projet de Béatrice (niveau +1)

Le problème de la « tension » en situation didactique a été fortement perçu par Béatrice. Il s'agit de la difficulté qui la préoccupe le plus dans l'entretien post-leçon :

> Béatrice: ils ont compris comment on faisait A' par exemple / à partir de A / en passant par O / mais est-ce que / ah oui je me souviens un peu de ça / il me semblait que j'avais / finalement eux je me demande si ils avaient bien compris la consigne / parce que / elles disaient que O c'était le milieu de AA' / alors que A' c'est le symétrique de A par rapport à O / ce qui est différent / il
> Claire: et pourquoi est-ce que c'est dans la consigne ça
> Béatrice: parce que en fait non / mais tu vois attends / dans la consigne c'est marqué comment obtient-on la figure $\mathcal{B}$ à partir de la figure $\mathcal{A}$ / et il / y en a beaucoup qui ont pas vu ça / qui ont cru qu'on leur donnait une figure et qu'on devait mettre en évidence le / la construction de $\mathcal{A}$ et $\mathcal{B}$ mais / comme si les deux étaient fournis
> Claire: oui / les relations entre eux plutôt que la construction de l'un / à partir de l'autre
> Béatrice: ça je pense que j'ai pas bien réussi à le faire passer
> [Béatrice cherche alors une nouvelle situation, en produisant une analyse fine du problème que lui a posé la séance.]
> Béatrice: on aurait peut-être du la mettre en pointillé la figure $\mathcal{B}$ ou / tu vois / pour montrer qu'elles étaient pas sur le même euh /
> Claire: ouais
> Béatrice: ou d'une autre couleur ou je sais pas

Elle adopte ici le mode de travail de niveau +1 en cherchant à construire un nouveau projet de leçon. Dans les autres classes, les effets de ce niveau ont pu être visibles directement dans l'interaction de classe, car Marie-Paule et Danièle ont cherché à introduire de nouveaux éléments de consigne, comme le point supplémentaire dans la figure.

Observation de l'évolution des connaissances d'observation de Béatrice (niveau -1)

Béatrice ayant attendu 21 minutes pour informer les élèves qu'ils doivent « donner un nom à la situation », pendant toute la période du travail individuel, ils ne savent pas qu'il est légitime de nommer ce qu'ils perçoivent bien comme du "nouveau" avec "leurs mots à eux". La réaction des élèves a été de nommer "symétries" toutes les "situations" rencontrées, en cherchant des adjectifs permettant de caractériser les nouvelles "symétries". A l'issue du chapitre, dans les questionnaires recueillis, voici les réponses d'élèves qui montrent le fonctionnement cohérent de ce vocabulaire.

> Adeline: « Nous avons appris plusieurs sortes de symétries. La rotation, la translation et les vecteurs. »
> Vanessa: « Il y a plusieurs sortes de symétries, j'en ai connu 2 de plus. symétrie par translation et rotation. »

Cette difficulté de vocabulaire des élèves, qui provient directement de l'absence de mot pour parler de ce sur quoi on travaille, peut sembler mineure. Mais les connaissances d'observation

(niveau -1) de Béatrice ne lui permettent pas d'interpréter l'activité de cette manière, au contraire, elle pense que « les élèves ne parlent que de symétries et ne cherchent à construire que des symétriques ». A la 13ème minute du travail individuel (prévu pour durer 10 minutes, et qui en durera 20), elle intervient d'une façon assez agressive car elle pense que les élèves ne « démarrent pas » :

> Béatrice (collectif, à voix haute): essayez d'être un peu malin / vous voyez qu'il y a une figure / je vous ai dit qu'il y a une figure était l'image de l'autre par une certaine euh / à partir d'une certaine construction / alors quand vous tracez une construction sur votre feuille / essayez d'être un peu malin / essayez qu'elle fasse ressortir la façon dont on passe d'une figure à l'autre / ça sert à rien de tracer des droites euh / si ça a pas de sens pour vous

Elle exprime immédiatement cette difficulté au cours de la réaction "à chaud" qui suit la séance.

> Béatrice: / ils faisaient rien au début les miens / je comprends rien je me disais

Plus d'une semaine après, dès le début de l'entretien d'une heure, Béatrice revient sur ce problème.

> Béatrice: dans la mienne ça ne démarrait pas / et donc /[...] / donc ça démarrait pas parce que j'ai l'impression / l'explication que je me suis donnée c'est que la consigne était finalement pas très / [...] et puis / y a quelqu'un qui a prononcé le mot symétrie / c'est Géraldine / et à partir de là tout le monde / tout le monde pensait que toutes les figures étaient euh / c'était des cas de symétrie / ils dessinaient tous partout des axes de symétrie / des

La situation d'entretien va finalement provoquer a posteriori, une nouvelle prise en compte des observations et permettre un apprentissage dans un épisode adidactique (Mercier 1995) pour le professeur. Elle est face au transparent du groupe de Géraldine (figure 31)

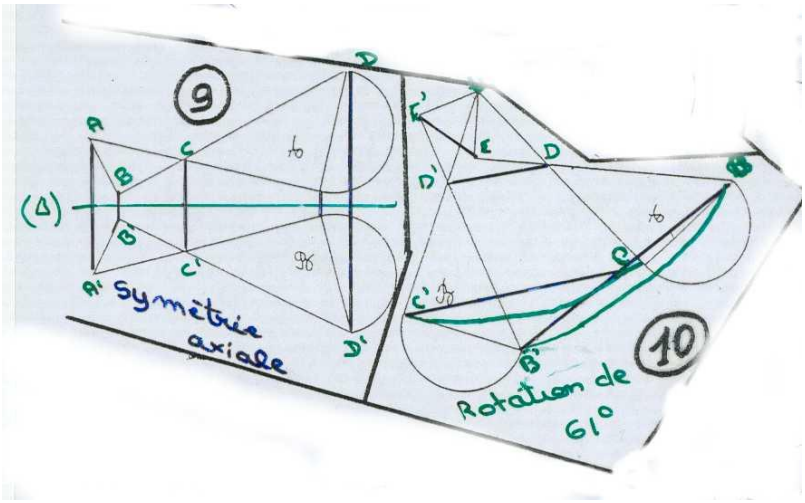


Figure 31 - Groupe de Aurélie, Emeline, Géraldine, Laure[36].

> Béatrice : alors ça / par exemple y en avait une qu'avait vraiment des idées fixes de symétrie / et elle traçait des choses là / des espèces d'axes de symétrie [...]
> Béatrice: ah non parce qu'elle a fait des traits de construction / en fait / comme dans le / comme dans le / comme dans la / comme dans la translation / et y a que là où figurent des arcs de cercle / alors est-ce qu'elle a pas eu le temps de / les tracer ou / et qu'est-ce que ça veut dire aussi les segments qu'elle a tracés [...]
> Béatrice: on peut pas se poser la même question sur euh / puisque ici c'est des segments qu'il fallait tracer à chaque fois / d'ailleurs c'est bizarre / ça en enlève autant / pour les rotations / on trace pas des segments on trace des arcs de cercles et euh / j'avais pas pensé à ça justement
> Claire : et on peut pas tracer des segments justement / enfin ça
> Béatrice: oui on peut tracer un segment et son image mais on peut pas tracer / disons que quand on effectue la transformation les points qu'on écrit c'est pas des segments / et c'est pas des droites

On pourrait formuler cette connaissance de la manière suivante :

> C-1: pour caractériser les transformations, une stratégie de base peut consister à tracer des segments reliant les points homologues (cette stratégie n'est inadéquate que dans le cas de la rotation, où il faut alors tracer des arcs de cercles et non pas de segments)

Dans le cas de Béatrice, cette connaissance, envisagée seulement dans l'entretien mais pas formulée explicitement, n'est sans doute pas stable. Elle sera peut-être réactivée si Béatrice reprend un problème très proche l'année suivante avec une classe de même niveau.

On voit comment pourrait s'engendrer une interaction avec les niveaux supérieur et permettre de nouvelles connaissances, comme par exemple les suivantes :

> C0: On peut reprendre l'idée des élèves de relier les points homologues et les orienter vers la production d'arc de cercle pour les rotations
> C+1 : Il faut avoir le temps de traiter spécifiquement le cas de la rotation dans le problème des 'poissons'
> C+2 : Dans l'organisation du chapitre sur les transformations, la rotation pose un problème spécifique
> C+3 : Les stratégies des élèves peuvent être plus cohérentes que ce que je crois au départ

5 Conclusion et synthèse des résultats

Pour conclure ce chapitre, nous allons voir comment les résultats obtenus permettent d'apporter un nouveau regard sur ce qu'on appelle souvent « l'expérience » du professeur, et que je qualifie

[36] Dans la classe de Béatrice, chaque groupe n'a travaillé que sur deux configurations. Les couleurs des traits de construction montrent que certains éléments: noms des points, axe de la symétrie de la figure 9, arcs de cercle de la figure 10 et mesure de l'angle de la rotation, ont été ajoutés dans un deuxième temps du travail du groupe. Ce groupe n'a pas été envoyé au tableau.

pour ma part de *connaissances*, en attribuant à ce mot un sens large, qui sera spécifié par les niveaux de détermination auxquels ces connaissances interviennent.

Le niveau de projet (niveau +1) semble jouer un rôle privilégié dans le travail du professeur, et constituer un pivot entre les différents niveaux de détermination (§5.1). Dans le système de protocole étudié, les connaissances de ce niveau sont celles que le professeur explicite le plus souvent, et qu'il peut remettre en cause.

En situation de classe, la marge de manoeuvre du professeur semble réduite (§5.2). La plupart des déterminants et des choix s'opèrent hors de la classe, le professeur n'ayant que très peu de possibilité de modifier son projet, ou d'acquérir de nouvelles connaissances, pendant le cours de l'action en classe.

Les procédures des élèves semblent difficiles à observer pour le professeur (§5.3), et ce qui est perçu est difficile à interpréter. Le filtre du projet du professeur empêche le plus souvent que cette observation existe ou puisse jouer le rôle d'une véritable rétroaction en situation.

L'étude des connaissances du professeur nous permet de conclure en identifiant plusieurs types de mémoire didactique (§5.4) du professeur, dont l'une (la mémoire des projets didactiques) pourrait jouer un rôle important dans l'obsolescence des situations didactiques.

5.1 L'importance du niveau de projet dans le travail du professeur

Le discours des professeures hors classe, dans le cadre du groupe de travail et dans les entretiens, semble privilégier le niveau +1, qui joue le rôle d'un pivot entre les contraintes externes et internes à la situation de classe (voir figure 32).

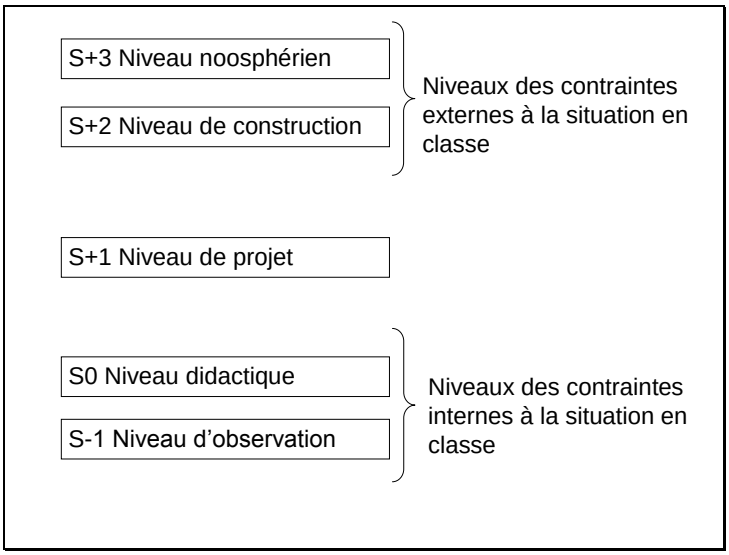


Figure 32 - Le niveau +1 "pivot de la situation du professeur

Pendant le travail de préparation, c'est la conception d'une séance (niveau +1) qui prend l'essentiel de la place, le problème de la conception de l'enseignement des transformations au Collège (niveau +2) restant implicite. Pendant le travail en classe, l'investissement du professeur dans ce niveau continue à se manifester. Une professeure (Marie-Paule) invente un nouveau problème pendant les interactions de classe pour essayer d'améliorer ce qu'elle ressent pertinemment comme une faiblesse de la situation proposée aux élèves. Ce nouveau problème, construit pendant la séance, montre que le niveau de projet (niveau +1), n'est jamais loin dans les préoccupations. C'est aussi de la modification locale du projet (niveau +1) dont une autre professeure (Béatrice) parle immédiatement après la leçon, et ce sur quoi elle cherche des modifications une semaine après, dans l'entretien. L'observation des réactions des élèves est ainsi reçue en premier lieu comme une réaction globale au problème posé, une adhésion plus ou moins grande, au projet, il ne s'agit pas vraiment d'une interaction avec le niveau d'observation (niveau -1), mais plutôt d'une auto observation du professeur en situation didactique (S0), et des moments où celui-ci se sent freiné ou poussé par les réactions des élèves.

Plus généralement, ce qui semble le plus visible pour le professeur, même en classe, est le projet didactique local (niveau +1), à l'aune duquel sont interprétées les réactions des élèves, selon qu'elles permettent de faire avancer ou au contraire qu'elles contrarient ce projet local. Les choix du professeur à ce niveau sont le fruit, en particulier avant la séance, de l'interaction avec de nombreux documents et notamment les manuels scolaires. Ces choix sont en grande partie explicites, puisqu'ils sont déterminants pour décider des documents à produire pour les élèves. A ce niveau, l'interaction et l'échange avec les autres professeurs sont possibles, dans un groupe de travail, notamment. Le professeur est largement conditionné par le scénario qu'il a choisi pour le travail en classe, relativement peu régulé par le travail des élèves et leurs difficultés. Les réactions des élèves sont interprétées selon qu'elles font avancer ou stagner voire reculer le projet, leur interprétation peut être assez superficielle « ça a bien marché aujourd'hui », dans la mesure où le détail n'est pas nécessaire pour évaluer la viabilité du projet.

5.2 Marge de manoeuvre du professeur en situation de classe

Le travail du professeur apparaît finalement avec des marges de manoeuvre assez réduites en situation de classe, la cohérence du travail étant centrée autour du projet de scénario à réaliser. Les niveaux surdidactiques +2 et +3 définissent une partie de ces contraintes, jusque dans l'énoncé des phrases prononcées (cas de Béatrice et de Danièle, qui s'interdisent le mot

'transformation'), mais ces contraintes demandent à être interprétées en fonction des connaissances du professeur. Le 'programme' sur un sujet donné (niveau +2), par exemple, ne donne pas le même cadre à tous les professeurs, même s'il est le même pour tous. Il sera interprété en fonction de l'histoire didactique de chacun et il peut arriver qu'il ne soit pas compréhensible. Les injonctions très générales du niveau noosphérien (niveau +3) peuvent prendre un sens très différent pour chaque professeur, et correspondre à des contraintes effectives très différentes en situation (cas de Danièle qui interprète « découvrir par soi-même » dans un sens moins contraignant pour elle que Marie-Paule et Béatrice).

Le contrat didactique intervient comme moyen du travail du professeur : Béatrice et Marie-Paule interviennent dans l'entrée des élèves dans la branche principale, par le rappel des règles du contrat. Le contrat didactique ne joue pas ici le rôle un peu caricatural qu'on lui attribue trop souvent, mais bien au contraire il permet aux professeures de faire la dévolution de la situation adidactique qu'elles ont choisie, sans donner d'élément sur sa solution. En contraste, une autre professeure (Danièle) laisse aux élèves une grande marge de réponses possibles, la résolution du problème est collective, la professeure assumant alors en grande partie le travail des élèves. Ainsi, la volonté affichée du groupe de travail de « faire découvrir les élèves par eux-mêmes » est interprétée de façon différente en classe, même à partir d'un scénario identique.

5.3 Le problème de l'observation des procédures de élèves

Les connaissances d'observation (niveau -1), c'est-à-dire l'identification et l'interprétation des procédures des élèves, semblent difficiles à acquérir. Le professeur peut pourtant être mis en difficulté par l'impossibilité d'interpréter le travail des élèves de façon adéquate. Dans le système de protocole étudié, Béatrice est confrontée au fait qu'elle s'attend à ce que les élèves tracent non seulement des segments de droite entre des éléments homologues des 'poissons' mais également des arcs de cercle, dans le cas des rotations. Elle est catastrophée par son inaptitude à engager les élèves dans la tâche, ce qu'elle attribue à son manque d'expérience, alors que les élèves sont bien engagés dans l'étude du problème qu'elle leur a posé (et, pour la plupart, dans la branche principale), parce qu'elle interprète de façon erronée leur activité. Dans l'entretien a posteriori prévu dans le cadre de l'observation de recherche, Béatrice découvre la ressemblance des construction des élèves[37] suivant les différentes transformations (symétries, translation, rotation)

[37] Dans le cours ordinaire de son travail, Béatrice n'aurait pas eu l'occasion de voir les travaux des élèves, les transparents des groupes étant normalement destiné à l'effacement, pour des raisons financières : les transparents coûtent cher !

et comprend cet aspect du travail de ses élèves. Cette connaissance est sans doute fragile, et reste très liée au problème posé aux élèves [8] Il est possible qu'elle puisse se stabiliser si Béatrice repose le même problème à d'autres élèves et rencontre les mêmes constructions.

Les interventions en classe (niveau 0) sont essentiellement vues par le professeur comme visant à interpréter le projet, et notamment l'avancée du processus d'institution. Pour faire des choix pendant les interactions avec les élèves, le professeur fait des hypothèses sur les connaissances supposées naturalisées et stables, qui sont la source des critères de validité, et sur les connaissances en cours d'apprentissage. Mais ces hypothèses, souvent implicites, sont difficiles à vérifier : la professeure de la situation « carré de -1 » n'interprète pas la réponse de Michaël comme une remise en cause de son hypothèse. Dans le cours ordinaire de l'enseignement, la confrontation hors classe avec le travail de l'élève n'a lieu que sur la base de la mémoire des interactions, ou alors dans l'évaluation des copies, cette rencontre avec le travail de l'élève a donc rarement lieu dans des conditions favorables à l'évolution des connaissances du professeur.

Une des difficultés concernant les connaissances d'observation est qu'elles sont a priori très locales : si nous nous appuyons sur l'exemple du puzzle, le professeur peut savoir que la réponse « 6 donne 9 » doit provenir de l'erreur additive classique, ce qui lui permettra une interaction très rapide avec chaque élève ayant cette réponse, alors qu'il devra regarder s'interroger sur la procédure en jeu dans le cas d'une réponse « 6 donne 11 » qu'il n'arrive pas a priori à rattacher à une erreur connue. Dans le cadre d'une ingénierie, la connaissance des réponses fausses courantes peut provenir d'une bonne analyse préalable du problème posé, mais les conditions d'exercice du métier font que ce n'est pas possible en situation ordinaire, et que c'est plutôt la répétition d'une réponse associée à une erreur courante qui permettra au professeur d'acquérir cette connaissance.

L'apprentissage des connaissances d'observation semble basé sur l'observation effective en classe et sur la répétition de problèmes semblables. A l'heure actuelle, les professeurs partagent peu les problèmes posés aux élèves, puisqu'il n'existe pas de problèmes standard, ce qui limite les possibilités de diffusion de ces connaissances dans le milieu professionnel. Même dans le cadre d'un groupe de travail partageant les mêmes préparations, je n'ai pas observé de transmission de ce type de connaissance. Et pourtant, certaines connaissances d'observation sont importantes pour le professeur dans la gestion de la leçon. Du point de vue des connaissances de ce niveau, l'intérêt du professeur est donc de travailler avec des problèmes aux énoncés suffisamment semblables pour que les connaissances d'observation chèrement acquises puissent lui permettre

de gérer sa classe et les interactions avec ses élèves avec une certaine économie. C'est ici la stabilité voire l'immobilisme des pratiques qui, au lieu d'être dénoncé, prend son sens dans l'économie du travail du professeur.

5.4 Identification de plusieurs types de mémoires didactiques

Julia Centeno (1995, Brousseau et Centeno 1991) a mis en évidence des phénomènes liés à la mémoire didactique. Ce qu'elle inclue dans cette mémoire est le souvenir qu'a (ou non) le professeur des stratégies passées des élèves. Les observations qu'elle a menées dans le cadre du COREM d'une part, dans des classes ordinaires à l'école primaire en Espagne, d'autre part, mettent en évidence ce qu'elle a appelé des « maîtres sans mémoire » dans les classes espagnoles.

Le point de vue que j'adopte avec les connaissances d'observation permettent de prolonger ces observations, d'une part en considérant la pratique des « maîtres sans mémoire » dans une cohérence, là où Centeno se situe essentiellement dans la critique[38], d'autre part en envisageant un autre type de mémoire didactique.

Les connaissances d'observation du professeur contiennent notamment les connaissances des réponses voire des stratégies des élèves. Quand il interagit avec les élèves dans la situation didactique, le professeur peut avoir des connaissances qui découlent spécifiquement des interactions antérieures des élèves avec le milieu, il ne fonde pas son action uniquement sur les énoncés formulés par les élèves. Pour envisager les réponses des élèves en terme de *stratégies*, le professeur doit reconstruire, au moins partiellement, le cheminement de l'élève dans la résolution du problème, mais également placer le travail de l'élève dans une dimension du plus générale qui pourrait permettre de déterminer des catégories (par exemple 'stratégie additive' regroupe un ensemble de réponses possibles dans différents problèmes de proportionnalité). Le niveau d'observation -1 interagit ici avec dans les niveaux supérieurs, notamment vis-à-vis du niveau +2 dans lequel il construit la structure de l'organisation mathématique de son enseignement.

Le résultat de Centeno qui parle de « maîtres sans mémoire » peut alors être précisé et mis en perspective : il s'agit de professeurs sans mémoire des stratégies, celles-ci ne prenant pas de sens dans leur situation au sens large, qui comprend leur structuration du champ mathématique et pédagogiques (niveaux +2 et +3).

[38] L'état inachevé de la thèse est sans doute pour une part dans la virulence de cette critique, si elle en avait eu le temps, Julia Centeno aurait sans doute considéré différemment ses observations

De plus, la mémoire didactique dont parle Centeno est une mémoire qui considère le temps du professeur dans le temps chronologique : les séances se succèdent jour après jour, avec les mêmes élèves. La mémoire ainsi considérée est proche de la mémoire d'observation (niveau-1), l'unité de cette mémoire étant qu'il s'agit des mêmes élèves.

Je propose de considérer qu'il existe aussi une autre mémoire didactique, plus détachée du temps chronologique, qui rapproche les projets didactiques du professeur. Il s'agit de la mémoire didactique des situations professorales vécues relevant du même projet didactique ou d'un projet proche. Cette mémoire prend en compte l'ensemble des situations antérieures du professeur : mémoire de conceptions antérieures de l'enseignement-apprentissage (niveau +3), mémoire de constructions antérieures de l'enseignement d'un thème mathématique (niveau +2), mémoire des projets de leçons (niveau +1), mémoire des institutionnalisation et plus généralement des interactions avec les élèves (niveau 0), mémoire de l'observation des procédures et des difficultés des élèves (niveau –1).

Cette mémoire des projets didactiques permet au professeur de considérer la classe dans laquelle il travaille comme une classe générique, qui s'inscrit dans un continuum. La réalisation une année donnée est vue par le professeur comme une occurrence des réalisations passées. Plus le professeur a de connaissance sur les histoires (au sens de Artigue 1986) d'une situation donnée, plus ces connaissances servent de filtre à la réalisation effective. Cette mémoire permet donc au professeur d'anticiper et de prendre des décisions. Elle joue sans doute une grande part dans les connaissances qui sont étiquettées sous le terme « d'expérience » du professeur. Mais le filtre de ces connaissances conduit sans doute à reproduire les histoires passées et non plus les conditions de la situation pour l'élève, et pourrait être à la base du phénomène d'obsolescence des situations.

Les professeurs très expérimentés donnent parfois le sentiment de ne plus observer les élèves réels, mais de les voir au travers du filtre de tous les élèves observés dans le passé, parfois jusqu'à ne plus se rendre compte des écarts (par exemple des écarts dus à des changements de programmes dans des zones de l'institution scolaire peu visibles pour un professeur donné, comme l'école primaire pour un professeur de lycée, ou le programme de physique pour un professeur de mathématiques).

Par rapport à d'autres acteurs professionnels, le professeur a sans doute comme caractéristique de planifier (explicitement ou non) ses actions à très long terme, puisque la proximité des situations du point de vue du sens peut être très différente de leur proximité du point de vue temporel.

Conclusion
Perspectives de recherche

A l'issue de cette synthèse de mes travaux, cette conclusion est consacrée à décrire les perspectives de recherches que j'envisage de diriger.

Comme je l'ai décrit en introduction, la perspective de travail théorique qui était la mienne m'a amené à chercher la construction d'une cohérence, dans un paradigme qui permette d'en apprécier la validité. Puisqu'il s'agit maintenant de chercher à décrire des projets de recherche, la perspective change : les résultats recherchés doivent s'inscrire dans une communauté de recherche et se confronter aux résultats déjà obtenus, les méthodes d'observations doivent se préciser (§1). C'est seulement sur cette base qu'il sera possible de décrire des projets de recherche (§2).

1 Ancrages théoriques et observation

Ce paragraphe vise à insérer les projets, dont la description suivra, du point de vue des ancrages théoriques et des observations. L'insertion de ces projets dans une vaste communauté de recherche pose des problèmes qui ne sont pas simples. Nous verrons qu'une rapide revue des travaux immédiatement proches en terme d'objet ou de résultats rélève le très grand nombre d'approches existantes. Ce n'est qu'à l'intérieur de projets suffisamment restreints que l'on pourra sérieusement envisager d'en faire une synthèse, de les articuler ou de confronter des résultats (§1.1). Je pointerai ensuite certaines difficultés méthodologiques spécifiques qui concernent l'observation et l'expérimentation au sujet des pratiques d'enseignement (§1.2). Je proposerai enfin un projet d'Observatoire des pratiques didactiques, qui me semble indispensable pour permettre le recueil des matériaux nécessaire à l'étude des pratiques didactiques ordinaires et le croisement de multiples approches au sujet des mêmes objets (§1.3).

1.1 Prise en compte de travaux existants dans une vaste communauté de recherche

Mon travail s'intéresse au travail conjoint du professeur et des élèves. Dans les communautés de recherche dans lesquelles mon travail s'inscrit : didactique des mathématiques, sciences de l'éducation, « tirer les fils » du rôle du professeur et du travail conjoint de l'élève et du professeur conduisent à la rencontre de très nombreuses recherches, dont les approches sont extrêmement variées.

A l'intérieur de la communauté francophone de didactique des mathématiques, les travaux d'Yves Chevallard (1995, 1997, 2002a, 2002b) d'Aline Robert (2001) et de son équipe (Chappet-Pariès 2002, Hache 2001, Hache et Robert 1997, Roditi 2001, notamment) ont permis de produire des cadres interprétatifs et méthodologiques et des résultats importants dans ce domaine.

Les travaux de Alain Mercier, Gérard Sensevy, Maria-Luisa Schubauer Leoni (Sensevy et al. 2000, Sensevy 2001, Schubauer-Leoni et Chiesa Millar 2002, notamment), apportent un fondement théorique à la prise en compte conjointe du professeur et des élèves en didactique comparée.

Si l'on porte son regard sur les travaux francophones, en sciences de l'éducation, qui étudient spécifiquement le rôle du professeur, d'autres travaux, comme ceux de Marguerite Altet (2001), Claudine Blanchard-Laville (2001) et Marc Bru (2002), à l'initiative du Réseau « Observation des pratiques enseignantes » sont bien entendu à prendre en considération.

La communauté internationale, même limitée à la recherche en « Mathematics Education » a produit également de très nombreux travaux concernant les connaissances du professeur (parmi lesquels on peut citer notamment Steinbring 1998, Kahan et al. 2003, Even et Tirosh 1995, Tirosh, Even et Robison 1998, Ponte et al. 1994, Cooney 1999, Artzt et al. 1999, Jaworski 1999).

Par ailleurs la psychologie du travail et l'ergonomie s'intéressent également spécifiquement au travail du professeur, avec des méthodes différentes (Janine Rogalski 2003, Clot 2001), et pourraient permettre de mieux comprendre son travail dans sa dimension professionnelle.

La théorie de l'action (Baudoin et Friedrich 2001) et de l'action située (Durand et al. 2002) serait également à prendre en considération.

En ce qui concerne l'activité conjointe, c'est la sociologie de l'éducation et les travaux de l'équipe ESCOL (Bautier Rochex 1997 et à paraître) dont il faudrait croiser les résultats avec les nôtres.

C'est parce que ce « fil » est trop large qu'une synthèse ou même une prise en compte de tous ces travaux est impossible.

L'ambition de trouver une base théorique cohérente demande parfois de resserrer les problématiques. Pour que la cohérence reste, il ne faut pas seulement reconnaître des similarités mais construire de véritables ponts. L'accumulation de travaux et de résultats qui entretiennent peu de liens les uns avec les autres n'est pas satisfaisante.

C'est seulement dans le cadre de projets suffisamment circonscrits qu'il sera possible et indispensable de prendre en compte des résultats ou des approches issus de recherches variées.

Néanmoins, cette prise en compte, au delà de la référence obligée et superficielle, n'est pas simple. Dans la description des projets qui suivent, je chercherai à esquisser les premiers liens que ces travaux permettront de faire. Parfois, l'établissement de ces liens pourra être le moteur même du travail.

1.2 Dépassement de problèmes méthodologiques d'observation et d'expérimentation

Observer le travail conjoint du professeur et des élèves a pu être tout d'abord pensé en terme d'observation naturaliste de l'activité du professeur et des élèves en classe. Quand des entretiens ont été menés, il s'est agit le plus souvent de permettre une meilleure interprétation de ce qui s'est passé dans la classe. Mais le professeur, quand il fait la classe, se trouve pris dans une situation qui est en très grande partie contrainte par des choix personnels et institutionnels qui sont pris en amont des interactions de classe. Je rejoins ici la définition qu'Aline Robert (2001) :

> « Les « pratiques de classe » désignent tout ce que dit et fait l'enseignant en classe, en tenant compte de sa préparation, de ses conceptions et connaissances en mathématiques et de ses décisions instantanées, si elles sont conscientes » (page 66)

Il faut donc trouver des moyens pour observer cette pratique qui s'exerce lieu principalement en amont et en aval des interactions en classe proprement dites. Notons au passage que ce travail, s'il est essentiel pour mieux comprendre les pratiques enseignantes, est sans doute très important aussi pour comprendre le travail de l'élève, y compris tel qu'il se manifeste en classe (je pense au travail amorcé par Christine Felix 2003 et Florence Genestoux 2000 concernant le travail à la maison et la façon dont les systèmes auxiliaire et principal se codéterminent).

Nous rencontrons, pour mener à bien cette entreprise, un problème méthodologique d'envergure : les pratiques auxquelles nous nous référons et que nous souhaitons observer sont des pratiques privées, qui ne s'expriment que très rarement dans le cours normal de l'activité. Il nous faut donc chercher des dispositifs d'observation, qu'ils soient manipulés par le chercheur ou qu'ils existent dans l'environnement institutionnel des acteurs du système d'enseignement. La constitution de ces dispositifs est un enjeu important en soi, et pourra parfois représenter l'essentiel d'un projet de recherche.

1.3 Projet d'observatoire des pratiques didactiques

Le travail du professeur se déroule dans une temporalité complexe, que la recherche ne peut le plus souvent modifier. Observer l'activité du professeur au sens large demande la prise en considération d'un temps (d'horloge) qui peut être très long, sur plusieurs années parfois, nous en

verrons une proposition plus loin. Dans ce cadre, le temps qui est normalement dévolu à un travail de recherche (thèse, réponse à un appel d'offre, etc.) est tout à fait insuffisant pour le recueil des données.

De même, le travail de l'élève, ses possibilités différentes d'investissement dans telle ou telle situation, la façon différentielle qu'il peut avoir de s'engager dans tel ou tel contrat didactique, aurait besoin d'une observation suivie qui puisse rendre compte non seulement de la transformation de son engagement, mais également de son travail dans les systèmes auxiliaires du système didactique principal.

La communauté francophone de didactique des mathématiques a bénéficié pendant trente ans d'un instrument exceptionnel, le COREM, qui a permis de recueillir des données extrêmement riches, dans la perspective de l'épistémologie expérimentale. Ces données ont été pensées d'emblée comme un apport à une *communauté* de recherche, et non pas comme la propriété d'un chercheur ou d'une équipe de recherche. Les archives du COREM sont en voie de numérisation et d'organisation[39], ce qui est essentiel. Même si ces documents ont été pensés dans la perspective de l'ingénierie et de l'épistémologie expérimentale, ils ont pu être la base de travaux importants concernant le rôle du professeur (Centeno 1995, Blanchard-Laville (ed) 1997).

Néanmoins, même s'il existait encore, le COREM ne correspondrait plus maintenant au besoin de notre communauté, dans une perspective qui s'intéresse aux classes ordinaires.

Je pense qu'il est urgent et indispensable de s'engager dans la création d'un nouveau Centre pour l'Observation, qui soit cette fois un observatoire des pratiques didactiques. L'INRP, dont une partie des missions est une mission de conservation, pourrait être une structure institutionnelle adaptée à ce projet.

Une partie des projets que j'envisage dans la suite ne peuvent se comprendre que dans cette perspective : le recueil des données y est pensé d'emblée comme n'étant pas réservé à l'observation d'un seul aspect, mais au contraire de manière à rendre possible que d'autres chercheurs, avec des problématiques variées, puissent s'en servir.

Ce projet est lié avec le point de vue méthodologique du travail de constitution de systèmes de protocole complexes (Tavignot 1997) qui conduisent à des sections (Leutenegger 2000) suivant les questions qu'il s'agit d'étudier. Les documents ainsi « engrangés » ne peuvent se comprendre

[39] Travail auquel je participe dans le cadre de l'INRP.

dans un cadre expérimental au sens strict, mais dans le cadre de méthodes propres aux sciences de l'éducation (Leutenegger et Saada-Robert (eds) 2002).

2 Des projets de recherche

Les projets qui suivent sont dans un état d'avancement très variés : certains sont bien engagés, d'autres en sont seulement au stade de la description, d'autres encore sont plus des pistes de dispositifs. Dans ma description de ceux-ci, je m'attacherai à reprendre les trois points développés ci-dessus, c'est-à-dire à montrer : en quoi ils pourront permettre d'établir un lien avec d'autres problématiques, et lesquelles ; quels dispositifs d'observation ou d'expérimentation sont envisagés ; comment les données recueillies pourront-elles alimenter un Observatoire des pratiques didactiques.

A l'issue du travail de cette Note, trois pistes de travail se dégagent.

L'étude de la situation du professeur montre qu'il existe une interaction complexe entre les niveaux. Le niveau de projet (niveau +1) semble privilégié dans l'activité du professeur, y compris en classe. Les niveaux supérieurs (niveaux +2 et +3) sont peu problématisés. Les niveaux inférieurs (niveaux 0 et -1), où s'organise la rencontre avec le point de vue de l'élève, ne semblent pas jouer le rôle de régulation que l'on pourrait attendre. Il s'agit d'hypothèses de travail, qui n'ont été documentées pour l'instant que par des analyses partielles. Le premier ensemble de recherches proposé vise donc à mieux connaître les interactions entre les niveaux de la situation du professeur et la façon dont les connaissances qui relèvent de l'interaction avec les différents milieux sont déterminées et évoluent (§2.1).

Dans une perspective didactique, le niveau de construction du thème (niveau +2) joue un rôle particulier : il s'agit du niveau où s'effectuent les choix sur le fond de l'enseignement d'un thème donné. Du point de vue de l'épistémologie expérimentale, les enjeux les plus décisifs semblent se jouer à ce niveau. Dans les conditions dans lesquelles j'ai observé les professeurs jusqu'à présent, ce niveau n'est jamais privilégié, il reste implicite et il est difficile de comprendre quels sont les déterminants des choix qui y sont opérés. Le second ensemble de recherche proposé vise donc à mieux connaître les contraintes et les déterminations de ce niveau, et la façon dont les connaissances peuvent y évoluer (§2.2).

Enfin, le travail que j'ai engagé m'a conduit à rencontrer non seulement le point de vue du professeur, mais aussi celui de l'élève, grâce à une analyse a priori dans laquelle on voit apparaître des alternatives pour les élèves qui partagent pourtant le même problème posé par le professeur.

L'investissement d'un élève dans une branche ou une autre de la situation didactique, mais également la nature de son investissement (seulement dans la situation nildidactique, ou bien dans la situation adidactique, voire même l'investissement plus ou moins grand des niveaux supérieurs de la situation de l'élève, 0 et +1) peuvent être questionnés. Le professeur et l'élève agissent sans doute conjointement pour favoriser ou au contraire empêcher un investissement ou un autre. C'est donc l'étude des différenciations didactiques qui forme le troisième axe des projets de recherche (§2.3).

2.1 Etude des interactions entre les niveaux de détermination de la situation du professeur

Dans ce paragraphe, je propose trois projets d'étude visant à mieux connaître les interactions entre les niveaux de détermination de la situation du professeur. Le premier projet vise à mieux connaître les connaissances de projet du professeur et notamment la mémoire des situations didactiques semblables. Il s'appuie sur un dispositif expérimental qui prend sont sens dans le cadre d'un Observatoire (puisqu'il suppose le recueil de données sur au moins trois ans). Le second projet vise à identifier et à étudier les dispositifs ordinaires qui donnent l'occasion aux professeurs d'exprimer et de confronter leurs connaissances professionnelles, et notamment didactiques. Le troisième et dernier projet (en cours) s'inspire des méthodes de la psychologie du travail, il vise à mieux connaître les savoirs de métier dont disposent les professeurs expérimentés et les rendre explicites.

Un dispositif d'étude : modification contrôlée des pratiques du professeur

Ce projet s'inscrit dans le cadre de l'étude des connaissances du professeur dans la perspective de la temporalité qui rapproche les « mêmes leçons ». Dans la mesure où il existe de façon ordinaire une certaine stabilité des pratiques, il semble possible d'observer, avec le même professeur et des élèves différents, des unités didactiques que le professeur considère comme proches voire identiques.

Il s'agit d'un projet qui n'en est qu'au stade de la conception, qui est pour l'instant plus centré sur le dispositif d'étude et la façon dont il pourrait s'inscrire dans un Observatoire des pratiques. Ce dispositif est une manière de paradigme expérimental pour les observations que j'entends mener, selon différentes problématiques.

La dimension d'ouverture vers d'autres problématiques pourra conduire à rechercher d'éventuels travaux concernant les stabilités des pratiques des professeurs ou d'autres professionnels, comme

ceux qui comporteraient des résultats concernant l'observation d'une même leçon avec des élèves différents. Nous verrons plus avant dans la description comment d'autres ouvertures sont possibles, qui ne concernent plus la prise en compte des résultats, mais une coopération dans le dispositif.

Une des difficultés auxquelles le chercheur est confronté est celui du caractère implicite de très nombreuses connaissances en jeu dans l'activité du professeur (à tous les niveaux de détermination) et du peu de fiabilité des éléments explicitement mis en avant par le professeur vis-à-vis de leur importance effective dans son travail. Le second problème est celui de l'étude de l'évolution des connaissances du professeur dans cette temporalité spécifique, qui pourra ainsi se révéler comme un temps pertinent ou non pour la mémoire du professeur. Le dernier problème est celui de la façon dont les connaissances du professeur et son activité pourront évoluer ou non au contact d'une analyse de son travail selon des points de vue variés.

Pour permettre cette identification des connaissances du professeur pertinentes pour l'unité didactique observée, et mieux comprendre leur évolution possible, l'idée est d'apporter au professeur une information limitée et contrôlée, issue d'une analyse didactique ou provenant d'un autre champ de sciences de l'éducation, qui pourra venir perturber le cours normal de l'activité du professeur (non seulement en classe, mais également dans sa conception de l'unité didactique). Cette perturbation peut permettre de révéler ce qui fait d'ordinaire fonctionner la pratique.

Il s'agit d'un projet d'envergure qui se situe nettement dans le cadre d'un Observatoire des pratiques, puisque le recueil des données s'étale sur au minimum trois ans, selon le principe suivant :

(a) observation initiale d'une unité de quelques leçons ;

(b) entretien post leçon avec le professeur, quelques semaines après la première observation, position neutre du chercheur ;

(c) analyse par le chercheur de l'unité, choix d'un apport limité à destination du professeur ;

(d) entretien avec le professeur, dans le trimestre suivant l'observation, apport contrôlé du chercheur ;

(e) répétition l'année suivante de l'observation de la même unité, nouvel apport ;

(f) dernière année, observation de la même unité, entretien post leçon, entretien final sur les transformations explicitables pour le professeur.

La conception de ce dispositif prévoit d'emblée que différentes problématiques, issues d'une ou de plusieurs équipes et communautés de recherche, pourront s'y côtoyer dans une structure dont la stabilité pourra permettre des comparaisons et des confrontations sur un matériau d'observation commun.

Ce projet n'est pas encore mis en oeuvre, j'espère pouvoir faire de premières observations en 2004-2005. Une observation recueillie par hasard m'en a donné l'idée, et permet d'indiquer le type de résultat qui peut en être attendu. Dans le cadre d'une recherche concernant les maîtres-formateurs au cours préparatoire (voir ci-dessous), j'ai été amenée à communiquer à une professeure quelques éléments de l'analyse didactique d'une leçon observée, puis à observer la même leçon l'année suivante, suite à un problème technique d'enregistrement la première année. La professeure a modifié la leçon pour prendre en compte une partie des remarques que j'avais communiqué. Le nouveau scénario et sa nouvelle réalisation [11], qui n'ont pas encore été analysés en détail, montrent que la nouvelle situation est beaucoup plus difficile à gérer pour cette professeure parce que les difficultés des élèves, qui n'apparaissaient qu'à la fin dans la première réalisation, rendent la gestion difficile dès le début. La transformation produit une perturbation dans le travail du professeur en augmentant la visibilité des difficultés des élèves. L'année suivante, un entretien avec cette même professeure, dans le cadre d'une autre recherche m'a appris qu'elle avait continué à modifier cette situation (et d'autres) de manière à faire entrer plus directement les élèves dans le problème proposé, ce que l'on pourrait interpréter comme une tentative pour réduire certaines bifurcations. Ces observations dues au hasard ne pourront sans doute pas être exploitées plus avant dans le cadre d'une recherche, mais elles montrent le type de résultats que le dispositif pourrait permettre de produire sur la situation conjointe du professeur et des élèves.

Etude des dispositifs ordinaires d'échange entre professeurs

Ce projet s'inscrit dans le cadre de l'étude des connaissances du professeur et de la façon dont elles ont l'occasion de s'exprimer dans des dispositifs ordinaires. Contrairement au projet précédent, le dispositif auquel je m'intéresse ici ne relève pas d'une expérience, mais d'une observation (selon le sens que Claude Bernard, 1865, donne à ces termes). La rencontre du professeur avec des idées qui provoquent une évolution de ses connaissances peut avoir lieu dans des cadres extrêmement variés, dont beaucoup sont strictement privés (l'écoute d'une émission de radio, par exemple). La plupart du temps, le professeur n'a pas besoin d'exprimer ses connaissances, le contenu de son enseignement n'étant pas sujet à une explicitation dans le cadre

institutionnel de l'exercice de son métier. Néanmoins, il existe quelques dispositifs ordinaires dans lesquels l'échange entre les professeurs est nécessaire. L'observation des échanges entre professeurs dans ces dispositifs présente l'intérêt que ceux-ci ne sont pas contraints par un cadre de recherche et que peuvent y être engagés des professeurs qui n'accepteraient pas l'investigation de la recherche dans leurs pratiques de classe. De plus, dans les dispositifs ordinaires de l'échange, les professeurs ne formulent que ce qui leur semble effectivement utile à la communication, ce sont donc les connaissances formulées, partagées, en débat ainsi que les arguments entre professeurs qui peuvent être observés.

La dimension d'ouverture vers d'autres problématiques peut s'envisager selon deux directions. D'une part la recherche d'éventuels travaux concernant l'étude de dispositifs similaires dans le travail des professeurs. D'autre part l'organisation d'analyses croisées des échanges entre les professeurs, les aspects didactiques n'étant pas les seuls saillant dans de tels échanges.

Dans le cadre de l'Observatoire, l'inventaire et l'observation de tels dispositifs ordinaires me semblent importante. C'est sans doute parce que l'observation des dispositifs ordinaire ne correspondait pas spécifiquement à une recherche ou à une temporalité compatible avec une seule recherche qu'elle a été peu réalisée jusqu'à présent. Une telle observation n'a de sens que dans la mesure où il s'agit d'alimenter l'observation des pratiques du professeur selon de multiples perspectives, avec l'idée d'initier des recherches sur la base de données déjà recueillies.

Les dispositifs assez fréquents qui pourraient être observés sont les suivants :

(a) préparation d'une épreuve commune dans toutes les classes de niveau scolaire donné d'un même établissement[40].

La préparation d'une épreuve commune donne lieu à des régulations entre enseignants, non seulement sur les épreuves elles-mêmes, mais également sur la planification des chapitres avant ces épreuves (puisqu'il faut que les élèves aient étudié les « mêmes » choses). Les choix à faire relèvent donc de plusieurs niveaux de l'activité du professeur, et pourraient demander l'explicitation de connaissances à la base de choix didactiques, notamment sur la construction du projet didactique global (niveau +2). Le choix des épreuves elles-mêmes, la formulation des exercices, la mise au point du barème commun et l'annotation des copies mettent en jeu de

[40] Idée d'Alain Mercier.

nombreuses connaissances d'ordinaire implicites, notamment en ce qui concerne le contrat didactique.

(b) préparation de leçons communes d'un groupe de travail.

La préparation de leçons communes d'un groupe de travail était un élément important dans l'observation à la base du protocole que j'ai recueilli en 1997. Les échanges dans un groupe de travail, qui n'ont représentés dans cette recherche qu'un moyen d'observation des projets didactiques d'une seule leçon, peuvent être pris comme objet d'étude en soit[41], ce qui impliquerait une observation continue du travail du groupe.

Un dispositif expérimental inspiré des méthodes de la psychologie du travail

Contrairement aux projets précédents, qui n'ont pas encore été engagés, il s'agit ici d'une recherche dont la majeure partie du recueil de données est achevée, dans le cadre de l'équipe PAEDI de l'IUFM d'Auvergne à laquelle j'ai appartenue au début de cette recherche. L'exploitation des données est loin d'être achevée, mais elle a déjà donné lieu à plusieurs publications et travaux ([7], [17], [27], Goigoux accepté).

Je présenterai ici les coopérations théoriques et méthodologiques qui ont présidées à la naissance de ce projet, en passant rapidement sur les résultats déjà obtenus, pour me centrer ensuite sur les recherches en cours dans ce cadre et les prolongements possibles.

Le point de départ de cette recherche, tel qu'il est exprimé dans [7] est celui-ci : « Cette recherche vise à mieux connaître les savoirs de métier dont disposent les enseignants expérimentés et les rendre explicites. L'activité de maîtres-formateurs exerçant en classe de cours préparatoire est un objet d'analyse particulièrement pertinent car il nous permet d'établir des comparaisons entre l'enseignement des mathématiques et du français. Il s'agit notamment de distinguer ce qui est commun à toutes les situations d'enseignement et ce qui est spécifique, au sens de dépendant d'un contenu disciplinaire donné, dans une approche comparatiste. »

La coopération entre des chercheurs d'origine variées est d'emblée inscrite dans le projet : Roland Goigoux, sciences de l'éducation et didactique du français, Serge Thomazet, psychologie, adaptation et intégration scolaire et moi-même.

---

[41] J'ai eu l'occasion une fois d'être ainsi observatrice d'un groupe de préparation de séances, qui réunissait des chercheurs et des formateurs aux métiers du bâtiment ([32], [38]), en 1986-1987 mais ces observations n'avaient pas de contexte institutionnel s'intéressant à leur conservation, et bien entendu les outils théoriques pour les interpréter manquaient cruellement.

La méthode d'observation est basée sur une adaptation d'une méthode de psychologie ergonomique (Leplat, 1997 ; Clot, 1999) : les confrontations simple et croisée. Le problème au départ de notre travail est en effet « d'identifier les connaissances et les conceptions des enseignants et d'analyser leur parole afin d'éviter de se méprendre sur leurs intentions (qui ne se réduisent pas seulement à faciliter les apprentissages des élèves) et de mieux appréhender leur expertise professionnelle (qui détermine la qualité des apprentissages des élèves). ». Le dispositif que nous avons mis en place nous permet de répondre au mieux à la documentation des *intentions* des professeurs. Nous avons construit pour cela un système de protocoles évolutif, qui s'enrichit des analyses des chercheurs et de ce que les professeurs expriment sur ces analyses. Ces aller et retour nous permettent une régulation de l'attribution d'intention au professeur : ce que dit le professeur sur la reconstruction de nous faisons de ses intentions ou de sa situation est un élément du système de protocole.

Les premières analyses de ce vaste corpus sont consacrées à l'étude des invariants dans l'organisation des conduites professionnelles des maîtres et, en particulier l'identification d'éléments de normes de l'activité d'enseignement et des tensions que celles-ci produisent avec les projets didactiques et pédagogiques des maîtres ([7], [17] [27]).

L'intérêt de ce type de dispositif est de ne pas centrer a priori les professeurs sur l'explicitation de leurs intentions didactiques : nous avons en effet demandé aux professeurs d'exprimer ce qui était 'habituel' dans ce qu'ils voyait dans leur propre leçon (entretien d'auto confrontation simple) et ce qui les renvoyait à la partie stable de leur pratique quand ils voyaient la leçon des autres (entretien d'auto confrontation croisée). Quand le professeur s'exprime sur un aspect didactique de sa pratique, c'est parce qu'il le considère comme nécessaire parmi d'autres. C'est parce que cet aspect n'est pas désigné plus qu'un autre par la recherche qu'il est alors intéressant de le voir apparaître.

Une limitation de notre travail est le contraste entre la taille énorme du corpus recueilli (une dizaine de leçons observées, autant d'entretiens d'auto confrontation et d'entretiens suite aux analyses) et nos forces de recherche. Notre petit groupe ne sera jamais à même d'exploiter une partie significative du corpus. Malheureusement, ces données n'ont pas été recueillies en incluant une dimension de partage, comme je le suggère avec la création d'un Observatoire, ce qui est difficile a posteriori.

2.2 Etude spécifique du niveau de construction (niveau +2)

Le développement envisagé ici est plus spécifiquement didactique, puisqu'il s'intéresse à la construction d'un projet didactique global (niveau +2) par le professeur. Il s'agit d'interroger le coeur épistémologique du travail du professeur. Le travail envisagé envisage à la fois des développements théoriques de la théorie de situations, en lien avec la théorie anthropologique du didactique (Chevallard 2002a et 2002b, Bosch et Gascon 2002), un développement d'outils en directement du professeur, ainsi que des enquêtes sur les pratiques épistémologiques et les besoins exprimés par les professeurs.

Des problèmes théoriques concernant la construction d'un thème d'enseignement

Dans cette Note, j'ai décrit les problèmes théoriques qui se posent dans le passage entre la construction d'ingénierie et l'épistémologie expérimentale et l'observation de classes ordinaires. Mon travail a permis d'en résoudre quelques uns, avec l'introduction des bifurcations didactiques et la notion de situation nildidactique. Mais la perspective adoptée jusque là est essentiellement locale : observation et analyse de quelques leçons. La prise en compte théorique en porte la marque, ce qui pose des problèmes qui restent à dépasser.

Dans la construction d'ingénierie, une situation adidactique est toujours l'image dans la situation didactique d'une situation fondamentale. Dans ces constructions d'ingénierie, une situation adidactique n'est pas une situation isolée, elle fait partie d'une suite qui est construite par un jeu de variables sur une situation fondamentale du savoir à enseigner. Le travail que j'ai engagé, s'il tient compte de la cohérence locale de la situation adidactique, ne permet pas d'aller plus loin sur la cohérence de cette situation par rapport à un plus vaste ensemble.

Dans le problème des 'poissons', par exemple, je dis que la situation principale commune est une situation adidactique, mais il s'agit d'une considération locale uniquement, qui permet de déterminer une certaine adéquation entre un savoir non encore institué, ou plus exactement un fragment de ce savoir, et la situation. Le problème qui se pose est celui de la relation entre ce fragment de savoir et un ensemble cohérent dans lequel il s'insère. La situation, qui est ici considérée isolément, serait alors envisagée dans l'ensemble des problèmes posés aux élèves. L'articulation des « fragments » du savoir par rapport à une ou plusieurs situations fondamentale nous renseignerait alors sur la plus ou moins grande cohérence de la construction didactique (niveau +2) dans laquelle s'insère le problème que nous avons étudié.

Dans leurs cours à la 11ème école d'été de didactique des mathématiques, Marie-Hélène Salin (2002) et Isabelle Bloch (2002) ont montré la nécessité de la composante épistémologique dans la théorie du milieu. L'enjeu de ce travail est donc de prolonger la 'conversion' de la théorie de situations didactiques non seulement à l'étude des leçons ordinaires prises isolément, mais à l'étude des constructions ordinaires des thèmes. C'est la relation entre situations adidactique et fondamentale qu'il faut interroger.

Sur ce point, quelques travaux issus d'horizon théoriques variés dans le champ de la recherche francophone en didactique des mathématiques me semblent pouvoir être des points de départ pour une réflexion.

Le travail d'Eric Roditi concernant la multiplication des décimaux (2001) me semble pionnier. Une des difficultés de l'étude des constructions ordinaires des thèmes est celle de la réduction des observations : on ne peut pas envisager l'analyse du détail des interactions en classe, Eric Roditi en propose une réduction originale, qui mêle une description des points nodaux des choix dans le chapitre et un focus plus précis sur certains temps des interactions. D'autre part, il montre la cohérence des choix des professeurs et la façon dont les leçons s'insèrent dans les choix opérés dans le chapitre. L'observation du travail de plusieurs professeurs montre la grande variabilité des choix individuels, dans le respect des programmes, ce qui donne un enjeu majeur à l'étude de ce niveau dans lequel le professeur possède une marge de manoeuvre importante.

Dans ses travaux sur le professeur dans l'optique de la théorie anthropologique, Yves Chevallard (2002b) considère des niveaux de détermination mathématique (page 41) et didactique (page 50) qui déploient l'écologie des organisations mathématique et didactique suivant huit composantes. Les plus proches de l'activité en classe sont nommées Sujet et Thème[42], les plus hautes étant Pédagogie, Ecole, Société[43]. Outre l'intérêt propre du modèle, et la question de l'articulation entre celui-ci et celui que j'ai moi-même développée précédemment, se pose la question des relations entre la position du chercheur, ou du formateur, et celui du professeur. Dans son modèle, Brousseau nomme « situation de recherche de la didactique des mathématiques » la situation la plus extérieure de la structuration du milieu[44]. Les niveaux avancés par Chevallard pourraient être

[42] Ces niveaux pourraient correspondre, quoi que dans une optique différente, aux niveaux +1 et +2 du modèle que j'ai développé.

[43] Il s'agit ici de niveaux qui dépassent la visée de mon modèle, à moins de considérer comme un « déploiement » du niveau +3 tel que je l'envisage.

[44] Il s'agit du niveau que je numérote +2.

considérés comme des niveaux de détermination didactique applicables à la situation du chercheur (et peut-être du formateur). S'interroger sur la construction d'un thème d'enseignement pose de façon cruciale la question de l'articulation entre les points de vue du chercheur et du professeur qui, dans les didactiques, pose des problèmes spécifiques (voir l'épilogue dans Goigoux 1999).

Robert Neyret (1995) a montré comment des ouvrages écrits par des mathématiciens, qu'il nomme les *traités*, influencent durablement l'enseignement des mathématiques d'un domaine donné, sans que les acteurs eux-mêmes (les professeurs, mais aussi les auteurs de manuels) n'en soient nécessairement conscients. Eugène Comin (2002) montre également comment les connaissances des professeurs concernant la proportionnalité, quand elles sont étudiées avec le recul que permet le point de vue de l'épistémologie didactique, montre leur fragilité et leur manque de cohérence. Il s'agit d'un champ qui nécessite d'autres travaux, et dans lequel s'inscrit la thèse de Mustafa vérification que je dirige, qui concerne l'égalité et la façon dont les contrats variables concernant l'égalité s'imposent non seulement à l'élève mais aussi au professeur.

De nombreux problèmes théoriques restent à résoudre pour mieux comprendre la part spécifiquement épistémologique du travail du professeur.

Observation des modifications des pratiques des professeurs en cas de changements épistémologiques d'ordre institutionnels

Nous avons vu dans le chapitre précédent que les connaissances épistémologiques (niveau +2) qui fondent l'enseignement d'un thème mathématique donné sont rarement exprimées et discutées dans le dispositif du groupe de travail observé. Dans la recherche concernant les maîtres-formateurs, le même phénomène est observable : y compris dans les conflits entre les professeurs, les connaissances épistémologiques n'apparaissent pas, alors même qu'elles sous-tendent implicitement certains choix ([7], [17]). Une des difficultés est le caractère implicite des choix institutionnels eux-mêmes en matière d'organisation épistémologique.

On peut faire l'hypothèse que les changements de programmes[45] peuvent être à l'origine de perturbations dans l'équilibre entre le professeur et un thème mathématique. L'étude de la réorganisation des connaissances du professeur consécutive à un changement de programme est à mener quand l'occasion institutionnelle se présente. Une telle étude serait d'autant plus pertinente

[45] En France, Laetitia Ravel (2003) a étudié la transposition didactique interne qui conduit des programmes à la classe, dans le cas de l'arithmétique en Terminale S, sujet qui n'avait pas été enseigné depuis une quinzaine d'années

qu'elle s'attacherait à observer les effets des changements sur les premières années suite au nouveau programme, dans un domaine mathématique non pas tout à fait nouveau mais transformé. Hors de ces ruptures, il n'est pas facile d'observer la façon dont s'instaure un état d'équilibre entre le professeur et cette composante du milieu.

Nos communautés de recherche n'ont pas suffisamment cherché à coordonner des travaux, notamment des sujets de thèse, plutôt que de confier à chacun un objet trop vaste. Il me semble que c'est particulièrement vrai dans le cas de changements institutionnels, que l'on ne peut pas reproduire expérimentalement, et dont la fréquence ne dépend pas de la recherche ! La mutualisation des observations et leur conception dans un cadre cohérent me semblent essentiels.

Enquête sur les pratiques outillées par les documents

Dans le milieu de la situation de construction du professeur (niveau +2) interviennent de nombreux documents qui outillent la pratique du professeur : les manuels, les documents d'accompagnement des programmes, les documents de formation, etc. La connaissance qu'en a le professeur, leur disponibilité, la possibilité de s'en servir comme des instruments de travail sont un élément d'investigation des pratiques épistémologiques des professeurs.

Il s'agira ici d'ouvrir la recherche aux travaux qui portent sur l'usage des documents didactiques et pédagogiques par les professeurs et la pratique instrumentée (Goigoux 2001) et, plus largement, à ceux qui portent sur l'usage des instruments (Rabardel 1995).

Le groupe de recherche DéMathE que je dirige à l'INRP depuis septembre 2003, a engagé un travail d'enquête auprès de professeurs d'école d'au moins cinq années d'expérience, qui concerne leurs pratiques de construction de leur enseignement et leurs besoins épistémologiques. Leur point de départ est la question posée aux professeurs : comment s'organise votre travail en mathématiques, à partir de quels documents ?

Les entretiens, qui sont en cours de réalisation (une quinzaine en projet pour l'année scolaire 2003-2004), sont menés de manière à permettre que différents travaux puissent avoir lieu sur ces matériaux, dans la perspective d'un Observatoire. Ils sont peu directifs, ne comportant pas de trame fixe, mais un certain nombre de question-clé sur le parcours personnel et professionnel du professeur, d'une part, et sur sa pratique documentée en mathématiques, d'autre part : comment et avec quel document le professeur organise-t-il la planification des mathématiques sur l'année, le travail des élèves dans une séance, le travail des élèves à besoin particulier (plus lents, plus rapides).

L'analyse de ces entretiens est à peine amorcée, mais il se dégage déjà, chez les professeurs interrogés, des résultats qui confirment par exemple une extrême stabilité des pratiques de construction de séquences. Cette stabilité ne correspond pas à un désintérêt pour les préparations, mais au contraire à un investissement d'un ou plusieurs aspects importants pour le professeur. Ces aspects sont très différents d'un professeur à l'autre (par exemple, pour l'un, l'importance d'une pédagogie différenciée, pour l'autre l'importance de la cohérence du texte du savoir, etc.). La possibilité même d'échanges de connaissances entre des professeurs focalisés de façons si différentes sur tel ou tel aspect mérite d'être interrogée.

Du point de vue de la construction épistémologique, les professeurs semblent le plus souvent faire reposer la logique globale de l'organisation de l'année et de l'organisation des thèmes mathématiques sur une documentation existante, même quand ils n'utilisent pas de manuel en classe avec les élèves. Les sources de l'organisation épistémologique du travail sont souvent issues de la formation initiale du professeur, même lorsque celle-ci est ancienne (plus de quinze ans, pour certains). Seule une reconstruction de la part du chercheur permet d'en attester, l'origine des constructions sont le plus souvent transparentes pour le professeur lui-même. Une étude de la section du protocole correspondant à cet aspect de la planification mathématique de l'année scolaire permettrait sans doute de dégager des résultats plus fins sur les pratiques des professeurs.

Conception d'outils épistémologiques pour le professeur

La décomposition des suites de connaissances correspondant à un savoir, nécessaire à l'élaboration des situations fondamentales[46], n'a pas été suffisamment mise en lumière comme un résultat en soit. Elle a été le plus souvent masquée par la suite des situations issues de la situation fondamentale, considérées en tant qu'ingénierie. Réunir, organiser et compléter ces résultats d'épistémologie expérimentale, dans les travaux de didactique des mathématiques, permettrait de retravailler les mathématiques d'un point de vue didactique et de montrer un apport original souvent ignoré.

Le travail épistémologique en direction du professeur n'est pas caractéristique de la communauté francophone de didactique des mathématiques, alors qu'il est beaucoup plus développé dans d'autres pays, et notamment en Allemagne (Steinbring 1999). L'ouverture internationale, sur les sujets qui seront ainsi mis à l'étude paraît donc essentielle au propos.

[46] Voir par exemple Brousseau 1998 p. 208-216 pour celle du produit de deux rationnels

Le groupe de recherche DémathE a pour projet principal de publier[47], en direction des professeurs des écoles et de leurs formateurs, une collection de documents à caractère épistémologique qui ont l'ambition d'armer les professeurs pour la compréhension – et pour l'enseignement – des mathématiques. En 2003-2004, notre travail s'est centré sur l'énumération (dont la base est le travail épistémologique de la thèse de Joël Briand 1993, sous la direction de Guy Brousseau), qui fournira en 2005 la base du premier document de la collection.

Si j'inclue ici ce projet de développement dans le cadre de mes projets de recherche, c'est d'une part parce qu'il cherche à prolonger les travaux de recherche de la communauté francophone de didactique des mathématiques, mais également parce qu'il découle de résultats issus de cette Note et s'en nourrit.

C'est en effet parce que le niveau de construction du thème mathématique n'est pas privilégié dans le travail du professeur qu'il me semble important de produire des documents qui permettent d'outiller celui-ci. Il s'agit sans doute du point où chercheurs et professeurs ont le plus d'intérêt mutuel à se rencontrer. D'autre part, l'écriture de documents comme ceux-ci implique d'imaginer la façon dont un professeur peut se saisir de ce type d'instrument, en envisageant par celui-ci comme une institution de formation (Neyret 1995). Ecrire pour les professeurs des écoles interdit l'usage d'un vocabulaire mathématique trop formel et exige la prise en compte du caractère professionnel de son usage. La structuration du travail du professeur en niveaux est ici un outil qui permet d'envisager un ensemble d'aspects du travail du professeur mais aussi les points d'appui pour la communication. Le document (qu'il soit papier ou multimédia) doit ainsi prendre en compte d'autres dimensions (et notamment celle de projet local, niveau +1) sans pour autant se transformer en manuel ou en recueil d'ingénierie.

2.3 Etude des différenciations didactiques

Dans ce paragraphe, je développe deux projets qui concernent l'étude des différenciations didactiques. Ces deux projets supposent une collaboration entre la sociologie de l'éducation et les didactiques. Le premier projet est centré sur les élèves, et la façon dont ils s'investissent de façon différenciée dans les situations didactiques. Le second projet est centré sur la pratique du professeur, et la façon dont il peut prendre en compte le travail des élèves, et le caractère différentiateur des activités qu'il met en place.

[47] Chez un éditeur scolaire important, déjà contacté et intéressé par le projet.

Etude de l'investissement de différents élèves dans les situations didactiques

Ce projet s'inscrit dans le cadre de l'étude du point de vue de l'élève en situation didactique. La rencontre des bifurcations didactiques et des situations nildidactiques étant pour moi toute récente, les travaux qui s'imposent pour alimenter cette approche n'ont pas pu être déjà engagés.

La découverte des bifurcations didactiques et leur apparition récurrente dans les observations (voir projet suivant) pose en effet la question du lien possible entre ces 'malentendus' locaux entre professeur et élèves ou les ruptures de contrat vécues par certains élèves et les malentendus étudiés au niveau sociologique par Bautier et Rochex (1997). Leur recherches, dans une perspective de départ tout à fait différente des miennes, conduisent à des interrogations très similaires, comme dans Bautier et Rochex (à paraître), dont le titre « Activité conjointe ne signifie pas significations partagées » est révélateur de cette proximité.

Les recherches en didactique et en sociologie de l'éducation peuvent ici interagir pour envisager à un niveau local des phénomènes reconnus à une échelle plus globale. C'est la raison pour laquelle je me suis associée depuis deux ans au travail du réseau RESEIDA, qui s'intéresse aux processus de différenciation qui relègue très tôt certains élèves, principalement de milieux populaires, dans les marges du système d'enseignement. Dans ce réseau, je propose le concept de bifurcation didactique comme un candidat permettant l'interprétation de la naissance de malentendus au niveau local de la relation didactique.

L'investissement d'un élève donné dans une branche marginale d'une situation didactique peut être contingent, fait ponctuel qui, en tant que tel, ne peut être responsable d'un malentendu durable. Mais différentes déterminations, dont certaines seulement sont didactiques, pourraient conduire certains élèves à s'engager de façon répétées dans les marges des problèmes. Par ailleurs, l'investissement de branches marginales de la situation didactique n'est pas le seul problème susceptible de porter, au niveau local, l'origine d'une différenciation. En effet, l'investissement de l'élève peut ne pas être marginal, mais simplement partiel : toute situation adidactique comporte une situation nildidactique, que l'élève peut investir sans aller au delà.

De nombreuses questions se posent : Peut-on attester de phénomènes de ce genre ? De leur répétition ? Les professeurs agissent-ils de la même façon pour engager les élèves dans le problème ? Quel est le rôle du contrat didactique dans cet engagement ? S'agit-il d'un fait ponctuel ? Plus durable ? Quels en sont les déterminants ?

Le système de protocole qu'il faut constituer pour accéder à une permanence des malentendus locaux représente un projet ambitieux : il implique à la fois des recueils en classe et un suivi de certains élèves pendant une période significative. La difficulté méthodologique du travail est qu'il faut à la fois un recueil à grain fin pour attester de microphénomènes et aussi un suivi longitudinal qui puisse donner des informations sur ce qui se passe, pour un élève donné, à plus long terme. La construction même du système de protocole est un problème très délicat, qui est seulement en voie de résolution au sein de notre groupe de travail.

Analyse des pratiques en classe, observation du travail conjoint des élèves et du professeur

Dans le cours de mes recherches utilisant la technique de la structuration du milieu, j'ai été amenée à faire de nombreuses analyses de situations. La première rencontre avec le « dédoublement de situation » a eu lieu dans le cadre d'un dysfonctionnement d'une situation, patent pour le chercheur et vécu par le professeur comme tel. J'ai donc longtemps pensé que les situations présentant des bifurcations étaient des situations « mal construites », comme il était d'ailleurs normal d'en rencontrer dans le cours d'une pratique ordinaire, dans laquelle les éléments ne peuvent être minutieusement pesés comme dans le cas d'une ingénierie.

La fréquence des situations présentant des bifurcations multiples, et notamment des branches nildidactiques, en mathématiques et dans d'autres disciplines, m'amène à renverser le point de vue [28] et à m'interroger sur la stabilité de telles situations. Plusieurs directions de travail pourraient contribuer à alimenter cette question.

La première est de s'interroger sur ce que les situations à bifurcations permettent de faire *fonctionner* dans la situation de classe ? Le professeur et les élèves contribuent-ils à cette stabilité ? Le recueil de données devra ici permettre de comprendre à la fois le travail du professeur et celui des élèves ou de certains élèves différenciés scolairement.

La réflexion amorcée ici rencontre les observations de Goigoux (1999) auprès des professeurs de SEGPA, celles de Perrin-Glorian (1993) au sujet de l'enseignement en classes faibles et celles de Butlen et al. 2002 au sujet de l'enseignement en REP. Conduire la classe, ne pas rompre la relation pédagogique, semble ainsi placé par les professeurs, dans ces circonstances particulières, avant l'engagement dans la transmission de savoirs. Elle croise également la notion de contrat différentiel (Schubauer-Leoni 1986, 1997, 2002), qui prend en compte les formes différentes du contrat didactique suivant les représentations de l'élève que ce fait l'enseignant.

Une autre direction de travail concerne la difficulté, pour le professeur, de voir autre chose que ce qui relève de son point de vue, et donc de la branche principale. Il est possible que les élèves qui investissent une branche marginale, ou ceux qui n'investissent de la situation nildidactique incluse dans la situation adidactique, n'aient pas été 'vus' par le professeur. Dans ce cas, aucune régulation sur la nature du problème ne peut avoir lieu, puisque le dysfonctionnement n'est pas visible du point de vue du professeur. La question devient alors : quels sont, pour le professeurs, les observables du travail de l'élève, parmi ceux-ci, quels sont les observés ? Le pendant de cette question, du point de vue de l'élève, étant : qu'est-ce que l'élève donne à voir au professeur de son travail ?

Ces questions nous engagent à dégager, dans le travail conjoint du professeur et des élèves, ce qui est effectivement vu par le professeur. Le travail de correction des copies pourrait y être étudié. Qu'en retient le professeur au sujet du travail de l'élève ? Quels sont les indices qui sont pris en compte dans le « pilotage » des projets didactiques futurs ?

Une dernière piste concerne le partage de responsabilité entre professeur et élève : le professeur pose le même problème aux élèves, il réalise ainsi sa part de travail devant un public très hétérogène. Le fait de s'engager dans une branche ou une autre est à la charge de l'élève, la responsabilité du professeur n'est plus engagée. Cette façon d'envisager ainsi le processus de dévolution « a minima » désengage le professeur.

Il faudrait étudier ce qui, dans l'ensemble de la situation du professeur, et notamment dans le niveau noosphérien (niveau +3) peut permettre ou au contraire empêcher le professeur de se satisfaire de cet engagement minimum de l'élève. La société (comme le suggère Chevallard 2002b) prescrit une part du travail au professeur. Ce qui est en jeu ici est notamment l'injonction sociale, plus ou moins importante, d'intégration scolaire. Si cette l'intégration est une priorité ou bien si elle ne représente qu'une possibilité, les pratiques aux niveaux inférieurs (de +2 à -1) ne sont sans doute pas les mêmes. Par exemple, l'observation par le professeur, dans la résolution d'un problème donné, de la marginalisation didactique d'un élève de milieu populaire peut être vécue soit comme une alerte qui peut conduire à une action immédiate, soit au contraire comme simplement 'dommage' mais 'normal'.

L'individualisation de l'enseignement peut conduire les professeurs à penser qu'il est normal que chacun prenne la part qu'il peut, qu'il avance à son rythme, etc. Le point de vue que je développe ici met en valeur les aspects possiblement pervers de l'enseignement différencié, alors que celui-ci

peut être au contraire valorisé comme une façon d'intégrer tous les élèves dans le travail scolaire, dans l'acceptation des différences.

Dans le cadre de l'étude d'une section du système de protocole des maîtres-formateurs au CP, je suis engagée dans un travail d'analyses croisées avec Serge Thomazet, qui adopte le deuxième point de vue depuis la problématique de l'intégration scolaire.

Pour pouvoir aller plus loin dans cette direction, de nouvelles observations, qui permettraient une visibilité à part égale entre le travail du professeur et celui des élèves, seront nécessaires.

Remerciements

J'ai commencé ce voyage il y a presque trois ans, tout d'abord au sein de l'Equipe PAEDI de l'IUFM d'Auvergne, puis dans l'UMR ADEF, en détachement à l'INRP.

Ecrire la synthèse de mes travaux, si longtemps après ma thèse, a été une épreuve difficile. Si je ne l'ai pas envisagé avant les années 2000, c'est que je ne n'imaginais pas en quoi mes problématiques pouvaient alimenter la recherche en mathématiques appliquées, sans voir toutefois qu'ils pouvaient intéresser une autre communauté de recherche : les sciences de l'éducation.

L'interaction avec les membres de l'équipe PAEDI, équipe informelle tout d'abord, maintenant reconnue en tant que laboratoire universitaire, a été décisive dans la prise de conscience de mon appartenance non seulement possible, mais de fait, à la communauté des sciences de l'éducation. En particulier, le travail avec Roland Goigoux m'a montré la possibilité et l'intérêt d'une collaboration avec la didactique d'une autre discipline, et les sciences de l'éducation.

Alain Mercier a été le directeur de mon travail. Nous n'imaginions sans doute pas l'un et l'autre, au début de cette collaboration, que ce travail serait si long et si difficile. Il a su me laisser naviguer à ma guise, et me consacrer du temps quand j'en avais besoin. Son écoute flottante et sa lecture pointilleuse sont pour beaucoup dans les avancées de ce travail.

D'autres rencontres jouent un rôle important dans ce parcours, qui correspondent au travail au sein de deux réseaux : le réseau RESEIDA et celui de la didactique comparée. Les discussions au sein de ces réseaux m'ont obligée à clarifier des idées qui étaient alors encore vagues, comme celle de bifurcation didactique, et à envisager la généricité et la spécificité de mon travail.

Au delà de ces réseaux francophone, la confrontation avec la communauté internationale de « Mathematics Education » m'a fait comprendre que la diffusion des travaux de ma communauté d'origine devait passer par la disponibilité des résultats et non pas, comme nous avons le plus souvent tenté de le faire, par celle des théories. J'ai alors pu commencer à apprécier les résultats de travaux issus de problématiques très différentes des nôtres.

Ce détour m'a permis d'apprécier également des travaux, issus de la communauté francophone de didactique des mathématiques, mais produits dans des optiques tout à fait différentes de celle du paradigme que je cherche à alimenter, dont je n'ai perçu longtemps que les différences et non pas les proximités.

Je tiens à remercier les membres de mon jury d'habilitation : Elisabeth Bautier, Samuel Johsua, Alain Mercier, David Pimm, Aline Robert, Maria-Luisa Schubauer Leoni, dont le choix a été dicté non pas par la proximité de mes travaux avec les leurs, mais par la volonté de mettre à l'épreuve mes idées auprès des courants de recherche qui s'intéressent aux questions que j'ai cherché à élucider, avec de tout autres outils théoriques et méthodologiques. Les questions passionantes qu'ils m'ont posé m'ont permis de mieux comprendre où se situaient les différences et les proximités.

J'ai soutenu ma thèse il y a quinze ans… pendant toutes ces années, les interactions avec tant de personnes ont été importantes dans mon parcours qu'écrire des remerciements, c'est prendre le risque impardonnable d'en oublier. Pour tenter de ne pas le faire, j'ai retracé mes pas depuis 1989, qui m'ont conduits dans tant de lieux différents, aussi bien géographiquement qu'intellectuellement. J'ai choisi la plupart du temps des remerciements collectifs, parce que ce sont les discussions dans des groupes de travail, où chacun avait sa place, qui m'ont permis d'avancer.

A Grenoble, tout d'abord, où j'ai appris beaucoup et tant apprécié les discussions avec tous mes collègues et amis. Parmi eux, je voudrai particulièrement remercier Annie Bessot, qui a toujours été à mes côtés, discutant, encourageant, avec une honnêteté intellectuelle implacable et une amitié indéfectible. Lalina Coulange et Annie ont été mes premières lectrices, j'espère ne pas avoir déçu leur attente.

A Clermont-Ferrand, outre les interactions avec mes collègues chercheurs, dont j'ai déjà parlé, travail à l'IUFM d'Auvergne m'a permis de connaître d'autres collègues : formateurs, professeurs de mathématiques en collège ou en lycée, professeurs d'école, qui m'ont permis de connaître de façon intime le fonctionnement de l'enseignement des mathématiques. Leur ouverture d'esprit et leur disponibilité ont rendu ce travail possible.

A Marseille, mon intégration toute récente à l'INRP dans l'UMR ADEF m'a permis d'avoir des conditions de travail compatibles avec l'écriture de cette note de synthèse, le soutien qui m'a été ainsi donné a été très important. Je voudrais particulièrement remercier Annie Rombi, secrétaire de l'UMR, dont la gentillesse, la disponibilité et l'efficacité m'ont beaucoup aidé.

Travaux de l'auteure

Ouvrages

[1] Margolinas C., 1993, *De l'importance du vrai et du faux dans la* classe *de mathématiques*, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble, 256p

Traduction en grec parue en 2003 aux éditions Σαββαλαζ

Revues scientifiques

[2] Margolinas C., 1987, Modelli del matematico e dell'allievo a proposito dei numeri reali, *L'Educazione Matematica, Anno VIII, Serie II, Vol.2, Supplemento n.1- 1987* pp. 135-147.

[3] Margolinas C. 1990, La ricerca in didattica della matematica, *Quaderni di ricerca didattica*, n°1 pp. 5-25 G.R.I.M, Université de Palerme.

[4] Camarda S., Spagnolo F., Margolinas C., 1990, Un ostacolo epistemologico rilevante per il concetto di limite: Il postulato di Archimede, *Quaderni di ricerca didattica* , n°1, pp.26-49 G.R.I.M, Université de Palerme.

[5] Margolinas Claire, 1992, Eléments pour l'analyse du rôle du maître: les phases de conclusion , *Recherches en Didactique des Mathématiques vol 12 n°1*, pp. 113-159 ed. La Pensée Sauvage, Grenoble.

[6] Margolinas C., 1997, Didactique, technique, visibilité, *Skholê n°7,* pp. 135-140 ed : Marseille: IUFM.

[7] Goigoux, R., Margolinas, C. et Thomazet, S. (sous presse). Controverses et malentendus entre enseignants expérimentés confrontés à l'image de leur activité professionnelle, *Bulletin de psychologie*, Paris.

[8] Margolinas C., Coulange L., Bessot A. (accepté sous réserve de modifications, en cours de révision) What can the teacher learn in the classroom? , *Educational Studies in Mathematics,* ed. Kluwer, Dordrecht

Conférences invitées

[9] Conférence au congrès International Commission on Mathematical Instruction « What is Research in Mathematics Education, and What Are Its Results ? » Washington, DC, mai 1994.

Margolinas C., 1998, Relations between theoretical field and practical field, in Sierpinska A. et Kilpatrick J. *Mathematics Education as a Research Domain: A search for Identity,* pp. 351-357 Dortrecht: Kluwer.

[10] Conférence 'regular lecture' International Congress on Mathematical Education, Tokyo, juillet 2000

Margolinas C., 2004, Modelling the Teacher's Situation in the Classroom, Regular Lecture, *9th International Congress on Mathematical Education, Tokyo*, sous presse chez Kluwer, Dordrecht

[11] Conférence plénière au colloque pluridisciplinaire international « Construction des connaissances et langage dans les disciplines d'enseignement », Bordeaux, avril 2003

Margolinas C., 2003, Un point de vue didactique sur la place du langagier dans les pratiques d'enseignement, Conférence plénière, *Actes du colloque pluridisciplinaire international, Construction des connaissances et langage dans les disciplines d'enseignement, Bordeaux,* CD-Rom.

[12] Conférence plénière au Groupe d'Etude en Didactique des Mathématiques, Université Laval, Québec, mai 2004 : La situation du professeur et les connaissances en jeu au cours de l'activité mathématique en classe

Chapitres d'ouvrages

[13] Margolinas C., Heinz Steinbring, 1994, Double analyse d'un épisode: cercle épistémologique et structuration du milieu, in vérification et al. eds, *Vingt ans de didactique des mathématiques en France,* pp. 250-258 ed. La Pensée Sauvage, Grenoble.

[14] Margolinas C., 1995, La structuration du milieu et ses apports dans l'analyse a posteriori des situations, in Margolinas eds., *Les débats de didactique des mathématiques,* pp. 89-103 La pensée Sauvage ed., Grenoble.

[15] Margolinas C., 1995, Dévolution et institutionnalisation: deux aspects antagonistes du rôle du maître, in Comiti C. et al. eds, *Didactique des disciplines scientifiques et formation des enseignants*, pp. 342-348 Maison d'Edition de l'Education, Hanoï.

[16]Comiti C., Grenier D., Margolinas C., 1995, Niveau de connaissances en jeu lors d'interactions en situation de classe et modélisation de phénomènes didactiques, in vérification et al. eds, *Différents types de savoirs et leur articulation,* pp. 93-129 ed. La Pensée Sauvage, Grenoble.

[17]Margolinas C. et Goigoux R., (accepté, en révision), Entre pratique et formation : une étude des savoirs de métier de maîtres-formateurs au cours préparatoire (élèves de 6-7 ans), Symposium « Questions de didactique comparée », *Réseau Education Formation*, Genève, septembre 2003, Publication en cours de proposition à Kluwer.

Actes de colloques scientifiques

[18]Margolinas C., 1991, Interrelations between different levels of didactic analysis about elementary algebra, Proceedings of the fifteenth conference of the International Groupe for the Psychology of Mathematical Education pp. 381-389

[19]Margolinas C., 1993, Identification et jugement de validité au sujet d'un résultat en didactique, in Noirfalise R. coord, atelier, *Actes de la 7e Ecole d'été de didactique des mathématiques*, pp. 16-23.

[20]Margolinas C., 1995, Principes de l'analyse de la situation de l'enseignant dans une relation didactique, in Perrin-Glorian et al. eds, atelier, *Actes de la 8e Ecole d'été de didactique des mathématiques*, pp. 66-69.

[21]MARGOLINAS Claire, 1997, Etude de situations didactiques "ordinaires" à l'aide du concept de milieu: détermination d'une situation du professeur, conférence, *Actes de la 9ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques;* pp. 35-43 Ed. A.R.D.M.

[22]Margolinas C. 1998 Le milieu et le contrat, concepts pour la construction et l'analyse de situations d'enseignement in R. Noirfalise (Eds) *Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques*, cours, Actes de l'Université d'Eté, La Rochelle, pp. 3-17, Juillet 1998, ed. IREM Clermont-Ferrand.

[23]Margolinas C., 1999, Une étude de la transmission des situations didactiques, *Actes du 2ème colloque international "Recherche(s) et formation des enseignants",* CD-Rom, Grenoble: IUFM.

[24]MARGOLINAS Claire, 1999, Les pratiques de l'enseignant. Une étude de didactique des mathématiques: recherche de synthèses et perspectives, cours, *Actes de la 10ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques,* pp. 10-34 Ed. A.R.D.M.

[25]Margolinas C., 2002, Situations, milieux, connaissances : Analyse de l'activité du professeur, cours, in Dorier J.L. et al, *Actes de la 11ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques,* pp. 141-157 Ed. La pensée sauvage, Grenoble.

[26]Margolinas C., La dévolution et le travail du professeur, in *Actes du colloque international Guy Brousseau (Bordeaux juin 2000),* La Pensée sauvage, Grenoble, à paraître en 2004)

[27]Goigoux R et Margolinas C., (accepté), Une comparaison de l'activité d'une maîtresse de cours préparatoire en français et en mathématiques, (atelier), *Actes de la 12ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques,* Ed. La pensée sauvage, Grenoble

[28]Margolinas C., (accepté) Les situations à bifurcations multiples : indices de dysfonctionnement ou de cohérence ? (moment)*Actes de la 12ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques,* Ed. La pensée sauvage, Grenoble

[29]Margolinas C. et Schubauer-Leoni M.-L. (accepté) Généricité et spécificité des théories didactiques (introduction au thème) *Actes de la 12ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques,* Ed. La pensée sauvage, Grenoble

Séminaires avec actes

[30]Margolinas C., 1985, Ecriture des nombres et obstacle des infiniments petits chez des élèves de 3e et 2e , *Séminaire de didactique des mathématiques et de l'informatique*, pp. 87-123 IMAG.

[31]Margolinas C., 1986, Eléments pour une problématique de la vérification, *Séminaire de didactique des mathématiques et de l'informatique*, pp. 19-53 IMAG.

[32]Margolinas C., Bessot A., Eberhardt M., Desprez S., 1987, *Une collaboration Recherche/Formation dans le cadre de la formation en dessin technique de travailleurs du bâtiment,*, Séminaire de l'Institut de Formation des Maîtres , Grenoble.

[33]Margolinas C., 1992, Analyse de situation et analyse du rôle du maître sur un cas particulier, *Séminaire de l'équipe recherche en didactique des mathématiques et de l'informatique*, LSDD, IMAG, pp. 185-205 Université Joseph Fourier, Grenoble.

[34]Margolinas C., 1994, Jeux de l'élève et du professeur dans une situation complexe, *Séminaire "Didactique et Technologie cognitive en mathématiques",* L.S.D.D., IMAG, pp. 27-83 Université Joseph Fourier, Grenoble.

[35]Margolinas C., 1997-1998, Projet pour l'étude du rôle du professeur en situation, *Actes du séminaire de l'équipe de didactique des mathématiques,* pp. 37-54 Laboratoire Leibniz, Grenoble

[36]Margolinas C., 1999-2000, Il ruolo dell'insegnante in classe visto dalla ricerca in didattica della matematcia*,* in Gallo Elisa et al. (eds) *Conferenze e seminari Associazione Subalpina Mathesis, Seminario di Storia delle Matematiche "Tullio Viola",* pp. 263-275 ed. Università di Torino

[37]Margolinas C., 2000, La production des faits en didactique des mathématiques, *Actes du séminaire du LIREST,* pp. 33-56 Ed ENS Cachan

Rapport de recherche

[38]Bessot A., Sylvain D., Eberhard M., Gomas B., Margolinas C., Moreau F., 1987, *Recherches didactiques sur la formation de base en dessin technique pour des travailleurs du bâtiment*, Rapport de recherche "lecture de plan" financée par le FAS Rhône-Alpes

Edition d'ouvrages

[39]1995, *La mémoire didactique de l'enseignant*, Thèse posthume inachevée de Julia Centeno, ed. LADIST, Bordeaux, 399p.

[40]1995, *Les débats de didactique des mathématiques*, Actes du séminaire national 1993-1994, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble, 188p.

[41]1997, co-responsabilité avec Marie-Jeanne Perrin de la publication du *numéro spécial* de la revue *Recherches en didactique des mathématiques* » concernant l'actualité des recherches sur le rôle de l'enseignant (n°17.2).

Margolinas C., Perrin-Glorian M.-J., 1997, Des recherches visant à modéliser le rôle de l'enseignant, Editorial, *Recherches en Didactique des Mathématiques vol 17 n°3*, pp. 7-16, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble

Ce numéro de la revue est également diffusé comme ouvrage à part entière : Margolinas C. et Perrin M-J. (eds) (1998) *Cinq études sur le rôle de l'enseignant* ed. La Pensée Sauvage, Grenoble.

Lectures et notes

[42]Margolinas C., 1997, A propos de « Regards croisés sur le didactique », Notes de lecture, *Recherches en Didactique des Mathématiques vol 17 n°1*, pp. 97-104, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble

Diffusion des résultats auprès des professeurs

[43]Margolinas C., 1988, Une étude sur les difficultés d'enseignement des nombres réels, *Petit x n°16,* pp 51-68. *IREM de Grenoble*

Références

ALTET Marguerite, PERRENOUD Philippe, 2001, PAQUAY Léopold, *Formateurs d'enseignants: quelle professionnalisation*, De Boeck, 2001

ARSAC Gilbert et MANTE Michel, 1988, *Le rôle du professeur. Aspects pratiques et théoriques, reproductibilité*, *Séminaire de didactique des mathématiques et de l'informatique,* n°101, LSD-IMAG, Grenoble.

ARTIGUE Michèle, 1986, Etude de la dynamique d'une situation de classe: une approche de la reproductibilité, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 7 n°1 pp. 5-62, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble.

ARTZT F. Alice et ARMOUR-THOMAS Eleanor, 1999, A cognitive model for examining teachers' instructional practice in mathematics : a guide for facilitating teacher reflection, *Educational Studies in Mathematics* 40: 211-235

BAUDOIN Jean-Michel et FRIEDRICH Janette, 2001, *Théories de l'action et éducation,* Raisons éducatives, De Boeck Université, Bruxelles

BAUTIER É. et ROCHEX J.-Y. (1997). – Apprendre : des malentendus qui font la différence. In J.-P. Terrail (ed.), *La scolarisation de la France. Critique de l'état des lieux*. Paris : La Dispute.

BAUTIER Elisabeth et ROCHEX Jean-Yves, à paraître, Activité conjointe ne signifie pas significations partagées, *Raisons Educatives,* ed. De Boeck, Bruxelles

BERNARD Claude, 1865, *Introduction à la médecine expérimentale,* ed. Flammarion, coll. Champs, 1984.

BERTHELOT René, SALIN Marie-Hélène, 1992, *L'enseignement de l'espace et de la géométrie dans la scolarité obligatoire,* Thèse de l'Université de Bordeaux 1, diffusion LADIST, Bordeaux.

BESSOT Annie, COULANGE Lalina, 1998, Analyse a posteriori d'un modèle local a priori, in NOIRFALISE Robert ed., *Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques,* Actes Université d'été de La Rochelle, pp.53-65, ed. IREM de Clermont-Ferrand

BLANCHARD-LAVILLE C. (2001), *Les enseignants entre plaisir et souffrance*, Paris, PUF.

BLANCHARD-LAVILLE Claudine (sous la direction de), 1997, *Variations sur une leçon de mathématiques,* ed. L'Harmattan, Paris.

BLANCHARD-LAVILLE Claudine, CHEVALLARD Yves, SCHUBAUER-LEONI (sous la direction de), 1996, *Regards croisés sur le didactique,* ed. La Pensée Sauvage, Grenoble.

BLOCH Isabelle, 1999, L'articulation du travail mathématique du professeur et de l'élève dans l'enseignement de l'analyse en première scientifique, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vo19 n°2 pp. 135-194, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble

BLOCH Isabelle, 2002, Différents modèles de milieu dans la théorie des situations, *Actes de la 11ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques,* pp. 125-139, ed La Pensée Sauvage, Grenoble

BLOCHS Bernard, REGNIER Jean-Claude (eds), 1999, *Une introduction à la didactique expérimentale des mathématiques,* 224 pages, ed. La pensée Sauvage, Grenoble

BOSCH Marianna et CHEVALLARD Yves (1999), La sensibilité de l'activité mathématiques aux ostensifs, *Recherches en didactique des mathématiques*, vol 19, n° 1, (pp.77-124), Grenoble : La pensée sauvage.

BOSCH Marianna et GASCON Josep, 2002, Organiser l'étude. Théories et empiries, *Actes de la 11ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques,* pp. 23-40, ed La Pensée Sauvage, Grenoble

BRIAND Joël, 1993, *L'énumération dans le mesurage des collections,* Thèse de l'Université de Bordeaux I, ed. LADIST, Bordeaux.

BROUSSEAU Guy, 1982-1983, Etudes de questions d'enseignement. Un exemple, la géométrie, *Séminaire de didactique des mathématiques et de l'informatique,* n°45, IMAG, Grenoble.

BROUSSEAU Guy, 1986, La relation didactique : le milieu, *Actes de la IVème Ecole d'Eté de didactique des mathématiques, pp. 54-68,* IREM Paris 7

BROUSSEAU Guy, 1990, Le contrat didactique: le milieu, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 9 n°3 pp. 309-336, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble

BROUSSEAU Guy, 1994, Perspectives pour la didactique des mathématiques, in ARTIGUE Michèle et coll. eds, 1993, *Vingt ans de didactique des mathématiques en France,* pp. 51-66, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble.

BROUSSEAU Guy, CENTENO Julia, 1991, Rôle de la mémoire didactique de l'enseignant, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 11 n°2.3 pp. 167-210, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble

BROUSSEAU Guy, CENTENO Julia, 1991, Rôle de la mémoire didactique de l'enseignant, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 11 n°2.3 pp. 167-210, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble

BROUSSEAU Nadine, BROUSSEAU Guy, 1987, Rationnels et décimaux dans la scolarité obligatoire, *Publication de l'IREM de Bordeaux.*

BRU Marc, Les pratiques enseignantes, une visée des regards, *Les dossiers des sciences de l'éducation*, N°5, 2002

BUTLEN Denis, PELTIER-BARBIER Marie-Lise, PEZARD Monique, 2002, Nommés en REP, comment font-ils ? Pratiques de professeurs d'école enseignant les mathématiques en REP. Contradictions et cohérence, *Revue Française de Pédagogie* n°140, INRP, Paris

CENTENO Julia, 1995, *La mémoire didactique de l'enseignant,* ed. LADIST, Bordeaux

CHAPPET-PARIES Monique (2002) *Pratiques des enseignants de mathématiques : analyse des discours accompagnant la résolution d'exercices au collège*, Thèse, Université de Paris 7

CHATEL Elisabeth, 2002, L'action éducative et la logique de la situation. Fondements théoriques d'une approche pragmatique des faits d'enseignement, *Revue Française de Pédagogie* Vers une didactique comparée, n°141, ed. INRP, Paris

CHEVALLARD Yves, 1983, Remarques sur la notion de contrat didactique, in "Sur l'analyse didactique", *Publication de l'IREM d'Aix-Marseille,* 1988.

CHEVALLARD Yves, 1985, *La transposition didactique*, 126 pages, ed. La Pensée Sauvage

CHEVALLARD Yves, 1995, La fonction professorale: esquisse d'un modèle didactique, *Actes de la 8ème Ecole d'Eté de didactique des mathématiques,* ed IREM de Clermont-Ferrand

CHEVALLARD Yves, 1997, Familière et problématique, la figure du professeur, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 17 n°1 pp. 17-54, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble

CHEVALLARD Yves, 1997, Familière et problématique, la figure du professeur, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 17 n°1 pp. 17-54, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble

CHEVALLARD Yves, 1999, L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 19 n°2 pp. 221-226, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble

CHEVALLARD Yves, 1999, L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 19 n°2 pp. 221-226, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble

CHEVALLARD Yves, 2002, Organiser l'étude. Ecologie et régulation, *Actes de la 11ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques,* pp. 41-56, ed La Pensée Sauvage, Grenoble

CHEVALLARD Yves, 2002, Organiser l'étude. Structures et fonctions, *Actes de la 11ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques,* pp. 3-22, ed La Pensée Sauvage, Grenoble

CHEVALLARD Yves, 2002a, Organiser l'étude. Structures et fonctions, *Actes de la 11ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques,* pp. 3-22, ed La Pensée Sauvage, Grenoble

CHEVALLARD Yves, 2002b, Organiser l'étude. Ecologie et régulation, *Actes de la 11ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques,* pp. 41-56, ed La Pensée Sauvage, Grenoble

CLOT Yves et FAÏTA Daniel, 2000, Genre et style en analyse du travail. Concepts et méthodes. *Travailler, 4*, p.7-42.

CLOT Yves, 1999, *La fonction psychologique du travail*. Paris, PUF

CLOT Yves, 2001, Clinique du travail et action sur soi, in BAUDOIN Jean-Michel et FRIEDRICH Janette, *Théories de l'action et éducation,* Raisons éducatives, De Boeck Université, Bruxelles

COMIN Eugène, 2002, L'enseignement de la proportionnalité à l'école et au collège, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 22 n°2-3 pp. 135-182, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble

COONEY J. Thomas, 1999, Conceptualizing teachers' ways of knowing, *Educational Studies in Mathematics,* 38: 163-187, Kluwer, Dordrecht

DEVEREUX Georges, 1972, *Ethnopsychanalyse complémentariste*, coll. Champs, ed. Flammarion, Paris, 1985.

DEVEREUX Georges, 1980, *De l'angoisse à la méthode*, ed. Flammarion, Paris, traduction française du texte original en anglais (1967).

DOUADY Régine, 1986, Jeux de cadre et dialectique outil-objet, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 7 n°2 pp. 5-31, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble.

DURAND Marc, RIA Luc, FLAVIER Eric, 2002, La culture en action des enseignants, *Revue des sciences de l'éducation,* vol XXVVIII, n°1, 83 à 103,

RODITI Eric (2001) *L'enseignement de la multiplication des décimaux en sixième, étude de pratiques ordinaires.*Université de Paris 7, directrice de thèse: Aline Robert

EVEN Ruhama et TIROSH Dina, 1995, Subjet-matter knowledge and kwoledge about students as sources of teacher presentation of the subject matter, *Educational Studies i Mathematics,* 29: 1-20, Kluwer, Dordrecht

FELIX Christine, 2003, Aménagement d'un milieu pour l'étude et activités « cognitivo-langagières », *Colloque pluridisciplinaire : « Construction des connaissances et langage dans les disciplines d'enseignement »,* CD-Rom, IUFM d'Aquitaine et Université de Bordeaux II.

GENESTOUX Florence, 2000, *Fonctionnement didactique du milieu culturel et familial dans la régulation des apprentissages scolaires en mathématiques*, Thèse, Université Bordeaux 1

GOIGOUX Roland, 1999, *Le travail des professeurs face aux collégiens en grande difficulté de lecture.* 3ème colloque international " Actualité de la recherche en éducation et formation ". Bordeaux : CD

GOIGOUX Roland, 2001a, *Enseigner la lecture à l'école primaire*, Habilitation à Diriger les Recherches, Saint Denis : Université Paris 8.

GOIGOUX Roland, 2001b, Lector In Didactica. In J-P. Bernié (Ed.),*Apprentissage, développement et significations*. (pp.129-153). Bordeaux : Presses Universitaires de Bordeaux.

GOIGOUX Roland, 2002, Analyser l'activité d'enseignement de la lecture: une monographie. *Revue française de pédagogie*, 138, 125-134.

GOIGOUX Roland, accepté, Ressources et contraintes dans le travail d'enseignement de la lecture au cours préparatoire. In B. Schneuwly et T. Thévenaz (Eds.) : *Le travail de l'enseignant et l'objet enseigné : le cas du français langue première,* Bruxelles : De Boeck.GRENIER Denise, 1988, *Construction et étude du fonctionnement d'un processus d'enseignement sur la symétrie orthogonale en sixième*, Thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble I.

GRENIER Denise, 1989, Construction et étude d'un processus d'enseignement de la symétrie orthogonale: éléments d'analyse du fonctionnement de la théorie des situations, *Recherches en Didactique des Mathématiques, Vol 10, pp. 5-60,* ed. La Pensée sauvage, Grenoble.

HACHE C. (2001), L'univers mathématique proposé par le professeur en classe : observation, description, organisation, *Recherches en Didactiques des Mathématiques, n° 21/1-2*, pp. 91-98, La pensée sauvage, Grenoble

HACHE C., ROBERT A., 1997, Un essai d'analyse des pratiques effectives en classe de seconde, ou comment un enseignant fait « fréquenter » les mathématiques à ses élèves pendant la classe ? *Recherches en Didactiques des Mathématiques, n17/3*, pp. 103-150, La pensée sauvage, Grenoble

JAWORSKI Barbara, 2002, Sensitivity and Challenge in University mathematics tutorial teaching, *Educational Studies in Mathematics,* 51: 71-94, Kluwer, Dordrecht

JOHSUA Samuel, 1996, Qu'est-ce qu'un « résultat » en didactique des mathématiques, *Recherches en Didactiques des Mathématiques, n16/2*, pp. 197-220, La pensée sauvage, Grenoble

KAHAN A. Jeremy, COOPER A. Duane, BETHEA A. Kimberly, 2003, The role of mathematics teachers' content knowledge in their teaching: a framework for research applied to a study of student teacher, *Journal of Mathematics Teacher Education,* 6: 223-252, Kluwer, Dordrecht

LEPLAT Jacques, 1997, *Contribution à la psychologie ergonomique,* Paris, PUF, 1997.

LEUTENEGGER Francia, 2000, Construction d'une « clinique » pour le didactique. Une étude des phénomènes temporels d'enseignement, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 20 n°2 pp 209-250, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble.

LEUTENEGGER Francia, SAADA-ROBERT Madelon, 2002, *Expliquer et comprendre en sciences de l'éducation,* Raisons Educatives, De Boeck, Bruxelles

MAYR Ernst, 1989, *Histoire de la biologie*, ed. Arthème Fayard, Paris, traduction française du texte original en anglais, ed Bellknap Press of Harvard University Press (1982).

MERCIER Alain, 1995, La biographie didactique d'un élève et les contraintes temporelles de l'enseignement, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 15 n°1 pp. 97-142, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble

MERCIER Alain, 1998, La participation des élèves à l'enseignement, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 18 n°3 pp. 279-310, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble

MERCIER Alain, 1998, La participation des élèves à l'enseignement, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 18 n°3 pp. 279-310, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble

MERCIER Alain, LEMOYNE Gisèle, ROUCHIER André (éds), 2001, *Le génie didactique,* ed. De Boeck Université, Bruxelles.

MERCIER Alain, SCHUBAUER-LEONI Maria-Luisa, SENSEVY Gérard, 2002, Vers une didactique comparée, *Revue Française de Pédagogie*, n°141, pp. 5-16, ed. INRP, Paris

NEYRET Robert, 1995, *Contraites et déterminations des processus de formation des enseignants,* Thèse de l'Université de Joseph Fourier de Grenoble, ed. Laboratoire Leibniz

NOIRFALISE Robert, 1994-1995, Une analyse de pratiques des élèves et des enseignants de mathématiques à partir du cahier de l'élève : deux études de cas, *Petit x* n°38 pp.5-29, ed. IREM de Grenoble

ORUS-BAGUENA Pilar, 1992, *Le raisonnement des élèves dans la relation didactique: effet d'une initiation à l'analyse classificatoire dans la scolarité obligatoire,* Thèse de l'Université de Bordeaux 1, diffusion IREM de Bordeaux.

PERRIN-GLORIAN Marie-Jeanne, 1993, Questions didactiques soulevées à partir de l'enseignement des mathématiques dans des classes "faibles", *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 13 n°1.2 pp. 5-11!, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble.

PERRIN-GLORIAN Marie-Jeanne, 1998, Analyse d'un problème de fonctions en terme de milieu : structuration du milieu pour l'élève et pour le maître, in NOIRFALISE Robert ed., *Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques,* Actes Université d'été de La Rochelle, pp.17-39, ed. IREM de Clermont-Ferrand

PERRIN-GLORIAN Marie-Jeanne, 1999, Problèmes d'articulation de cadres théoriques : l'exemple du concept de milieu, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 19 n°3 pp. 279-322, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble.

PONTE P. João, MATOS F. João, GUIMARÃES M. Henrique, LEAL C. Leonor, CANAVARRO P. Ana, 1994, Teachers' and students' views and attitudes towards a new mathematics curriculum: a case study, *Educational Studies in Mathematics* 26: 347-365, Kluwer, Dordrecht

RABARDEL Pierre, 1995, Les hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains. Paris : Armand Colin.

RATSIMBA-RAJOHN Harrison, 1982, Eléments d'étude de deux méthodes de mesures rationnelles, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 3 n°1 pp. 65-113, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble.

RAVEL Laetitia, 2003, *Des programmes à la classe : étude de la transposition didactique interne. Exemple de l'arithmétique en terminale S spécialité mathématique* Université de Grenoble I

ROBERT Aline et ROBINET Jacqueline, 1996, Prise en compte du méta en didactique des mathématiques, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 16 n°2 pp. 145-176, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble

ROBERT Aline, 2001, Les recherches sur les pratiques des enseignants et les contraintes de l'exercice du métier d'enseignant, *Recherches en Didactiques des Mathématiques, n° 21/1-2*, pp. 57-80, La pensée sauvage, Grenoble

ROGALSKI Janine, 2003, Y a-t-il un pilote dans la classe ? Une analyse de l'activité de l'enseignant comme gestion d'un environnement dynamique ouvert, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 23 n°3 pp. 343-388, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble.

ROUCHIER André, 1991, *Etude de la conceptualisation didactique en mathématiques et informatique élémentaires: proportionnalité, structures itérativo-récursives, institutionnalisation*, Thèse de doctorat d'Etat, Université d'Orléans.

SALIN Marie-Hélène, 2002, Repères sur l'évolution du concept de milieu en théorie des situations, *Actes de la 11ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques,* pp. 111-124, ed La Pensée Sauvage, Grenoble

SARRAZY Bernard, 1997, Sens et situations: Une mise en question de l'enseignement des stratégies méta-cognitives en mathématiques, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 17 n°2 pp. 135-166, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble.

SCHUBAUER-LEONI Maria-Luisa et CHIESA MILLAR Valentina, 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* n°141, INRP, Paris

SCHUBAUER-LEONI Maria Luisa, 1986, *Maître-élève-savoir : Analyse psychosociale du jeu et des enjeux de la relation didactique*. Thèse de doctorat, FAPSE, Université de Genève, 1986.

SCHUBAUER-LEONI Maria Luisa, 1997, Interactions didactiques et interactions sociales : quels phénomènes et quelles constructions conceptuelles ?, *SKHOLÊ*, No 7, 103-134.

SCHUBAUER-LEONI, Maria Luisa, 2002, « Didactique comparée et Représentations sociales », In Gérard SENSEVY & Jean-Claude SALLABERY (Ed.), No spécial Représentations et didactique (pp. 127-149), *L'année des sciences de l'Education.*

SENSEVY Gérard, 2001, Modèles de l'action du professeur : nécessités, difficultés, in MERCIER Alain, LEMOYNE Gisèle, ROUCHIER André (eds) *Le génie didactique*, 276 p., collection Perspectives en Education et Formation, De Boeck Université, Bruxelles

SENSEVY Gérard, MERCIER Alain, SCHUBAUER-LEONI Maria-Luisa, 2000, Vers un modèle de l'action didactique du professeur. A propos de la course à 20, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 20 n°3 pp. 263-304, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble.

SERQUE Gilio, 2003, Pour une pratique de la référence, *Seminaire du laboratoire de logotaxicométrie*, Paris.

STEINBRING Heinz, 1998, Elements of epistemological knowledge for mathematics teacher, *Journal of Mathematics Teacher Education,* 1: 157-189, Kluwer, Dordrecht

STEINBRING Heinz, 1999, Reconstructing the Mathematical in Social Discourse - Aspects of an Epistemology-based Interaction Research, in: Zaslavsky, Orit (Ed.), *Proceedings of the 23rd International Conference for the Psychology of Mathematics Education*, Haifa: Technion - Israel Institute of Technology, vol. I, 40-55.

TAVIGNOT Patricia, 1997, Macro-système de protocoles dans le cadre théorique de la transposition didactique, in Jean Brun et al. eds, *Analyse de protocole entre didactique des mathématiques et psychologie cognitive,* ed. Interactions didactique, Vich, Suisse.

TIROSH Dina, EVEN Ruhama, ROBINSON Naomi, 1998, Simplifying algebraic expressions : teacher awareness and teaching approaches, *Educational Studies in Mathematics,* 35: 51-64, Kluwer, Dordrecht

Table des matières

Introduction ... **3**

1 Didactique(s) et sciences de l'éducation ... *3*

Quelques points historiques ... 3

Un point de vue épistémologique ... 4

Une position personnelle ... 6

2 Un travail de développement de la théorie des situations didactiques ... *8*

3 Plan ... *10*

Chapitre 1 Le rôle du professeur dans la situation didactique ... **12**

1 Difficultés de la prise en compte du professeur dans la théorie des situations dans les années 80 ... *12*

1.1 L'épistémologie expérimentale, fondement de la didactique des mathématiques ... 13

Une recherche fondamentale ... 13

L'épistémologie expérimentale ... 14

1.2 L'étude du professeur : une émergence difficile ... 15

Le professeur dans la perspective de l'épistémologie expérimentale ... 15

Le rôle du professeur dans les ingénieries ... 16

Les recherches de Guy Brousseau et le professeur ... 17

1.3 Premiers questionnements du rôle du professeur en situation adidactique ... 18

Quel rôle pour le professeur dans le processus de dévolution? ... 19

Incertitudes du professeur dans la réalisation des ingénieries didactiques ... 20

Problème d'interprétation des actions du professeur par les élèves et les chercheurs ... 22

2 Les phases de conclusion ... *23*

2.1 Les phases de conclusion et la structure incertaine de la situation du professeur ... 23

Les phases de conclusion ... 24

Liberté du professeur et contraintes de la situation ... 25

2.2 Les phases de conclusion comme entrée didactique dans l'analyse des protocoles ... 26

Une entrée didactique dans les interactions langagières en classe ... 26

Un exemple d'analyse de phase d'évaluation ... 27

Pourquoi l'élève interprète-t-il les interventions du professeur comme des évaluation? ... 29

Quelques éléments du rôle du professeur dans les phases adidactiques ... 29

2.3 Les phases de conclusion comme élément charnière entre les processus de dévolution et d'institutionnalisation ... 30

Les processus complémentaires de dévolution et d'institutionnalisation ... 31

Nature des phases de conclusion par rapport à la dévolution et l'institutionnalisation ... 31

3 Les critères de validité ... *33*

3.1 Identification de connaissances spécifiques nécessaires à la validation ... 34
3.2 Détermination de contraintes didactiques dans la situation du professeur ... 34
Une situation et ses critères de validité: l'exemple du puzzle ... 35
Dysfonctionnement "en boucle" d'une situation: l'exemple des perles ... 36
3.3 Ingéniosité du professeur en phase de conclusion ... 38
Retour sur l'observation du professeur ... 38
Exemple d'une modalité rare de phase d'évaluation: la réponse individuelle dans le protocole Bébert ... 39

4 Conclusion ... 40

Chapitre 2 La structuration du milieu ... 42

1 Le milieu et sa structuration : exposé et transformation du modèle de Brousseau ... 42
1.1 La nécessité des milieux ... 43
La nécessité du milieu comme sous-système ... 43
La décomposition en plusieurs milieux ... 44
1.2 La structuration du milieu dans Brousseau (1986) ... 44
Le milieu matériel ... 45
Le milieu objectif ... 45
Le milieu de référence ... 46
Le milieu d'apprentissage ... 46
Le milieu didactique ... 47
Le milieu de la recherche en didactique ... 47
1.3 Modification du modèle ... 48
Pourquoi modifier le modèle de Brousseau? ... 48
Premières modifications formelles ... 50
Etat actuel de la transformation formelle du modèle ... 51
Quelques impacts ... 52

2 Eléments de technique d'analyse de la structuration du milieu ... 53
2.1 Analyses a priori, analyses a posteriori, analyse préalable, ... 53
2.2 Analyse ascendante d'une situation didactique ... 54
La situation objective S-3 ... 55
La situation S-2 ... 56
La situation S-1 ... 57
La situation S0 ... 57
La situation S+1 ... 58
Conclusions de cette analyse ... 58

3 Un nouveau prolongement : bifurcations dans les situations didactiques ... 59
3.1 Michaël et le carré négatif ... 59
3.2 Une nouvelle modélisation : bifurcations de situation didactique ... 62

4 Modélisation des problèmes en classe ordinaire : des problèmes méthodologiques et théoriques 63
4.1 Construction et reconstruction de situation 64
4.2 Situation nildidactique 65
4.3 L'élève et la situation 66
4.4 Alternatives pour l'élève en situation 67
5 Conclusion 67

Chapitre 3 La situation du professeur 70

1 Recherche d'un modèle pour la situation du professeur 71
1.1 Les éléments du milieu du professeur 71
Les jeux du professeur 71
Le jeu de la dévolution 72
Le jeu de l'institutionnalisation 73
Les situations surdidactiques 74
1.2 La complexité de la situation du professeur 74
Temps et niveaux 75
Interactions entre les différents niveaux 75
Déterminants de l'action du professeur 76
2 Le point de vue et la situation du professeur 76
2.1 Principes de l'analyse descendante 77
2.2 Le point de vue de la professeure observée dans la situation du carré de -1 78
Analyse descendante 79
Contraintes dans la situation de la professeure : interactions entre les niveaux 80
2.3 La situation du professeur 81
3 Nouveaux développement du modèle des bifurcations didactiques 82
3.1 Branches principale et marginale 82
3.2 Tensions et malentendus entre les points de vue du professeur et de l'élève 84
3.3 Deux modèles de base de bifurcations didactiques 85
Branche principale adidactique, branche marginale nildidactique 85
Branches principale et marginale adidactiques 86
4 Une recherche dans les classes de trois professeures 87
4.1 Constitution du protocole 88
Un dispositif d'observation 88
Résumé de la première leçon du chapitre « Translations et rotations » 90
4.2 Analyses ascendante et descendante 91
Résumé de l'analyse ascendante de la situation 92
La branche adidactique n°1 93
Branche adidactique n°2 95

Branche nildidactique ... 96
Analyse descendante des situations de la situation des trois professeures ... 96
Conclusion de l'analyse ... 97
Tension en situation didactique ... 98
4.3 Analyses a posteriori : résultats ... 99
Actions de Béatrice et Marie-Paule visant à privilégier la branche principale ... 100
Une situation incertaine : le cas de Danièle ... 101
Tension de la situation didactique ... 103
Interactions entre les niveaux : étude des cas de Béatrice et Marie-Paule ... 106
Observation de l'évolution des connaissances de projet de Béatrice (niveau +1) ... 108
Observation de l'évolution des connaissances d'observation de Béatrice (niveau -1) ... 108

5 Conclusion et synthèse des résultats ... 110
5.1 L'importance du niveau de projet dans le travail du professeur ... 111
5.2 Marge de manoeuvre du professeur en situation de classe ... 112
5.3 Le problème de l'observation des procédures de élèves ... 113
5.4 Identification de plusieurs types de mémoires didactiques ... 115

Conclusion Perspectives de recherche ... 118

1 Ancrages théoriques et observation ... 118
1.1 Prise en compte de travaux existants dans une vaste communauté de recherche ... 118
1.2 Dépassement de problèmes méthodologiques d'observation et d'expérimentation ... 120
1.3 Projet d'observatoire des pratiques didactiques ... 120

2 Des projets de recherche ... 122
2.1 Etude des interactions entre les niveaux de détermination de la situation du professeur ... 123
Un dispositif d'étude : modification contrôlée des pratiques du professeur ... 123
Etude des dispositifs ordinaires d'échange entre professeurs ... 125
Un dispositif expérimental inspiré des méthodes de la psychologie du travail ... 127
2.2 Etude spécifique du niveau de construction (niveau +2) ... 129
Des problèmes théoriques concernant la construction d'un thème d'enseignement ... 129
Observation des modifications des pratiques des professeurs en cas de changements épistémologiques d'ordre institutionnels ... 131
Enquête sur les pratiques outillées par les documents ... 132
Conception d'outils épistémologiques pour le professeur ... 133
2.3 Etude des différenciations didactiques ... 134
Etude de l'investissement de différents élèves dans les situations didactiques ... 135
Analyse des pratiques en classe, observation du travail conjoint des élèves et du professeur ... 136

Epilogue ... Erreur ! Signet non défini.

Références **139**