



UNIVERSITE MONTPELLIER II

THESE

Spécialité : Didactique des Mathématiques

FORMATION CONTINUE A DISTANCE DES PROFESSEURS DE MATHÉMATIQUES DU SENEGAL : genèse instrumentale de ressources pédagogiques

Par Moustapha SOKHNA

Cette thèse est soutenue le 23 octobre 2006 à l'Université de Montpellier II devant le jury composé de :

ARTIGUE Michèle	Professeur des Universités, Université Paris VII	Rapporteur
BLOCH Isabelle	Maître de Conférences (HDR), IUFM de Bordeaux	Présidente
GUIN Dominique	Professeur des Universités, Université Montpellier II	Examineur
MARGOLINAS Claire	Maître de Conférences (HDR), INRP	Rapporteur
TROUCHE Luc	Professeur des Universités, INRP	Directeur de Thèse

FORMATION CONTINUE A DISTANCE DES PROFESSEURS DE MATHÉMATIQUES DU SENEGAL : genèse instrumentale de ressources pédagogiques

Résumé

Les difficultés liées à la formation continue des professeurs de mathématiques se sont accentuées ces dernières années au Sénégal, avec le recrutement régulier et massif de *vacataires*, professeurs sans aucune formation pédagogique et avec un niveau académique insuffisant. Cette situation nécessite une formation continue très importante, mais la dispersion des vacataires dans tout le pays, et l'impossibilité de les éloigner trop longtemps de la classe, rend impossible une formation continue classique. La mise en place d'un dispositif de formation à distance, articulé avec des sessions de formations en présentiel apparaît comme une solution possible à ce problème. Nous étudions dans ce cadre les effets d'une formation basée sur *un processus de conception collaborative de ressources pédagogiques*. Ces ressources sont conçues par les vacataires eux-mêmes, accompagnés par un formateur, elles sont mises en œuvre dans les classes, puis révisées à la lumière des *usages*. Nous considérons ces ressources comme des *artefacts*, qui deviennent des *instruments* du travail professionnel de l'enseignant au cours d'une *genèse* que nous étudions dans plusieurs cas. Nous mettons ainsi en évidence l'importance du *travail collaboratif* pour le développement de ces genèses et la nécessité d'un modèle de ressource qui émerge d'interactions complexes. Pour analyser finement ce qui se passe dans la classe et donc pour mesurer la distance entre, d'une part *les organisations mathématiques et didactiques* décrites dans les ressources et, d'autre part, celles qui sont mises en œuvre par les professeurs dans leurs classes, nous avons étudié l'évolution des *milieux didactiques* en les considérant comme des artefacts tout à la fois soumis à l'action du professeur et ouvrant celle-ci. C'est sur l'intérêt, à plusieurs niveaux, de cette *approche instrumentale* pour l'étude de l'action du professeur que nous concluons ce travail.

Mots-clé

Professeurs vacataires, travail collaboratif, ressources pédagogiques, organisations mathématiques et didactiques, milieux didactiques, approche instrumentale.

Distant in-service training for mathematics teachers in Senegal : *materials design*

Abstract

The flaws of in-service training for mathematics teachers in Senegal have been recently exacerbated by the steady and massive recruitment of so-called Vacataires teachers with a low academic background and no pedagogical training.

Besides, the dispersion of this new breed of teachers across the country and the difficulty of delocalizing their training make them less amenable to classical formulas. That is why a distant learning scheme coupled with on-site training seems a workable proposition.

This study investigates the effects of a training formula based on *collaborative teaching materials design*. The teaching materials will be designed by trainees supervised by a teacher trainer, implemented in classes and the wash back effects observed later.

This study highly values collaborative work as an instrument of materials developed from complex interactions. For a fine analysis of the pedagogical reality emerging in the classroom and assess the gap between the mathematical set ups designed in the teaching materials and their implementation by teachers, the evolution of the pedagogical reality has been envisaged as artifacts subjected to the teachers' actions and manipulations. The research concludes on a multilevel insight into the teachers' action through this instrumental approach

Key words :

Mathematics teaching ; collaborative work ; teaching materials ; mathematical set ups ; pedagogical reality ; instrumental approach

Table des matières

INTRODUCTION

AVANT PROPOS

	Page
I	1
PROBLEMATIQUE	
INTRODUCTION	2
I-1 LA FORMATION CONTINUE AU SENEGAL : LES INSTITUTIONS ET LEUR FONCTIONNEMENT	3
I-1-1 Faculté des Sciences et Technologies de l'Education et de la Formation	3
I-1-2 Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, de la Physique et de la Technologie	4
I-1-3 Structure de Formation Continuée	5
I-2 UNE FORMATION CONTINUE QUI DOIT EVOLUER POUR POUVOIR ASSURER SES MISSIONS	7
I-2-1 Les enjeux de la formation à distance et de l'usage des nouvelles technologies	7
I-2-2 Le SFoDEM : un exemple de dispositif hybride de formation	9
I-2-3 Les enjeux d'une formation continue à distance des professeurs de mathématiques au Sénégal	13
II	16
CADRE THEORIQUE	
INTRODUCTION	17
II-1 APPROCHE ANTHROPOLOGIQUE DU DIDACTIQUE	18
II-1-1 Organisation mathématique	18
II-1-2 Organisation didactique	20
II-1-3 Le topos	22
II-2 SAVOIR ET COMMUNICATION	24
II-2-1 Transposition didactique	24
II-2-2 Savoir et formation à distance	29
II-2-3 Représentations sémiotiques	31
II-3 THEORIE DES SITUATIONS DIDACTIQUES ET DISPOSITIF DE FORMATION	35
II-3-1 Situation et milieu	35
II-3-2 Travail collaboratif, communauté de pratique et praticien réflexif	42

II-3-3	Modélisation de pratiques enseignantes	45
II-4	APPROCHE INSTRUMENTALE DES RESSOURCES PEDAGOGIQUES	48
II-4-1	De Piaget à Vygotski	48
II-4-2	Notion de schèmes	49
II-4-3	Approche instrumentale	53
II-4-4	Genèse instrumentale de ressources pédagogiques	57
II-4-5	Approche instrumentale étendue	62
III	METHODOLOGIE	69
	INTRODUCTION	70
III-1	CONCEPTION DU MODELE DE RESSOURCES	72
III-1-1	Processus de conception d'un modèle de ressources	72
III-1-2	Rôle et description des différentes fiches du modèle transmuté	74
III-2	CONCEPTION DES OUTILS D'ANALYSE	80
III-2-1	Spécification de paramètres de qualité de pratiques enseignantes	80
III-2-2	Spécification de paramètres de qualité de ressources pédagogiques	88
III-3	DISPOSITIF DE RECHERCHE	92
III-3-1	Présentation de la phase d'étude de l'évolution de pratiques enseignantes	92
III-3-2	Présentation de la phase d'étude de l'évolution de ressources pédagogiques	95
IV	ETUDE DE L'EVOLUTION ET DES PRATIQUES ENSEIGNANTES ET DES RESSOURCES PEDAGOGIQUES	97
	INTRODUCTION	98
IV-1	ETUDE DE L'EVOLUTION DES PRATIQUES ENSEIGNANTES	99
IV-1-1	Analyse de pratiques enseignantes	99
IV-1-2	Repérage d'invariants dans des pratiques enseignantes	136
IV-2	ANALYSE DE L'EVOLUTION DES RESSOURCES PEDAGOGIQUES	142
IV-2-1	Evolution des ressources étudiées par les professeurs vacataires	142
IV-2-2	Evolution des ressources étudiées par les professeurs titulaires	157
IV-2-3	Repérage des invariants au niveau de l'évolution des ressources	168
IV-3	MISE EN EVIDENCE DES RAPPORTS ENTRE LES PRATIQUES	

	ENSEIGNANTES ET LES RESSOURCES PEDAGOGIQUES	171
IV-3-1	Repérage de schèmes de gestion d'une situation didactique	171
IV-3-2	Les effets des ressources pédagogiques sur l'évolution des pratiques enseignantes	181
IV-3-3	Les effets des pratiques enseignantes sur l'évolution des ressources pédagogiques	182
V	CONCLUSION	184
V-1	LES BASES THEORIQUES POUR ORGANISER LA RECHERCHE	186
V-2	LES RESULTATS : LEUR PORTEE ET LEUR LIMITE	187
V-2-1	Processus d'instrumentation	187
V-2-2	Processus d'instrumentalisation	189
V-3	PERSPECTIVES	191
V-3-1	Perspectives de recherche	191
V-3-2	Perspectives de formation	191
	BIBLIOGRAPHIE	193

INTRODUCTION

Cette recherche s'inscrit dans un cadre, jusque là peu développé en didactique des mathématiques « *Situations mathématiques et documents pour le professeur* » (voir thème 2 de la 14^{ème} école d'été). Elle s'interroge sur les processus complexes qui peuvent exister entre l'action instrumentée du professeur de mathématiques à partir d'une ressource pédagogique et son développement professionnel. Nous avons étudié les effets d'une formation basée sur *un processus de conception collaborative de ressources pédagogiques*. Nous avons pris comme lieu d'expérimentation le Sénégal où, depuis 1995, le pays fait face à un nombre important de professeurs de mathématiques vacataires, sans formation pédagogique et avec un niveau en mathématiques souvent très faible.

Notre étude a permis la mise à l'épreuve *d'une approche instrumentale du milieu*, un outil théorique conçu à cet effet, et d'un dispositif de formation dont les contours sont inspirés par le Suivi de Formation à Distance des Enseignants en Mathématiques (SFoDEM) (§I-2-2)

1. LE CONTEXTE ACTUEL DE LA FORMATION DES ENSEIGNANTS

« **Enseigner est un métier qui s'apprend.** Faire cours et faire apprendre, conduire une classe et individualiser son enseignement, exiger des efforts et donner confiance, susciter l'intérêt, évaluer les aptitudes et percevoir les talents, aider à l'orientation. **Tout cela nécessite une formation initiale et continue approfondie** : rien ne doit être laissé aux aléas de la vocation pédagogique ou du hasard professionnel [...] Tout dans le métier de professeur, le savoir dispensé, la méthode choisie comme l'attention aux élèves, résulte d'un apprentissage rigoureux et progressif. » (Extrait de l'annexe du cahier des charges de l'IUFM¹). Si la nécessité d'une formation initiale et continue approfondie des professeurs de mathématiques ne fait plus de doute, la mise en œuvre et l'organisation de dispositifs de formation adéquats sont restées très en deçà des attentes des enseignants et des chercheurs. Guin et Trouche (2006) ont montré, au niveau des nouveaux environnements technologiques, l'inadéquation des dispositifs d'accompagnement des enseignants pour faire face à la complexité de leur travail.

Aujourd'hui, avec la profusion de ressources numériques et la complexité des besoins de formation des enseignants, se posent deux problèmes essentiels : quelles ressources pour favoriser l'action du professeur de mathématiques dans sa classe ? Quel dispositif pour son développement professionnel et pour l'évolution des ressources ?

Au moment où, il n'est plus permis de douter de la pertinence des réponses de la didactique des mathématiques à des questions liées à l'apprentissage de cette discipline, peut-on continuer à ignorer ces questions brûlantes de notre communauté sur l'usage et la conception des ressources pédagogiques ? Doit-on conforter la thèse selon laquelle « *la didactique apparaît comme une science étrangère aux soucis des gens du métier, auxquels elle semblerait ne pouvoir s'adresser qu'à la marge.* » (Chevallard 1997) ?

2. LES OUTILS THEORIQUES ET LES RESULTATS

Nous n'avons la prétention de répondre au propos de Chevallard (paragraphe 1. ci-dessus), mais nous voulons juste préciser que, déjà en 1999, il expliquait par une approche anthropologique du didactique, « *Le modèle des moments [...] a, pour le professeur, deux*

¹ Arrêté du 19 décembre 2006 portant cahier des charges de la formation des maîtres en institut universitaire de formation des maîtres, journal officiel de la république française du 28 décembre 2006.

grands types d'emplois. Tout d'abord, il constitue une grille pour l'analyse des processus didactiques. Ensuite, il permet de poser clairement le problème de la réalisation des différents moments de l'étude ». Beaucoup d'autres recherches sont venues s'intéresser, après, à la modélisation des activités réelles de l'enseignant. Seulement, pour Margolinas (2004, p. 20)

« 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 déterminant. 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 ».

Dans cette recherche, nous nous sommes donnés comme objectif d'étudier les médiations entre professeurs dans leur activité d'enseignement et les savoirs en jeu à travers des ressources pédagogiques. Nous nous sommes interrogés sur les conditions optimales d'organisation qui peuvent favoriser une évolution conjointe des pratiques des enseignants et des ressources pédagogiques. Nous avons fait l'hypothèse que la conception collaborative de ressources pédagogiques structurées favoriserait l'évolution conjointe des ressources et des pratiques enseignantes.

Pour cette formation de professeurs de mathématiques, nous avons proposé **un modèle de ressources** (§III-1-2) avec une *fiche d'identification* pour un repérage aisé de la ressource, une *fiche élève* qui précise l'activité souhaitée de l'élève, une *fiche professeur* pour assister la mise en œuvre de la ressource, un *scénario d'usage* qui propose une description de la séance, une *fiche de formation* visant l'articulation des outils théoriques mathématiques et didactiques en rapport avec l'activité de l'enseignant et une *fiche de compte rendu d'expérimentation* pour le retour des usages.

Pour mener cette étude nous avons choisi d'utiliser et de faire dialoguer plusieurs cadres théoriques :

- l'approche anthropologique du didactique (TAD) (§II-1). Cette approche a permis, au niveau de la méthodologie (§III-1), de faire une description des différentes fiches *du modèle de ressource* (§III-1-2). Elle nous a également donné les moyens d'étudier les distances entre les organisations mathématiques et didactiques prévues dans les ressources et celles qui s'est effectivement déroulée dans les classe (§III-2-2). L'analyse faite à ce niveau montre une instrumentalisation du groupe sur une ressource plus importante qu'une instrumentalisation individuelle (§IV-2) ;
- la théorie des situations didactiques (§II-3) a facilité la définition des champs des fiches élèves, du scénario d'usage et des fiches professeurs du modèle de ressource (§III-1-2). Elle a également facilité la conception des outils d'analyses des pratiques enseignantes (§III-2-1) ;
- l'approche instrumentale (§II-4) est la pièce maîtresse dans cette étude. Guin & al (à paraître) soulignent la pertinence de cette approche pour *la conceptualisation de la notion de ressources pédagogiques*. (Rabardel 2002) ne disait-il pas que « *le développement de cette théorie (l'approche instrumentale) suppose la constitution d'une vaste communauté scientifique dont les frontières disciplinaires s'étendront au-delà de la psychologie* ». Ainsi avons nous tenté de décrire ce nous avons appelé **une approche instrumentale du milieu** (§II-4-5) en essayant de préciser les types de médiation et de modéliser les processus complexes de genèse instrumentale *du*

milieu didactique. La bifurcation didactique (Margolinas 2004) apparaît ainsi comme une instrumentalisation du milieu par l'enseignant au cours du processus de genèse instrumentale. L'analyse de pratiques enseignantes à partir de l'approche instrumentale a permis de mettre en évidence, chez les professeurs vacataires, ce que nous avons appelé l'effet prothèse : la ressource est une prothèse et, comme telle, elle sert d'intermédiaire : elle est *médiatrice* ; elle met en confiance l'enseignant peu formé dans son activité professionnelle. En proposant en plus une organisation de la gestion de la classe, par l'intermédiaire du scénario, la ressource facilite sa mise œuvre. L'étude faite au niveau de l'analyse des pratiques (§IV-1) à partir *des schèmes d'indication topazienne* (§IV-3-1) peut être également interprétée comme un élément de validation de la pertinence de cet outil théorique.

3. LE PLAN

Cette thèse, au-delà de cette introduction et la bibliographie, est rédigée en suivant une forme très classique avec :

- une problématique (§I.) qui introduit la question liée à la formation à distance de professeurs de mathématiques avec des ressources pédagogiques qui prennent en compte les besoins de formation de l'enseignant et les conditions de leur mise en œuvre ;
- un cadre théorique (§II.) qui fait une synthèse des outils théorique sur les organisations mathématiques et didactiques (§II.1) qui sont en jeu dans l'activité de l'enseignant et dans les ressources pédagogiques. Le public à former et l'enjeu de la distance ont révélé toute la complexité des processus de transposition (§II.2). L'espoir que suscitent les interactions sociales dans le développement professionnel des enseignants commande une étude sur les communautés d'apprentissages, le travail collaboratif (§II.3.2) et les schèmes sociaux d'utilisation de ressources (§II.4.2.) ;
- une méthodologies (§III.) où sont construis un dispositif de formation avec un modèle de ressources (**figure 23**), un dispositif de recherche (§III.3) et des outils d'analyse (§III.2) ;
- les résultats avec une première partie sur les analyses des pratiques des enseignants (§IV.1), une deuxième partie sur une analyse de l'évolution des ressources (§IV.2) et une troisième partie qui fait la synthèse des deux premières parties (§IV.3) ;
- une conclusion qui ouvre des perspectives formation et de recherche sur l'étude de genèses communautaires de ressources pédagogiques avec une prise ne compte d'organisations globales dans la mise en œuvre de la formation.

Peut être la lecture de l'ouvrage gagnerait en simplicité si elle n'eût été qu'une description exhaustif du plan ci-dessus décrit. Mais, si cela est fait, nous ferons perdre au lecteur quelques choses qui me parait plus essentielles : des étapes significatives, décrites dans le paragraphe (§2.) ci-dessus, d'un cheminement sinueux qui est à l'origine des résultats obtenus.

AVANT PROPOS

Au Sénégal, la première structure de formation de professeurs de mathématiques est le *Centre Pédagogique Supérieur* (CPS). Il a été créé en 1962. Le décret n° 63-643 du 20 septembre 1963 fixant l'organisation du CPS arrête ses missions d'enseignement à la formation initiale des enseignants et des corps de contrôle. A cette époque, aucune structure de formation continue pour les enseignants sur le terrain n'est envisagée, la formation du professeur de mathématiques est considérée comme achevée dès que celui-ci est titularisé. Or, comme les conditions de travail étaient différentes suivant les localités du Sénégal et que, régulièrement, les contenus des programmes de mathématiques changeaient, des besoins en formation continue naissaient de façon récurrente.

Vers les années 1970, les problèmes liés à la formation continue des enseignants de mathématiques ont pris une autre dimension avec l'avènement des mathématiques modernes. Les contenus et les méthodes d'enseignement ont changé et les enseignants en mathématiques n'étaient pas préparés à ce renouveau. Ces difficultés n'étaient pas consubstantielles au système éducatif sénégalais. Pour Walusinski (1971, p. 23) :

« Dans tous les pays du monde, quelles que soient la structure de leur enseignement, l'orientation politique ou économique de leur gouvernement, l'enseignement des mathématiques est mis en question ».

A Lyon, du 24 au 30 août 1969, la Commission Internationale pour l'Enseignement des Mathématiques (CIEM) organise le **premier** congrès international **exclusivement** consacré à **l'enseignement** des mathématiques. Tous les continents y ont pris part : des pays d'Afrique, d'Amérique, d'Asie et d'Europe y ont participé (Walusinski *ibidem*, p. 27). Il faut attendre le congrès de Karlsruhe sur l'enseignement des mathématiques, en 1976, pour que le thème « L'adulte et *l'enseignement continu* des mathématiques » figure pour la première fois, en tant que sujet indépendant, à un congrès international sur l'enseignement des mathématiques (Pengelly 1979, p. 90).

En France, c'est grâce à l'Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public (APMEP) que l'idée de la formation continue des maîtres s'est développée. Créée en 1910, l'APMEP comptait 10500 membres en 1970. Grâce à sa représentativité, l'association organisait avec succès des cycles de conférences. Elle utilisait également son bulletin de liaison pour éditer les conférences thématiques qui participaient à la formation en mathématiques de ses membres. L'APMEP jouait ainsi un rôle moteur en faveur de la formation continue des enseignants. L'association intervenait également à de nombreuses reprises auprès de l'Education Nationale pour que celle-ci prenne en charge la formation continue des professeurs de mathématiques. En août 1968, à son initiative et sur proposition de la commission Lichnerowicz, le Ministre de l'Education Nationale, Edgar Faure, a officiellement pris la décision de la création du premier Institut de Recherche pour l'Enseignement des Mathématiques (IREM) (Walusinski 1971, p. 61). L'IREM de Montpellier fut créé en 1971, en même temps que celui de Lille et de Clermont-Ferrand. Par leurs missions, les IREM étaient surtout mis en place pour la formation continue des enseignants :

- mener des recherches sur l'enseignement des mathématiques ;
- *contribuer à la formation initiale et continue des enseignants ;*
- *élaborer et diffuser des documents pour enseignants et formateurs ;*

- contribuer à l'expérimentation pédagogique.

De la même façon, au Sénégal, les années 1970 sont marquées par une forte mobilisation autour de la formation continue des professeurs de mathématiques. L'Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques (IREM) de l'Université de Dakar, devenu en 1975 Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, de la Physique et de la Technologie (IREMPT), a été créé pour contribuer à la formation initiale et continue des enseignants. Dans le même temps, en 1975, le CPS devenu Ecole Normale Supérieure (ENS) est officiellement chargé de *la formation continue des enseignants*.

Cependant, si la nécessité d'une formation continue des professeurs de mathématiques ne faisait pas de doute, son mode d'organisation apparaissait très inadapté :

- aucune coordination entre l'IREMPT et l'ENS pour organiser les actions de formation n'est mise en place ;
- toutes les formations se font en présentiel ;
- l'IREMPT et l'ENS se trouvent à Dakar et sont donc éloignés de la plupart des professeurs à former.

A partir de 1995, les difficultés liées à la formation continue des enseignants en mathématiques ont pris une nouvelle dimension. Il y a un recrutement massif et régulier de professeurs de mathématiques vacataires, c'est-à-dire des professeurs non titularisés, qui, pour la plupart, sont sans formation pédagogique et avec un niveau de formation disciplinaire très faible (niveau baccalauréat). Le recours massif aux vacataires n'est pas propre au Sénégal, cette situation se retrouve dans plusieurs pays de la sous-région ouest africaine avec des effectifs qui sont parfois plus élevés. Au Mali, par exemple, les vacataires représentent près de 86 % des enseignants (Lettre de l'Education n° 485).

Au Sénégal, les raisons qui ont conduit le pays à cette situation, sont entre autres, une augmentation massive des effectifs des élèves et des problèmes économiques :

- une augmentation massive des effectifs des élèves des écoles élémentaires liée aux engagements internationaux, en matière de scolarisation, pris par l'état sénégalais.

En effet, en 1990, lors de la conférence de Jomtien (Thaïlande), le Sénégal, à l'instar d'autres pays africains, s'est engagé à permettre la scolarisation de tous les jeunes en âge d'aller à l'école. Il en a résulté des inscriptions massives d'élèves dans l'enseignement élémentaire. Cet enseignement élémentaire dure six ans et concerne les jeunes de plus de 6 ans. Le Tableau 1 permet d'observer l'évolution des effectifs de l'école élémentaire, aussi bien dans le secteur public que privé.

	1981/82	1990/91	1991/92	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00
Elémentaire	452 679	708 299	725 196	738 560	773 386	805 437	875 661	954 758	1026570	1034065	1107712
- Public	404 592	643 129	655 557	666 950	696 171	728 764	789 928	854 976	901 146	909 262	990 396
- % Privé	10,6	9,2	9,6	9,7	10,0	9,5	9,8	10,5	12,2	12,01	10,59
- % Filles	39,7	42,0	42,4	41,6	42,6	38,2	43,9	44,5	45,2	45	45,93

Tableau 1 : Evolution des effectifs à l'école élémentaire (Direction de la Planification et de la Réforme de l'Education / Ministère de l'Education du Sénégal DPRE/ ME 2002).

Le Tableau 2 précise l'augmentation du taux brut de scolarisation (TBS) ² à l'école élémentaire par région.

	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00
Dakar	77,4	90,0	73,8	88,4	88,0	90,8	91,5	90,0	86,3
Ziguinchor	76,2	80,5	69,8	88,4	88,6	89,0	90,6	92,9	99,1
Diourbel	20,3	23,8	20,2	24,2	27,1	28,5	30,9	36,0	40,4
Saint Louis	48,2	53,5	46,0	56,0	57,6	62,0	64,5	66,1	75,2
Tamba	29,2	36,5	32,2	38,9	48,3	56,3	60,0	71,1	76,3
Kaolack	30,2	36,8	30,5	36,8	38,2	40,7	42,1	40,9	44,3
Thiès	47,2	58,4	46,9	56,0	58,0	57,8	59,7	68,8	69,6
Louga	28,4	34,1	29,1	34,5	40,1	43,3	46,8	51,7	55,9
Fatick	33,7	42,2	35,3	42,4	42,9	46,0	48,3	50,1	54,5
Kolda	33,1	39,8	34,4	41,1	49,0	54,0	56,3	70,2	76,8
TBS Global	46,1	54,3	45,2	54,6	57,0	59,7	61,7	65,5	68,3

Tableau 2 : Evolution des taux bruts de scolarisation à l'élémentaire par région (en %) (Direction de la Planification et de la Réforme de l'Education / Ministère de l'Education du Sénégal DPRE/ ME 2002).

Pour faire face à cette augmentation massive des effectifs à l'école élémentaire, le pays a fait appel à des *volontaires de l'éducation*. Ces volontaires sont des instituteurs recrutés après un concours de niveau BEPC. Ils suivent une formation intensive sur une période de courte durée (environ 3 mois) avant de rejoindre les classes. Le recrutement de 1 200 volontaires par an, à partir de 1996, a permis de faire passer le TBS global du Sénégal de 46,1% en 1992 à 68,3% en 2000 pour l'école élémentaire. Quelques années plus tard, les collèges et lycées ont dû faire face à ce flux important d'élèves qui, dans les années à venir, devrait s'accroître. Le pays se fixe comme objectif d'atteindre un taux de scolarisation au niveau de l'enseignement moyen (collège) de 75 % en 2015. Rappelons qu'avant 2000, le taux brut de scolarisation de l'enseignement moyen au Sénégal était très faible. Avec un taux de 20,6% en 1999-2000, le Sénégal se situait bien en deçà de la moyenne africaine (43%). Le pays envisage, pour atteindre ce taux de 75%, le recrutement, entre 2001 et 2007, de 6863 enseignants polyvalents assurant un service hebdomadaire de 22 heures au lieu de 18 heures actuellement pour les professeurs d'enseignement moyen (PEM). La création du corps des vacataires est liée en partie à la recherche d'un statut alternatif à celui des professeurs actuels de l'enseignement moyen, qui ont un service hebdomadaire de 18 heures et qui ne sont pas polyvalents ;

- des raisons économiques qui ne permettent pas de recruter des professeurs de mathématiques ayant une solide formation de base et avec un niveau de traitement salarial décent.

Le Rapport Mondial sur le Développement (2001) classe le Sénégal à la 145^{ème} place sur 162 au niveau de l'indice de développement humain. Ainsi, le Sénégal, compte tenu de son niveau de développement et bien que dépensant, selon l'autorité politique, environ 40% de son budget pour le secteur de l'éducation, souffre d'une pénurie sérieuse en infrastructure et en personnel. Le Programme Décennal pour l'Education et la Formation du Sénégal (PDEF) a fait un bilan sévère de la situation de l'enseignement au Sénégal :

² Taux Brut de Scolarisation (TBS) : c'est le rapport entre le nombre d'enfants effectivement scolarisés et ceux qui devraient être scolarisés pour un niveau d'étude donné.

- le nombre de salles de classe ne couvre pas les besoins, ce qui entraîne des effectifs pléthoriques (68 élèves par classe en moyenne) ; les locaux annexes (bloc d'hygiène, terrains de sports, locaux pour bibliothèque, bloc administratif) sont, s'ils existent, soit insuffisants, soit fortement dégradés par une sur-utilisation ou un défaut d'entretien ;
- les équipements se caractérisent par leur insuffisance et très souvent par leur obsolescence. Les tables et bancs accusent un déficit important avec un ratio de 1 pour 3 élèves (PDEF 2003).

En guise de comparaison, les pays de l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE), avec 12,7 % de leur dépense publique consacrés à l'éducation, sont à des taux de scolarisation de l'ordre de 98 % :

- des choix économiques qui ne permettent pas de recruter des professeurs de mathématiques ayant une formation initiale et de mettre en place des structures de formation adaptées.

Les structures de formation initiale d'enseignants sont insuffisantes, surtout au niveau de l'enseignement moyen et secondaire. En effet, depuis la création de l'Ecole Normale Supérieure en 1962 et malgré une forte augmentation de la demande en formation, aucune autre structure de formation initiale d'enseignants du secondaire n'a été créée au Sénégal. Qui plus est, l'Ecole Normale Supérieure, malgré la diversification de ses missions, n'a pas renforcé sa capacité d'encadrement. Bien qu'envisageant de recruter 6863 professeurs dans les six années à venir dont une bonne partie seront des professeurs de mathématiques, le pays n'a pas augmenté la capacité d'accueil du département de mathématiques de l'ENS. Elle est restée depuis des années très limitée aussi bien au niveau matériel que humain. Ce département fonctionne depuis plus de deux décennies avec moins d'une douzaine de formateurs. Dans les conditions actuelles de fonctionnement de l'ENS, le Sénégal ne peut assurer, avec son mode de formation en présentiel, la formation de tous les professeurs vacataires.

Compte tenu du nombre important de vacataires et des difficultés énormes qu'ils rencontrent dans l'exercice de leur fonction (polyvalence, faible niveau disciplinaire, manque de formation professionnelle initiale et surcharge horaire), il est difficile d'imaginer qu'une formation en présentiel permette de prendre en charge leur besoin en formation. De plus, la faible capacité de formation des structures existantes, la dispersion des enseignants sur le territoire sénégalais et l'obligation pour l'Etat d'assurer le bon fonctionnement de l'école rendent encore plus difficile l'organisation d'une formation continue en présentiel. Ainsi, avons-nous estimé que la mise en place d'un dispositif de formation à distance pourrait faciliter la formation des professeurs vacataires. Un tel dispositif articulerait une formation en présentiel très réduite et une formation à distance et permettrait d'accompagner les professeurs vacataires, même très isolés, sans porter préjudice à leurs élèves.

En amont de cette réflexion, nous avons eu à faire une recherche, dans le cadre de notre DEA (Sokhna 2002), sur la formation continue à distance des professeurs de mathématiques et l'intégration des calculatrices. Cette recherche s'inscrivait dans une étude plus globale, menée dans l'académie de Montpellier, à travers un projet dénommé Suivi de Formation à Distance des Enseignants en Mathématiques (SFoDEM).

Le SFoDEM est un dispositif de formation qui, à l'aide de ressources pédagogiques, organise un accompagnement continu à distance des professeurs de mathématiques visant l'intégration

des TICE (au niveau du collège et du lycée). Les difficultés que nous avons décrites au Sénégal sur la formation des professeurs vacataires de mathématiques sont très différentes de celles auxquelles les professeurs de mathématiques de l'académie de Montpellier sont confrontés dans leur enseignement. Le contexte de mise en œuvre du SFoDEM était marqué, en France, par une faible utilisation des TICE par les professeurs de mathématiques malgré une volonté institutionnelle affirmée. Il était, également, marqué par une inadéquation des dispositifs et des ressources de formations pour une prise en charge efficiente de la formation des enseignants à l'intégration des TICE dans leur enseignement. Pour répondre à toutes ces préoccupations, le SFoDEM a mis en œuvre un accompagnement continu des enseignants dans le cadre d'un travail collaboratif entre tuteurs et stagiaires pour la conception de ressources pédagogiques.

L'articulation réussie par le SFoDEM entre un contexte difficile et la mise en œuvre d'un accompagnement efficace est pour nous une piste intéressante pour la formation des professeurs vacataires. Nous pensions, dès lors, que nous pourrions nous inspirer du SFoDEM pour prendre en charge la formation des vacataires, en gardant l'esprit du travail collaboratif, l'accompagnement continu et la dimension recherche autour de la mise en œuvre et de l'organisation de la formation.

Le type de formation qu'un tel dispositif offrirait aux vacataires pourrait répondre à leur principale préoccupation : avoir une formation théorique en mathématiques et en didactique des mathématiques, articulée avec une formation professionnelle, liée au métier d'enseignant. Objectifs que les instituts de formation des enseignants du Sénégal se sont attelés à réaliser, sans succès, depuis quelques années.

En conclusion de cette étude de DEA, nous nous étions interrogés sur la capacité des ressources du SFoDEM à prendre en charge certains objectifs de formation dans le contexte du système éducatif sénégalais. Dans cette activité de recherche, nous avons repris cette question et nous sommes interrogés sur les conditions nécessaires à la mise en œuvre d'un modèle de formation inspiré du SFoDEM. Il s'agira pour nous d'étudier, à partir d'un modèle de ressource inspiré de celui du SFoDEM, la place du travail collaboratif dans l'évolution conjointe entre les ressources pédagogiques et les pratiques des enseignants.

Nous avons fait l'hypothèse que le travail entre pairs sur la conception de ressources pédagogiques faciliterait cette évolution.

I PROBLEMATIQUE

INTRODUCTION

I-1 LA FORMATION CONTINUE AU SENEGAL : LES INSTITUTIONS ET LEUR FONCTIONNEMENT

I-1-1 Faculté des Sciences et Technologies de l'Education et de la Formation

I-1-2 Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, de la Physique, et de la Technologie

I-1-3 Structure de Formation Continuée

I-2 UNE FORMATION CONTINUE QUI DOIT EVOLUER POUR POUVOIR ASSURER SES MISSIONS

I-2-1 Les enjeux de la formation à distance et de l'usage des nouvelles technologies

I-2-2 Le SFoDEM : un exemple de dispositif hybride de formation

I-2-3 Les enjeux d'une formation continue à distance des professeurs de mathématiques au Sénégal

INTRODUCTION

Depuis quelques années, l'enseignement, au Sénégal, doit faire face à de très grandes difficultés. Le Sénégal, en faisant de l'accès à l'éducation pour tous les jeunes qui sont en âge d'aller à l'école une priorité, s'est vu confronté à un problème de personnel enseignant. Si, à l'école élémentaire le déficit d'instituteurs a pu être résorbé par un recrutement massif de maîtres volontaires, au niveau de l'enseignement moyen et secondaire (les lycées et les collèges) surtout pour l'enseignement des mathématiques, le problème est resté crucial. Face au manque de professeurs de mathématiques formés, le pays procède, régulièrement, à des recrutements massifs de professeurs vacataires pour assurer cet enseignement. Etant donné que les professeurs vacataires n'ont pas de formation pédagogique et ont souvent une formation académique très faible, se pose alors le problème de leur « formation continue ». Cette formation doit leur permettre de mieux assurer leur enseignement tout en les maintenant dans leurs classes. Or, jusqu'à présent, les formations continues des enseignants sont faites en présentiel sans aucun plan national de formation et par des structures différentes qui en plus n'ont aucune coordination entre elles.

Ainsi le SFoDEM, par son organisation (la mise en synergie de plusieurs institutions) et son fonctionnement (alliant le présentiel et la formation à distance avec des ressources pédagogiques), est apparu comme un modèle de dispositif qui, avec certaines modifications, permettrait de prendre en charge la formation continue des vacataires. Des questions se posent alors :

- quel type de modification faut-il apporter au dispositif du SFoDEM pour prendre en charge la formation des vacataires ?
- quel modèle de ressource serait mis à la disposition des vacataires ?

I-1 LA FORMATION CONTINUE AU SENEGAL : LES INSTITUTIONS ET LEUR FONCTIONNEMENT

Au Sénégal, trois institutions sont parties prenantes de la formation continue des enseignants de l'enseignement moyen et secondaire : la Faculté des Sciences et Technologies de l'Education et de la Formation (FASTEF, ex Ecole Normale Supérieure (ENS)), l'Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, de la Physique et de la Technologie (IREMPT) et la Structure de la Formation Continuée (SFC). Ces trois institutions sont rattachées à des structures différentes du Ministère en charge de l'éducation et elles sont indépendantes les unes des autres.

I-1-1 Faculté des Sciences et Technologies de l'Education et de la Formation

La Faculté des Sciences et Technologies de l'Education et de la Formation est une faculté de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Elle a pour origine le Centre Pédagogique Supérieur (CPS) qui a été créée en 1962 par le gouvernement du Sénégal avec le soutien de l'UNESCO. Sa mission était de former « le personnel d'enseignement et de contrôle, pour les enseignements du premier degré et second degré et des collèges d'enseignement technique » (décret n° 63-643 du 20 septembre 1963, Journal Officiel du Sénégal (JO)).

En 1965, le CPS devient institut d'université, garde les mêmes missions et est dénommé Ecole Normale Supérieure (décret n° 65-754 du 6 Novembre 1965, JO). C'est en 1975 que l'Ecole Normale Supérieure a eu officiellement en charge *la formation continue des enseignants* (décret n° 75-555 du 2 juin 1975, JO). En 2005, l'ENS devient la Faculté des Sciences et Technologies de l'Education et de la Formation en conservant toutes ses missions :

- assurer la formation pédagogique, tant théorique que pratique, des Professeurs de l'Enseignement Moyen et des Professeurs de l'Enseignement Secondaire (PEM et PES)³ dont la formation académique avait été prise en charge par les facultés ;
- assurer provisoirement la formation académique et pédagogique des Professeurs de Collèges d'Enseignement Moyen (P.C.E.M.)⁴ ;
- assurer la formation des cadres de contrôle de l'Enseignement Élémentaire et de l'Education Préscolaire (Inspecteurs et Inspecteurs-Adjoints) et les Inspecteurs formateurs des Ecoles de Formations d'Instituteurs (EFI) ;
- effectuer des recherches dans le domaine de la psychopédagogie et produire des documents d'enseignement ;
- organiser des séminaires de réflexion et des stages de formation pour les personnels enseignants ;
- **assurer la formation continue des enseignants et aider à leur promotion sociale ;**
- gérer la formation universitaire préalable des enseignants titulaires admis à un concours de recrutement au titre de la promotion professionnelle, avant leur entrée en section de formation des professeurs ou des inspecteurs ;
- dispenser une formation en Sciences de l'Education au niveau du 3^{ème} cycle.

³ PES : Professeurs de l'Enseignement Secondaire, niveau de la maîtrise, enseignant de lycée.

PEM : Professeurs de l'Enseignement Moyen, niveau de la licence, enseignant de collège, mais les établissements peuvent faire appel à des PEM pour combler leur déficit en professeurs de lycée.

⁴ PCEM : Professeurs de Collège d'Enseignement Moyen ayant un niveau académique baccalauréat séries scientifiques.

La Faculté des Sciences et Technologies de l'Education et de la Formation est située à Dakar et n'a pas de structure de relais dans les différentes régions du Sénégal. Son département de mathématiques compte actuellement une dizaine d'enseignants formateurs. Compte tenu du nombre de professeurs enseignant les mathématiques au Sénégal, de la diversité de leur niveau de formation et de leur éparpillement géographique (Tableau 3), il était illusoire de penser que la FASTEF puisse satisfaire cette mission de formation continue des professeurs de mathématiques. Etant donné que les enseignants de la FASTEF sont, pour la plupart, des enseignants chercheurs d'université, les laboratoires de cette faculté devraient être un terreau fertile pour articuler suivi des enseignants et recherche sur l'amélioration des pratiques.

Professeurs de mathématiques	DK	KK	TH	SL	LG	ZG	KL	TC	FC	DL
Prof-Collège-Homme	150	37	93	36	14	12	15	13	26	11
Prof-Collège-Femme	30	0	5	1	1	0	0	0	1	1
Prof-Lycée-Homme	125	14	0	32	0	23	11	11	21	11
Prof-Lycée-Femme	19	0	3	2	0	0	0	0	1	2
Prof-Collège -Maths-SVT-Homme	8	14	23	18	13	25	19	13	22	6
Prof-Collège-Maths-PC-Homme	14	15	14	16	8	38	17	11	27	12
Prof-Collège-Maths-SVT-Femme	3	0	5	2	0	1	0	1	2	1
Prof-Collège-Maths-PC-Femme	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Prof-Lycée-Maths-SVT-Homme	0	0	2	2	6	0	0	2	1	0
Prof-Lycée-Maths-PC-Homme	0	0	14	8	1	2	2	0	3	0
Prof-Lycée-Maths-SVT-Femme	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prof-Lycée-Maths-PC-Femme	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prof-Maths-Lycée-Technique-Homme	21	5	0	4	0	1	0	2	0	3
Prof-Maths-Lycée-Technique-Femme	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Professeurs de maths	370	86	159	122	44	102	64	53	105	47
Nombre de professeurs enseignant les mathématiques seulement										
759										
Nombre de professeurs enseignant les mathématiques										
1152										

Tableau 3 : Répartition des professeurs de mathématiques par corps, par sexe et par région⁵ (Direction de la Planification et de la Reforme de l'Education / Ministère de l'Education du Sénégal DPRE/ ME, 2002).

I-1-2 Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, de la Physique et de la Technologie

L'Institut de Recherche sur l'Enseignement de la Mathématique (IREM), devenu en 1975 Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, de la Physique et de la Technologie (IREMPT), a été créé en 1972 (décret n° 72-281 du 16 mars 1972, JO). Il avait à peu près les mêmes missions que les IREM, en France :

- mener des recherches et faire des expérimentations pédagogiques coordonnées en mathématiques, physique et technologie dans l'enseignement primaire, moyen et secondaire ;
- contribuer à la formation initiale des enseignants de l'enseignement primaire, moyen et secondaire;

⁵ DK (Dakar), KK (Kaolack), TH (Thies), SL (Saint Louis), LG (Louga), ZG (Ziguinchor), KL (Kolda), TC (Tamba Counda), FC (Fatick), DL (Diourbel) sont les 10 capitales régionales du Sénégal.

- **assurer la formation continue des enseignants de l'enseignement primaire, moyen et secondaire ;**
- assurer l'élaboration et la diffusion d'une documentation pour les enseignants.

Pour faire face à sa mission de formation continue des enseignants, l'IREMPT octroie des décharges horaires à des enseignants de lycées et collèges pour leur faire jouer le rôle de conseiller pédagogique. Des enseignants de l'université sont également nommés parmi les conseillers de l'IREMPT. Dans le premier numéro de leur bulletin de liaison, les conseillers s'étaient fixés comme objectif de mener des recherches qui aboutiraient à l'élaboration et à la diffusion de documents pédagogiques tels que fiches, fascicules et livres. C'est dans ce cadre qu'il faut situer la publication des fiches pédagogiques, relatives aux différents chapitres de mathématiques de 6^{ème}, 5^{ème}, 4^{ème}, 3^{ème} et 2^{nde} et de livres du maître rédigés à l'intention des professeurs de mathématiques. C'est dans ce cadre qu'il faut, également, situer le terme de conseillers qui est associé aux animateurs de l'IREMPT.

Les conseillers estiment qu'ils doivent éclairer et guider le professeur tout au long du déroulement de son enseignement. Ils avaient élaboré un guide qu'ils ont appelé le « livre du maître » et qui devait prendre en compte trois exigences :

- justifier les choix faits par les auteurs ;
- démontrer tous les théorèmes du cours, surtout ceux qui ne sont pas traités dans le manuel de l'élève ;
- expliquer l'intérêt des problèmes proposés aux élèves et proposer des solutions sommaires.

On peut remarquer que les conseillers de l'IREMPT ne se limitent pas à proposer des contenus mathématiques et des choix didactiques mais qu'ils pensent, également, à les justifier. Ils ont eu, cependant, des difficultés pour exécuter un tel programme, compte tenu de leur disponibilité et, pour certain, de leur niveau de formation.

L'IREMPT souffre d'un manque de spécialiste en didactique des disciplines scientifiques et ses conseillers qui, pour la plupart, sont nommés parmi les professeurs de l'enseignement secondaire, éprouvent des difficultés à justifier leurs choix didactiques. En outre, l'administration sénégalaise n'octroie qu'une décharge horaire limitée aux conseillers pour jouer leur rôle. De plus, comme tous les conseillers sont nommés parmi les professeurs de mathématiques en exercice à Dakar (car il n'existe qu'un seul IREM, implanté à Dakar) leur décharge horaire ne leur permet pas de déployer leur dispositif dans les autres régions du Sénégal. Cependant, les conseillers de l'IREMPT pourraient jouer un rôle très important dans l'amélioration ou la mise en œuvre des dispositifs de formation continue. Menant à la fois des activités de recherche et gardant encore un pied dans l'enseignement moyen ou secondaire, les conseillers de l'IREMPT pourraient élaborer ou tester des outils de recherches en didactique des mathématiques qui faciliteront par la suite le travail des enseignants.

I-1-3 Structure de Formation Continuée

La Structure de Formation Continuée (SFC) des enseignants a été créée en 1984 pour prendre en charge la formation continue des professeurs de mathématiques, de français et de sciences physiques (Arrêté 8955/MEN/ du 21/07/84). La SFC est une structure indépendante de la FASTEF et de l'IREMPT avec qui elle partage, néanmoins, la mission de formation continue des enseignants. Elle fonctionne au niveau de chaque région avec des conseillers pédagogiques recrutés parmi les enseignants de lycées et collèges. Dans chaque région, les formations sont assurées en présentiel par le pôle régional de formation qui regroupe les

conseillers de mathématiques et ceux d'autres disciplines (français et de sciences physiques entre autres). Une structure de coordination nationale, aujourd'hui rattachée à la Direction de l'Enseignement Moyen Secondaire Général du Ministère en charge de l'éducation, s'emploie à l'articulation et de la supervision des différentes actions des pôles.

Les formations initiées par la SFC sont organisées en présentiel dans les régions par les conseillers pédagogiques. Les conseillers ont également la charge, dans leur région, de la planification des formations, de la production de ressources de formation, de l'animation des séminaires et de la coordination des activités des *cellules d'établissements*⁶. Ces conseillers pédagogiques sont en nombre insuffisant par rapport au nombre de professeurs de mathématiques (Tableau 4) et ne sont pas toujours bien préparés à leurs missions de formateurs. De plus, le mode de formation en présentiel adopté par les pôles ne permet pas aux formateurs de répondre efficacement aux interrogations des professeurs de mathématiques de leur région. Toutefois, dans un système articulé et coordonné, les pôles régionaux de formation pourraient être des lieux appropriés pour la mise en application, dans chaque région, de formations qui auraient fait l'objet de recherches confirmées.

Région	Dakar	Kaolack	Thies	Saint-Louis	Louga	Ziguinchor	Kolda	Tamba	Fatick	Diourbel
Nombre de conseillers pédagogiques	5	2	2	1	1	1	1	1	1	1
Nombre de professeurs de mathématiques	370	86	159	122	44	102	64	53	105	47
Nombre d'établissements	63	26	41	35	16	24	20	13	26	15
Nombre de salles informatiques scolaires	49	07	09	07	01	01	02	02	04	02

Tableau 4 : Répartition des conseillers pédagogiques en mathématiques par région (Direction de la Planification et de la Reforme de l'Education / Ministère de l'Education du Sénégal DPRE/ME, 2002).

⁶ Il existe au Sénégal des cellules pédagogiques d'établissement(s) qui regroupent des enseignants d'une même discipline d'un même établissement ou d'établissements voisins afin de leur permettre d'organiser leur enseignement mais, également, de prendre en charge les problèmes spécifiques de leur localité.

I-2 UNE FORMATION CONTINUE QUI DOIT EVOLUER POUR POUVOIR ASSURER SES MISSIONS

Dans le domaine de l'éducation, on note, aujourd'hui, dans le monde deux enjeux majeurs : la formation continue et la formation à distance :

- l'enjeu lié à la formation continue est né du développement de plus en plus rapide des savoirs et de l'émergence de plus en plus importante de nouveaux savoirs avec, comme conséquence, des besoins réguliers de renouvellement de connaissances. Les technologies de l'information et de la communication, par exemple, se développent de façon tellement rapide qu'un renouvellement des connaissances dans ce domaine devient pour certains pays un enjeu national. Pour De Ketele (1989), depuis des années :

« Les spécialistes de la prospective et de recherches internationales s'accordent pour mettre en évidence l'importance de la formation continue. Dans les pays les plus développés, on assiste à une évolution nette des institutions de formation de par l'invasion des demandes de formation pour adultes. Ce mouvement ira en s'accroissant, provoquant des transformations profondes non seulement au niveau institutionnel mais au niveau des formations et de leur conception de la formation ».

Par ailleurs, en 1990, lors de la conférence de Jomtien, le rapport final faisait état d'une corrélation étroite entre la connaissance que le maître a de la matière enseignée, son style d'enseignement et la réussite de l'élève. Ce rapport précisait également que :

« La formation continue des enseignants en cours d'emploi a un effet positif qui n'est plus à démontrer sur leur performance, et par suite, sur les résultats des élèves, tout particulièrement dans les pays en développement » (WCEFA 1990).

- les enjeux liés à la formation à distance sont, quant à eux, fils du développement de la formation continue. Essentiellement, ces enjeux sont économiques : rendre compétitives les offres de formation et répondre aux nouvelles règles des entreprises : la flexibilité et la compétitivité. Ils sont, dans certains centres de recherche, pédagogiques et didactiques : articuler la modernité du fonctionnement des dispositifs de formation à distance à l'expérience des structures de formation en présentiel et favoriser les interactions sociales pour la construction d'un savoir donné. De ce fait, à côté de ce tout économique, des activités de formation sont menées par des instituts de recherche pour organiser et structurer les offres de formation en essayant d'articuler le présentiel et la distance.

I-2-1 Les enjeux de la formation à distance et de l'usage des nouvelles technologies

Un compte-rendu sur le télé-enseignement fait par la commission pour les affaires culturelles et la jeunesse du Parlement Européen retenait trois caractéristiques principales pour définir ce qu'on appelait alors le « télé-enseignement ». Il s'agissait de :

- la séparation dans l'espace de l'étudiant et du maître dans la totalité ou la quasi-totalité des cours ;

- l'emploi d'un document didactique se trouvant enregistré de façon permanente tels que notes, imprimés, films, radiodiffusion et télévision ;
- la direction exercée par le maître et le choix, par celui-ci, du but à atteindre (Pengelly 1979, p. 92).

On peut remarquer, qu'à cette époque, la télévision était l'un des médiums les plus utilisés pour la formation à distance. En France, par exemple, le développement de la télévision avait fortement influencé l'organisation de la formation permanente des enseignants. Une émission de télévision (chantiers mathématiques), financée par le Ministère de l'Education Nationale, était conçue pour accompagner la formation continue des professeurs de mathématiques. L'émission était complétée par des documents imprimés envoyés aux enseignants (Walusinski 1970). Seulement, jusque là, toutes ces méthodes utilisées (notes, imprimés, films, radiodiffusion et télévision) posent un problème d'interaction entre enseignants et enseignés.

Il est à noter que l'évolution de l'enseignement à distance est fortement renforcée par l'évolution des médiums d'information : le courrier, la radio, la télévision, l'Internet, etc. L'essor que nous avons connu, à l'aube du 3^{ème} millénaire, de la formation à distance est lié en grande partie au développement des technologies de l'information et de la communication.

Ces dernières années marquent une étape importante pour la formation à distance. Elle fait entrer de nouveaux paradigmes au niveau des partages de savoir : le plaisir de partager ce que l'on sait, ce que l'on vient de découvrir commence à céder la place à la marchandisation des connaissances. Hirtt (2001), Friesen (2004), Dessus & Schneider (2006) estiment que certaines recherches relatives au e-learning posent des problèmes politiques et éthiques liés à une standardisation qui fait le jeu de l'économie ou du militaire. C'est en 2000, pour la première fois, que les services de l'éducation font partie des points de négociation au niveau de l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC). L'Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE) parle déjà de pays exportateur, de marché et de compétitivité. Dans le rapport de mission de Averous & Touzot (2002), on peut noter que plusieurs pays occidentaux ont fait ces dernières années des efforts substantiels, soit pour la formation à distance, soit pour l'utilisation de l'Internet dans les activités socio-économiques des populations :

- les Etats-Unis seraient en valeur absolue le premier exportateur dans les services de l'éducation : en 2004, ce marché est estimé aux USA à 44,5 G € ; il serait de l'ordre de 4,37G € en Europe. Virtual Campus University (une université virtuelle) a produit, en 1995, 500 cours pour 1 000 000 étudiants répartis dans 128 pays. Le gouvernement américain a créé un Comité national pour le commerce international en éducation ;
- en Australie, 37% des ménages ont accès à Internet, 67% de la population a utilisé régulièrement Internet en 2000 et 2001 et 87% des australiens ont utilisé, régulièrement, Internet durant la dernière semaine de l'année 2001. Le pays a alloué une somme de 22,4 M € au programme sur la formation à distance ;
- au Canada, 42% des logements canadiens étaient reliés à Internet en 2001, contre 38% en 1999. Entre mars 1999 et mai 2000, 57% des 137 collèges et universités canadiens offraient des cours en ligne, soit 3 000 cours au total variant de 1 à 340, selon les établissements. Près de 20 000 étudiants de Canada's Open University sont des étudiants à distance ;
- en Grande-Bretagne, le gouvernement travailliste, à travers l'University for Industry (UFI), a créé 1000 centres d'études pour la formation continue des salariés britanniques. Ces centres de proximité sont partout présents dans les entreprises, les centres commerciaux, les bibliothèques de quartier, les collèges d'enseignement supérieur, etc.

UFI compte actuellement 250 000 inscrits et espère, dans son plan stratégique, multiplier ce chiffre par quatre d'ici 2004-2005 ;

- au Japon, en 1997, le conseil des universités a proposé que 30 des 124 crédits nécessaires pour obtenir la maîtrise puissent être délivrés par un enseignement à distance. En 1998, le même conseil a proposé que les 124 crédits puissent être attribués par l'enseignement à distance, à partir de novembre 2000. Le début du 21^{ème} siècle au Japon sera marqué par une réforme importante de l'éducation. Le Parlement a voté la loi fondamentale pour la formation. Le 5 janvier 2001, la loi est entrée en vigueur. L'article 16 stipule que :

« [...] Il est essentiel de développer les réseaux de communication, pour produire des contenus d'informations satisfaisants sous forme de voix, de textes ou d'images qui seront diffusés grâce à ces réseaux. Ils permettront d'acquérir les qualifications nécessaires pour l'utilisation des technologies de communication et de l'information ».

L'article 18 précise que :

« [...] Des mesures doivent être prises pour créer les ressources humaines créatives nécessaires au développement des réseaux d'information et de communication utiles à l'éducation et à l'apprentissage, **de telle sorte que la nation entière soit apte à utiliser ces technologies** ».

(nos soulignements)

Cette mainmise du Parlement et la manière dont il s'y prend, témoigne de l'intérêt que ce pays accorde à la formation à distance et l'espoir qu'elle suscite pour le peuple japonais ;

- en France, 64% des offres de formation à distance vont en direction de la formation continue. Parmi les 91 universités et centres de recherche qui se sont illustrés sur les projets de Campus numériques, 15 sont issus des Instituts Universitaires de Formation des Maîtres (IUFM). Ceci laisse supposer un choix de la formation à distance au niveau des perspectives de la formation continue des enseignants. L'ouverture de la France vers la formation à distance ouvre des perspectives intéressantes : le développement de la recherche sur les dispositifs de formation (leur mode d'organisation et de fonctionnement).

I-2-2 Le SFoDEM : un exemple de dispositif hybride de formation

En France, malgré une volonté officielle affichée, l'utilisation des TICE est restée marginale dans l'enseignement des mathématiques et les dispositifs de formation continue qui se réduisent à des stages de trois jours sont particulièrement inadaptés pour ce type de formation. C'est dans ce contexte que le Suivi de Formation à Distance des Enseignants en Mathématiques (SFoDEM) a été mis en place dans l'académie de Montpellier. Le dispositif est conçu par l'IREM de Montpellier avec le concours de différentes institutions régionales et nationales (CRDP, IUFM et Rectorat de Montpellier, Université Montpellier II et Direction des Technologies du Ministère de l'Education Nationale). Il se donne comme objectif d'organiser un accompagnement continu des enseignants dans leur effort pour intégrer les TICE au niveau de leurs pratiques quotidiennes, en instaurant des nouveaux modes de travail collaboratif entre tous les membres impliqués. L'hypothèse de travail du SFoDEM est qu'un

accompagnement continu dans l'appropriation et l'expérimentation de ressources pédagogiques peut aider les enseignants à franchir le passage critique à l'acte pédagogique (Guin 2003).

Pour atteindre son objectif et valider son hypothèse, le SFoDEM proposait initialement cinq thèmes de formation (Guin & al 2005) :

- le thème 1 prend en charge la recherche des conditions d'intégration des calculatrices, plus généralement des TICE en algèbre ;
- le thème 2 travaille sur l'identification des conditions d'intégration des calculatrices graphiques et symboliques dans l'enseignement des mathématiques ;
- le thème 3 étudie l'intégration de fichiers informatiques interactifs en rétroprojection dans la classe ;
- le thème 4 utilise les TICE pour l'enseignement de la statistique et propose des formations qui permettent aux enseignants de se familiariser à la démarche de modélisation à partir de résultats empiriques observés, lors de simulations d'expériences aléatoires ;
- le thème 5 s'est fixé pour objectif de favoriser chez les enseignants une évolution des pratiques autour de la résolution de problèmes ouverts à partir d'un travail collaboratif à distance et chez les élèves une activité de recherche mathématique.

Ce mode d'organisation par thème répond à un double objectif :

- d'abord à un objectif de recherche ; il permet de diversifier les thèmes de formation afin de dégager des invariants dans l'organisation qui soient viables au-delà des thèmes étudiés ;
- ensuite à un objectif d'enseignement ; il permet de tenir compte de la différence des modes d'intégration nécessitant, pour chacune d'elle, une réorganisation différente de la classe qui induit, par la suite, des pratiques pédagogiques très diversifiées (Guin 2003).

Une centaine de stagiaires se répartissent dans les cinq thèmes. La formation au niveau de chaque thème alterne des journées en présentiel et des communications à distance. La conduite du dispositif s'appuie sur une cellule de formation (figure 5) et la plate-forme Plei@d. La cellule regroupe les pilotes (pour le suivi scientifique du dispositif), un responsable technique (pour l'administration de la plate-forme) et une quinzaine de formateurs répartis suivant les thèmes (Guin & al 2005). Cette cellule travaille sur la planification et les régulations de la formation qu'elle effectue, essentiellement, à partir d'interactions en présentiel et à distance et sur la conception des ressources pédagogiques.

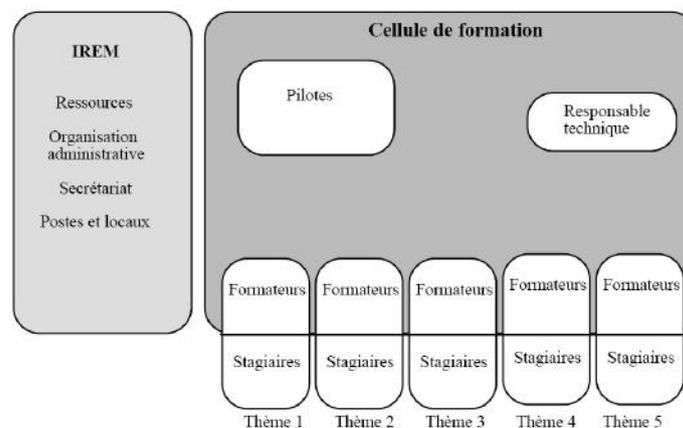


figure 5 : SFoDEM (Guin 2003).

L'accompagnement des enseignants se fait avec des ressources pédagogiques qui prennent en charge les conditions effectives de l'intégration des TICE dans les pratiques de classe. Pour Guin & al (2003) :

« Ce dispositif va dans le sens des propositions du rapport que B. Cornu et J. Brihault ont remis au Ministre de l'Education Nationale, le 5 janvier 2001, suggérant, en particulier, **de développer des dispositifs de formation à distance**, utilisant les technologies de l'information et de la communication, **articulant des ressources** et des activités à distance et des regroupements ».

(nos soulignements)

Les ressources pédagogiques sont conçues de façon à faciliter, pour les enseignants, l'appropriation technique des TIC, leur intégration disciplinaire, leur mise en œuvre dans les classes et la mutualisation (figure 6) :

« Cette mutualisation des ressources suppose aussi une homogénéité. A cette fin, un modèle pour les ressources pédagogiques a été défini, de telle façon que l'enseignant retrouve d'une ressource à l'autre les mêmes rubriques, présentées dans le même ordre et surtout remplies dans le même esprit. Ce modèle a été élaboré par étapes, dans le cadre de la cellule de formation : il a été établi de manière ascendante, à partir des ressources conçues par les formateurs, puis confronté aux normes en matière de description d'objets pédagogiques, mais aussi de manière descendante, proposé aux formateurs pour concevoir leurs ressources en conformité au modèle » (Guin & al ibidem).

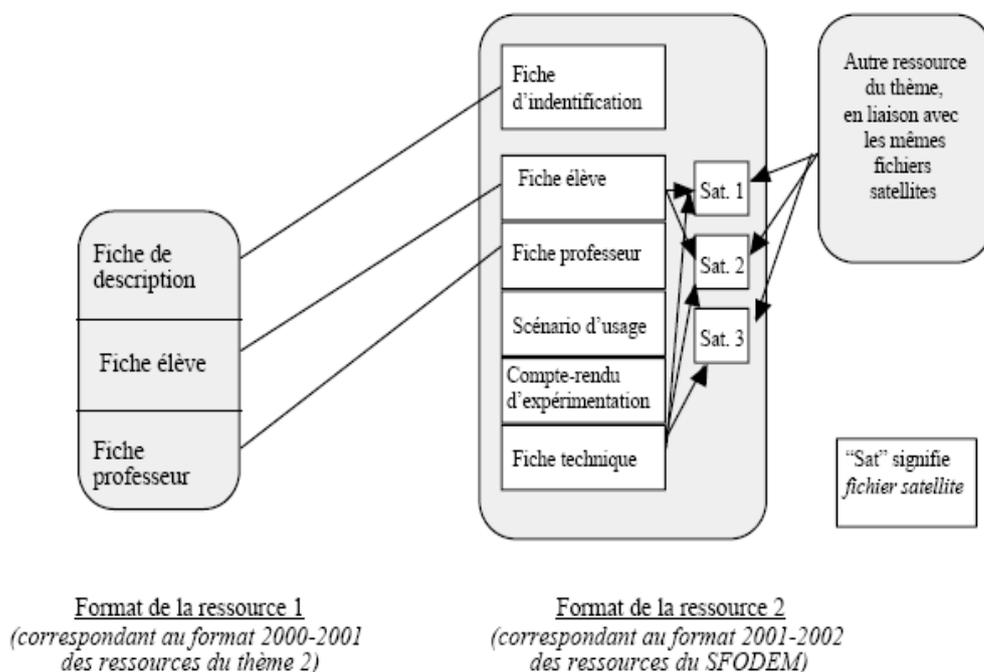


figure 6 : Evolution des ressources du SFoDEM (Guin 2003).

En 2002, mis à part la fiche d'identification de la ressource dans la plate-forme, le modèle contenait cinq fiches. A côté des fiches élève et des fiches professeur qui décrivent respectivement les activités des élèves et des professeurs, il y a eu la *fiche technique*, le *scénario d'usage* et la *fiche de compte-rendu d'expérimentation*. Ces deux derniers jouaient des rôles importants dans ce dispositif. Le premier décrit étape par étape le déroulement de l'activité en classe en indiquant, pour chacune de ces étapes, la situation, les tâches à réaliser, sa durée et les acteurs qui les réalisent, les outils et supports nécessaires. Quant à la *fiche compte-rendu d'expérimentation*, elle a été intégrée dans les ressources pour faciliter les *retours d'usage* de la ressource au sein de chaque thème, elle permet ainsi une mutualisation des expériences et, ultérieurement, une évolution de la ressource qui se construit ainsi à travers les usages (Guin & al 2003). La fiche technique, quant à elle, facilite pour l'utilisateur l'appropriation technique de la ressource en lui permettant d'accéder aux fonctionnalités spécifiques des technologies utilisées.

Le modèle du SFoDEM, de par l'articulation qu'il fait de la formation avec la recherche, de par son fonctionnement et de par le type de formation qu'il a mis en œuvre, apparaît sur ces trois points très propice pour la prise en charge de la formation des vacataires :

- le premier point est ce que nous appellerons une *double hybridation* avec une première articulation de la formation et de la recherche suivi d'une autre articulation du présentiel et de la distance. Pour Guin (2003), les équipes de recherche de l'IREM abordent l'intégration des TICE, sous différents angles, pour dégager des invariants dans les modes de communication et d'organisation, ce qui permettrait de mettre en évidence les conditions nécessaires à la viabilité de ce type de dispositif dans d'autres contextes. Au Sénégal, le contexte de la formation est différent de ce celui du SFoDEM et peu de recherches sont menées sur le fonctionnement ou la mise en œuvre de dispositifs de formation continue des professeurs de niveau aussi faible. Or, une articulation des activités de recherche et de formation permettrait aux instituts de formation de s'interroger sur les difficultés réelles des enseignants sur le terrain et de développer des recherches cliniques dans ce sens. Réciproquement, la production d'un résultat théorique de recherche pourrait faire l'objet de tentative d'expérimentation et de validation par le terrain. Dans un premier temps, l'expérience des différentes institutions sur la formation en présentiel peut alimenter les recherches sur les dispositifs de formation à distance. Les réussites constatées au niveau de la formation à distance peuvent servir les dispositifs de formation existants ;
- le second point est relatif à son mode d'organisation qui permet, d'une part, la constitution d'une cellule de formation qui regroupe toutes les personnes impliquées dans la formation. Il permet, d'autre part, l'instauration d'un mode de travail *coopératif et collaboratif* entre les personnes impliquées dans le projet. Au Sénégal, une collaboration pour la mise en œuvre d'une structure de formation continue se traduirait par la mise en synergie de toutes les structures en charge de la formation continue. La FASTEF pourrait travailler à l'élaboration d'outils théoriques et assurer le suivi scientifique des dispositifs de formation, l'IREMPT travaillerait sur les recherches cliniques pour opérationnaliser les outils théoriques et les pôles régionaux de formation de la SFC s'occuperaient du déploiement des dispositifs de formation. Réciproquement, le travail de terrain, effectué par les pôles régionaux, offrirait des thèmes d'études au suivi scientifique des dispositifs ;
- le troisième point concerne les ressources qui s'inscrivent dans un paradigme socio-constructiviste de l'apprentissage dont le modèle évolue et permet de recueillir les suggestions de modification des usagers (figure 6). Les structures de formation

actuelles, dans le cadre leur mission de formation continue, conçoivent des ressources qu'elles mettent à la disposition des enseignants comme des « guides pédagogiques » c'est-à-dire un ensemble de fiches de cours que l'enseignant doit utiliser comme support pour faire ses enseignements. Avec le dispositif du SFoDEM, les enseignants, entre pairs, conçoivent leurs propres ressources et, parfois, le font en collaboration avec leur tuteur. Ils modifient certaines ressources pour tenir compte de l'usage qui en a été fait. Les professeurs vacataires comme les titulaires, au sein des cellules d'établissement et parfois en collaboration avec un conseiller pédagogique de la région pourraient s'organiser pour concevoir leurs propres ressources.

L'hypothèse de travail, dans le cadre du SFoDEM, est qu'un accompagnement continu dans l'appropriation et l'expérimentation de ressources pédagogiques pourrait aider les enseignants à franchir le passage critique à l'acte pédagogique. Au Sénégal, une telle initiative pourrait aider les enseignants à travailler à la conception et au partage de ressources pédagogiques.

I-2-3 Les enjeux d'une formation continue à distance des professeurs de mathématiques au Sénégal

a) Les enjeux liés à la gestion de la situation des vacataires

Le Sénégal est confronté, depuis quelques années, à des difficultés liées à la formation initiale et continue de ses professeurs de mathématiques. Un bon nombre de professeurs de mathématiques sont des vacataires, c'est-à-dire non titularisés, sans formation pédagogique et avec un niveau de formation académique souvent très faible.

En 2002, sur 345 enseignants recrutés en mathématiques, 307 sont des enseignants vacataires dont 75 % ont seulement le niveau du baccalauréat (tableau 7). Suite à l'arrivée massive de ces enseignants vacataires dans l'enseignement des mathématiques, les difficultés liées à la formation continue des professeurs se sont accentuées. Le mode de formation actuel, qui privilégie le présentiel, ne facilite pas la gestion de ces difficultés qui sont devenues plus importantes et complexes. Celles-ci ont pour noms : un environnement scolaire complexe et l'isolement des enseignants.

Niveaux	Nouveaux sortants de l'E.N.S	Vacataires	Effectifs par niveau
Bac	22	218	240
Licence	7	68	75
Maîtrise	8	22	30
Effectif	37	308	

Tableau 7 : Effectifs comparés, par corps, des professeurs de mathématiques sortants en 2002 de l'ENS
(Archives de l'Ecole Normale Supérieure, 2002).

- **La complexité de l'environnement scolaire** : il faut surtout noter les difficultés liées à la maîtrise des objets de savoirs nouveaux que le vacataire doit enseigner. Les programmes de mathématiques sont souvent modifiés et les enseignants n'ont pas toujours eu l'opportunité de rencontrer, dans leur cursus scolaire, les objets de savoir qu'ils sont censés enseigner. L'arithmétique, par exemple, n'est pas toujours enseignée alors qu'elle est introduite dans le programme des séries scientifiques, depuis 2000. Justement, pour introduire ce programme il est écrit :

« Ce programme de Terminale S1S3 est l'aboutissement de la Réforme entreprise depuis 1990 et qui avait débuté par l'élaboration du programme de 6^{ème}[...]. La nouveauté de ce programme de Terminale S1S3 résulte dans la réintroduction de l'Arithmétique [...] ».

L'augmentation des effectifs dans les classes ne facilite pas non plus le travail de ces enseignants. Aujourd'hui, il n'est pas rare de trouver des classes de plus de 68 élèves (PDEF 2003). Dans certaines localités, les effectifs dépassent 100 élèves par classe. Il s'y ajoute, à côté de ces sureffectifs, une baisse des horaires hebdomadaires en mathématiques. En terminale S2 (science biologie et science physique), l'horaire hebdomadaire est passé de 7 à 5 heures. Cette diminution du temps consacré à l'étude des mathématiques ne facilite pas une amélioration du niveau des élèves dans cette discipline. Malgré cette baisse de crédit horaire dans les classes, les professeurs de mathématiques sont toujours surchargés. Avec, officiellement, 22 heures de cours par semaine, il est fréquent de rencontrer des professeurs de collèges qui font plus de 28 heures de cours de mathématiques. La non disponibilité de manuels et la gestion difficile des TICE en classe sont autant de facteurs qui font que même des professeurs bien formés ont du mal à gérer efficacement ces difficultés. On note, dans certains établissements, un manque notoire de documents pour la formation du maître : les manuels, les livres de professeur, les revues, sont souvent absents des bibliothèques lorsqu'elles existent. Même l'accès au programme officiel fait parfois défaut.

- ***L'isolement des professeurs de mathématiques*** : l'augmentation du nombre de collèges et de lycées ainsi que leur éparpillement géographique ont entraîné l'isolement physique de certains établissements et, donc, de leurs enseignants. Les échanges entre professeurs de mathématiques deviennent moins fréquents. Compte tenu de la dispersion et de l'éloignement de certains établissements, des enseignants d'une cellule à cheval sur plusieurs établissements, restent, parfois, toute une année sans se rencontrer. L'isolement des professeurs de mathématiques est aussi relatif au niveau académique de l'enseignant. Dans certaine localité, on ne trouve qu'un seul professeur de l'enseignement secondaire capable de prendre en charge les classes de terminales scientifiques ; ce professeur travaille souvent seul, aussi bien au niveau de l'organisation de son enseignement qu'au niveau de la prise en charge des difficultés de ses élèves. L'isolement des professeurs de mathématiques pourrait être compensé par des échanges avec des formateurs tuteurs mais, mis à part la SFC, les structures de formation des enseignants sont toutes basées à Dakar. Il leur est ainsi difficile d'organiser des rencontres avec les enseignants qui sont en dehors de cette région. La structure dite de formation continuée qui est la seule présente dans toutes les régions du Sénégal, fonctionne dans certaines régions avec un seul conseiller pédagogique (Tableau 4). Il s'y ajoute que les rares sessions de formation qu'elle organise se font en présentiel, ce qui empiète sur le temps de présence des enseignants en classe. De plus, ce mode de formation en présentiel ne favorise pas la formation des enseignants des zones rurales.

Avec le fonctionnement actuel de la formation continue, il est illusoire d'espérer qu'elle puisse produire des résultats satisfaisants.

b) Les enjeux liés à la gestion des dispositifs de formation continue des enseignants du Sénégal

Le modèle de formation que cette recherche voudrait mettre en place pour répondre aux problèmes des vacataires, ci-dessus évoqués, est une *transmutation* (§III-1) de celui du SFoDEM. Il s'agit d'un modèle de formation continue à distance articulé avec des phases en présentiel qui a pour objectif de mettre en synergie les institutions différentes et complémentaires en matière de formation en mathématiques, pour prendre en charge de façon efficace et durable la formation continue des professeurs de mathématiques. Au Sénégal, ces institutions sont le Département de Mathématiques de la FASTEF, la Structure de Formation Continué et l'Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, de la Physique et de la Technologie. Ces instituts, par cette formation, souhaitent faire évoluer leur structure de formation et les pratiques des enseignants. Compte tenu du niveau relativement bas de la plupart des professeurs vacataires de mathématiques, cette formation veut privilégier un accompagnement continu par le biais de ressources pédagogiques. Le modèle de ressources pourrait être un modèle transmuté de celui du SFoDEM.

Nous nous interrogeons, dans ce travail, sur les conditions optimales de conception de ressource pédagogique et d'organisation des enseignants afin que les pratiques de ces derniers puissent évoluer avec les ressources.

II CADRE THEORIQUE

INTRODUCTION

II-1 APPROCHE ANTHROPOLOGIQUE DU DIDACTIQUE

II-1-1 Organisation mathématique

II-1-2 Organisation didactique

II-1-3 Le topos

II-2 SAVOIR ET COMMUNICATION

II-2-1 Transposition didactique

II-2-2 Savoir et formation à distance

II-2-3 Représentations sémiotiques

II-3 THEORIE DES SITUATIONS DIDACTIQUES ET DISPOSITIF DE FORMATION

II-3-1 Situation et milieu

II-3-2 Travail collaboratif, communauté de pratique et praticien réflexif

II-3-3 Modélisation de pratiques enseignantes

II-4 APPROCHE INSTRUMENTALE DES RESSOURCES PEDAGOGIQUES

II-4-1 De Piaget à Vygotski

II-4-2 Notion de schèmes

II-4-3 Approche instrumentale

II-4-4 Genèse instrumentale de ressources pédagogiques

II-4-5 Approche instrumentale étendue

INTRODUCTION

Cette activité de recherche s'articule autour de trois points fondamentaux :

- la formation au métier d'enseignant ;
- l'enseignement d'un savoir à distance ;
- l'évolution des ressources pédagogiques à travers les usages.

L'étude que nous faisons de ces différents points puise son fondement :

- d'abord dans la *théorie anthropologique du didactique*. Rappelons que la formation, sur laquelle porte cette étude, est une formation à distance basée sur des ressources pédagogiques prenant en compte les conditions effectives de leur mise en œuvre en classe. Précisons, également, que les enseignants pour qui cette formation sera organisée n'ont pas de formation pédagogique et, la plupart d'entre eux, sont de niveau académique très faible. La théorie anthropologique du didactique permet de faire une analyse des pratiques enseignantes. Elle offre les moyens d'étudier *l'organisation mathématique* et de *l'organisation didactique* qui s'éclairent à la conception et l'usage des ressources ;
- ensuite, il sera aisé de constater que le travail de conception et d'usage de ressources doit être accompagné d'une étude approfondie des processus de *transposition* : qu'elle soit didactique pour la réorganisation des savoirs mathématiques ou informatique pour prendre en compte les modifications des ressources par l'outil informatique dans lequel elles pourraient être implémentées. Sont liées à ce problème de transposition deux questions essentielles :
 - comment transposer un savoir à distance ? La réponse à cette question mérite que l'on visite le rapport entre savoir et distance ;
 - quel est le type d'organisation le plus approprié pour le faire ? Quelle que soit la réponse à cette question, quel que soit le modèle de ressources utilisé, cette formation nous obligera à nous interroger sur les interactions possibles entre professeurs et entre professeur et *le milieu* de l'élève.
- enfin, pour mieux étudier les médiations entre professeur et savoirs mathématiques à travers des ressources pédagogiques, nous nous inscrivons dans une *approche instrumentale* des ressources pédagogiques. Nous étudierons la notion de schème. Ce travail sur les schèmes facilitera l'identification d'invariants dans l'organisation des activités des enseignants.

II-1 APPROCHE ANTHROPOLOGIQUE DU DIDACTIQUE

La Théorie Anthropologique du Didactique (TAD) (Chevallard 1998) situe l'activité mathématique et l'activité d'étude des mathématiques dans l'ensemble des activités humaines. Elle se fonde sur le postulat de base que toute activité humaine, régulièrement accomplie, peut être décrite grâce à un modèle unique que Chevallard (ibidem) désigne sous le nom de *praxéologie*.

II-1-1 Organisation mathématique

Selon Chevallard (1997) :

« L'une des premières tâches auxquelles s'affronte le professeur en tant que directeur d'étude d'une classe donnée, consiste à déterminer, à partir des indications du programme d'études officiel, les organisations mathématiques à étudier en précisant, pour chacune d'elle, son contenu précis et, en particulier, le socle des types de tâches mathématiques qu'elle contient ainsi que le degré de développement à donner aux composantes techniques, technologique, théorique ».

Une organisation mathématique est ainsi décomposée en types de tâches, techniques, technologie et théorie. Les types de tâches sont réalisés grâce à des techniques. Une technologie existe pour justifier un ensemble de techniques et elle s'inscrit dans une théorie qui en est le fondement.

a) *Les types de tâches*

Le type de tâches est la racine de toute organisation praxéologique, il a un sens très large, il suppose un objet relativement précis, exemple : « déterminer une équation de la droite (Δ) passant par le point A (a ; b) et dont un des vecteurs directeurs est le vecteur \vec{U} (u ; v) ». Il est intéressant, lorsqu'un type de tâches est défini, de voir s'il est facilement identifiable, s'il apparaît motivé pour l'institution (la classe par exemple) et s'il fournit un bon découpage relativement aux situations mathématiques les plus souvent rencontrées, relativement à une institution donnée.

b) *Les techniques*

Soit T un type de tâches donnée, une technique τ de la praxéologie relative à T est une manière d'accomplir, de réaliser les tâches t de T ; à cet égard, une technique peut être supérieure à une autre technique. Exemple : $v(x-a) - u(y-b) = 0$ est une technique qui permet de déterminer une équation de la droite (Δ) passant par le point A (a ; b) et dont un des vecteurs directeurs est le vecteur \vec{U} (u ; v), (x, y) étant les coordonnées d'un point quelconque de (Δ). Pour un enseignant préoccupé par le sens des objet algébrique et qui se fixe comme objectif de proposer une technique de détermination d'une équation de droite dans le plan, la technique ci-dessus mentionnée apparaît comme supérieure à celle qui

propose une équation de droite à partir des pentes : $\frac{v}{u} = \frac{y-b}{x-a}$. Dans une institution donnée, le

fait d'identifier une technique appropriée pour un type de tâches est de l'ordre de ce que Chevallard appelle un savoir-faire : il s'agit là du « bloc » T/ τ de la praxéologie. Dans le cadre

de la formation des enseignants ou de la formation de l'esprit tout court, il est bon de préciser les limites d'une technique : sa portée. Il n'est pas superflu de rappeler aux enseignants que l'étude de savoirs mathématiques, dans les classes, doit permettre d'élaborer des techniques suffisamment robustes, faciles à utiliser et avec une portée satisfaisante dans les limites des exigences de l'institution. La règle de l'Hôpital est souvent très pratique pour le calcul des limites, mais elle ne peut être utilisée aujourd'hui, au Sénégal, en classe de terminale. En mathématiques, comme en dehors des activités mathématiques, le fait de ne pas disposer de technique pour accomplir une tâche est à la source de nombreux « conflits » au niveau du système éducatif. Chevallard explique qu'en France l'absence d'une technique idoine pour accomplir certains types de tâches (par exemple, analyse critique d'un texte) est souvent mal perçue par les professeurs et se traduit en murmures protestataires « on n'a pas été formé pour ça ». Au Sénégal, malgré une volonté institutionnelle, l'enseignement de l'arithmétique fait défaut, non pas parce que les professeurs de mathématiques se sont opposés à cette initiative mais parce que, pour certains, ils n'ont pas reçu de formation dans ce sens.

c) *Les technologies*

On entend par technologie relativement à un type de tâches, ce que Chevallard note θ , un discours rationnel pour justifier, expliquer et éclairer un ensemble de techniques de ce type de tâches. Exemple : si un point M appartient à la droite (Δ) passant par le point A (a ; b) et dont un des vecteurs directeurs est le vecteur \vec{U} (u ; v), les vecteurs \vec{AM} et \vec{U} sont colinéaires, M étant un point de (Δ). Si deux vecteurs sont colinéaires, il existe une combinaison linéaire nulle de ces deux vecteurs à coefficients non nuls. Donc, il existe un réel α non nul tel que $\vec{AM} = \alpha \vec{U}$. Ce discours est une technologie pour une technique de détermination d'une équation de droite dans le plan.

En mathématiques, la fonction justificative de la technologie l'emporte, par le biais des exigences démonstratives, sur la fonction d'explication. Ces justifications doivent être adaptées à leurs conditions d'utilisation. Elles doivent aussi permettre aux enseignants de produire d'autres techniques et aux élèves, en plus du rôle justificatif, de mieux comprendre les techniques utilisées.

Il est fondamental, lorsque l'on élabore une ressource ou lorsque l'on mène une activité dans une institution donnée, de s'intéresser aux interrogations suivantes :

- étant donné un énoncé mathématique ou une pratique de classe, le problème de la justification est-il seulement posé ?
- dans quel cadre la justification proposée est-elle valable ?
- les justifications sont-elles adaptées à leurs conditions d'utilisation ? Permettent-elles en même temps d'expliquer les énoncés ou les pratiques ?
- les technologies disponibles sont-elles utilisées, exploités de façon optimale ?

Il est intéressant de signaler que, dans le cadre d'une activité de formation d'enseignants, la recherche de justification (de démonstration) qui construit des objets d'enseignement, qui produit des techniques, doit être prise en compte parmi les activités mathématiques de formation.

d) *La théorie*

Elle est à la technologie ce que cette dernière est à la technique. Elle est donc un niveau supérieur de justification-explication-production de la technologie. De fait, les énoncés

théoriques apparaissent fréquemment comme abstraits. Exemple : avec le type de tâches « déterminer une équation de la droite (Δ) passant par le point A ($a ; b$) et dont un des vecteurs directeurs est le vecteur \vec{U} ($u ; v$) » et la technique « (Δ) : $v(x-a)-u(y-b) = 0$ », on peut considérer que la technologie « si deux vecteurs sont colinéaires il existe une combinaison linéaire nulle de ces deux vecteurs » s'intègre bien dans la théorie sur les espaces vectoriels « dans un espace vectoriel de dimension finie tout vecteur s'écrit de façon unique comme combinaison linéaire des éléments d'une base donnée ». Regrouper les types de tâches mathématiques du programme, en fonction des théories qui les fondent, est loin d'être chose facile lorsqu'on mène une formation continue de professeurs de mathématiques. En effet, cette activité suppose qu'à chaque type de tâches, les techniques relatives à l'institution soient bien répertoriées et les environnements technologico-théoriques soient bien identifiés. Réciproquement, pour chaque théorie et chaque institution, il faut identifier les types de tâches qui y sont rattachés.

En général, dans une institution donnée on ne rencontre que très rarement des praxéologies ponctuelles, c'est-à-dire des praxéologies avec un seul type de tâches. Les organisations praxéologiques contiennent plusieurs types de tâches et donc plusieurs techniques. Si toutes les techniques sont rattachées à une technologie on dit que l'organisation praxéologique est locale. Une organisation est régionale si elle est construite à partir d'une théorie mathématique donnée et elle est globale si elle intègre plusieurs théories.

La (figure 8) schématise une articulation d'organisations ponctuelles pour la formation d'enseignants. Précisons qu'il est nécessaire, dans le choix des environnements technologico-théoriques, de privilégier la génération de techniques mathématiques fiables dans l'institution enseignement moyen et secondaire.

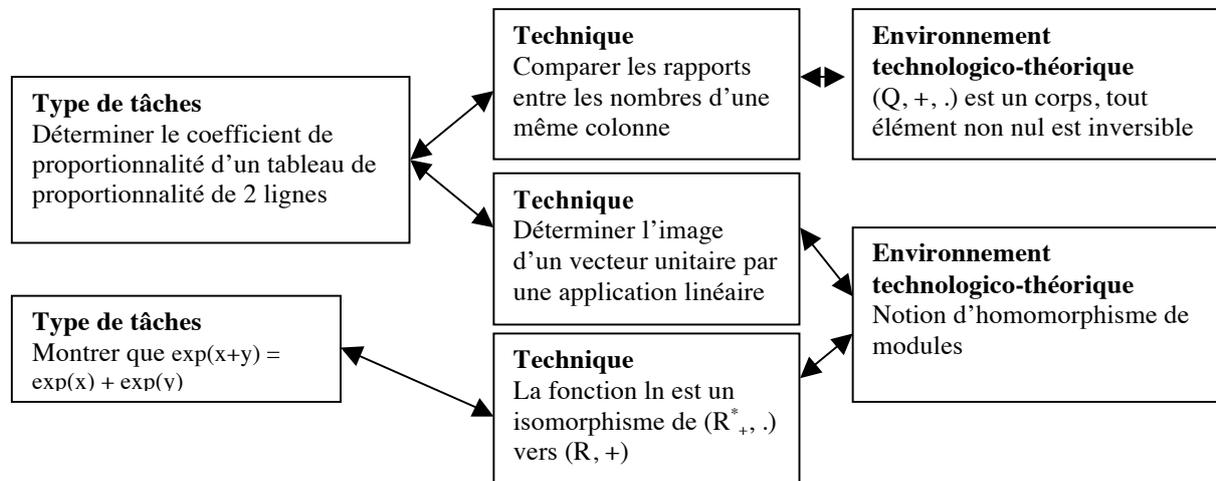


figure 8 : Articulation d'organisations ponctuelles pour la formation d'enseignants.

II-1-2 Organisation didactique

Une organisation praxéologique qui est liée à la modélisation du travail mathématique est appelée organisation mathématique ; lorsque la praxéologie est en rapport avec l'activité d'étude mathématique, elle sera appelée organisation didactique (Chevallard 1997). De plus en plus, les manuels essaient de donner des éléments sur les méthodes d'enseignement de notions mathématiques en classe. Ils ont souvent structurés avec, entre autre, l'introduction d'une notion par des travaux pratiques et un rappel historique, une partie comportant la mention « à retenir » et des exercices d'application et d'approfondissement. Cette façon de

faire est une imitation du travail du professeur dans sa classe. Comme toute imitation, elle essaye de reproduire les grandes facettes de l'original : dans le cadre de l'enseignement des mathématiques ces facettes sont appelées les moments didactiques. Comme le précise Chevallard (ibidem) :

« [...] Quel que soit le cheminement de l'étude, certains types de situations sont nécessairement présents, même s'ils le sont de manière très variables, tant au plan qualitatif qu'au plan quantitatif. On appellera donc ces moments de l'étude, ou moments didactiques, de tels types de situations, parce qu'on peut dire que, quel que soit le cheminement suivi, il arrive forcément un moment où tel geste devra être accompli ».

Les moments didactiques ne renvoient pas à une réalité chronologique. Ils sont souvent en interrelation, ce qui explique la difficulté de les dissocier lorsqu'on veut les analyser. Mais, le fait de découper l'activité d'étude mathématique en moments didactiques est un bon moyen pour faire son analyse. Etant donné un thème d'étude mathématique Θ analyser les pratiques des enseignants revient à analyser d'abord la réalité qui se construit dans la classe où Θ est étudié (l'organisation mathématique (OM_{\circ})) pour analyser, ensuite, l'organisation didactique (OD_{\circ}), c'est-à-dire la manière dont l'(OM_{\circ}) a été réalisée (moments didactiques).

a) *Le premier moment*

Le premier moment est celui de la première rencontre avec l'organisation mathématique OM_{\circ} . Cette rencontre peut avoir lieu de plusieurs manières. Pour Chevallard (1999), un mode de rencontre - ou de « rerencontre » - inévitable, sauf à rester à la surface de l'œuvre, est celui qui consiste à rencontrer l' OM_{\circ} à travers l'un au moins des types de tâches constitutifs de l'œuvre [...]. Cette première rencontre joue également un rôle important dans l'économie de l'apprentissage, parce que, étant donné l'investissement institutionnel et personnel qu'elle impose, elle oriente en général fortement le développement ultérieur des rapports institutionnels et personnel à l'objet rencontré. Il reste évident que cette première rencontre ne détermine pas entièrement le rapport à l'objet qui ne peut se construire que dans un long processus d'étude.

b) *Le deuxième moment*

Etant donné un type de tâches t_i d'un thème d'étude mathématique Θ , le deuxième moment est celui de l'exploration de t_i et de l'élaboration d'une technique relative à t_i . Il faut noter que ce moment doit être au cœur de l'activité mathématique. Les élèves, en interaction entre eux et avec un problème spécialement conçu par le professeur, doivent passer du rôle d'observateur à celui d'artisan laborieux qui élabore patiemment ses techniques mathématiques (Chevallard 1998). Ce travail sur la technique permettra à chaque « artisan » de satisfaire des commandes et d'étendre son savoir-faire sur des objets divers et plus complexes.

c) *Le troisième moment*

Le troisième moment est celui de la constitution de l'environnement technologico-théorique relatif à un thème d'étude mathématique Θ . Ce moment est, en général, en interrelation étroite avec chacun des autres moments. Ainsi, dès la première rencontre avec un type de tâches il y a, généralement, mise en relation avec un environnement technologico-théorique. Les

enseignants doivent savoir qu'il ne s'agit pas seulement de livrer des informations mais de construire des connaissances. La constitution d'un environnement technologico-théorique doit justifier mais aussi générer des techniques.

d) *Le quatrième moment*

Le quatrième moment est celui du travail de la technique. Ce moment du travail de la technique doit améliorer la technique en la rendant à la fois plus efficace et plus fiable. Ce moment de mise à l'épreuve de la technique suppose des corpus de tâches adéquates, tant sur le plan quantitatif, que qualitatif. Précisons que la quantité renvoie ici à la diversité, au nombre et que la qualité du corpus, elle, renvoie à sa représentativité par rapport à des corpus de tâches assez larges. On peut penser, par exemple, que le fait de déterminer le coefficient de proportionnalité pour dix tableaux du même type n'est pas la meilleure façon de travailler la technique de détermination du coefficient de proportionnalité.

e) *Le cinquième moment*

Le cinquième moment est celui de l'institutionnalisation. Il a pour objet de préciser ce qui est, pour le professeur, l'objet de son enseignement en le distinguant de tous les autres éléments qui ont concouru à la construction de l'organisation mathématique. Ce moment est le moment d'officialisation, le moment qui engage l'avenir mathématique. Ce moment de l'institutionnalisation est celui où, dans sa construction « brute » qui, peu à peu, a émergé de l'étude, vont être séparés, par un mouvement qui engage l'avenir, le « mathématiquement nécessaire » qui sera conservé et le « mathématiquement contingent » qui, bientôt, sera oublié (Chevallard 1999). Dans une perspective de formation continue à distance de professeurs de mathématiques, ce moment est particulièrement délicat. Le contenu à institutionnaliser doit être soigneusement contrôlé par le concepteur, pour éviter que des enseignants reprennent des erreurs contenues dans une ressource. L'enseignant qui utilise une ressource doit également comprendre que tout se joue au cours de la séance. Il doit aussi savoir que l'apprentissage d'un discours pré-programmé n'est pas toujours productif et que le contenu à institutionnaliser est le fruit d'une construction faite dans la classe qui, dans bien des cas, l'oblige à improviser.

f) *Le sixième moment*

Le sixième moment est celui de l'évaluation. C'est le moment où l'on fait le point : le moment où l'on interroge sa propre pratique. C'est le moment où l'on examine ce que vaut ce qui a été appris : le moment d'évaluation. Mais, l'opération d'évaluation doit être entendue aussi en un sens plus large : au-delà de l'interrogation sur la maîtrise d'une technique, par exemple, on doit s'interroger également sur la technique elle-même. Pour Sokhna (2002), le modèle de ressource du SFoDEM structuré avec, entre autre, une fiche de compte-rendu d'expérimentation facilite l'organisation de ce moment. Cette fiche permet à l'enseignant, avec un léger différé, de s'interroger sur sa pratique, sur le travail de ses élèves et sur les objets mathématiques construits.

II-1-3 Le topos

Lorsqu'un type de tâches mathématique est proposé par le professeur et que l'environnement technologico-théorique est constitué par la classe (les élèves de façon coopérative sous l'impulsion du professeur), chaque élève peut se dire qu'il a joué son rôle, chacun occupe une place dans ce travail : ce lieu-là est son topos. Selon Chevallard (1999) :

« L'une des difficultés didactiques les plus ordinaires et la plus pressante pour un professeur est celle qu'il rencontre pour « donner une place aux élèves », c'est-à-dire pour créer, à leur intention, et à propos de chacun des thèmes étudiés, un topos approprié, qui donne à l'élève le sentiment d'avoir un « vrai rôle à jouer ». Lorsque le professeur s'engage dans une tâche où il opère en autonomie relative, cette tâche apparaît généralement comme une sous-tâche au sein d'une tâche plus vaste, où il coopère avec l'élève [...] derrière l'activité du professeur, on doit sans cesse apercevoir l'activité de l'élève ».

Conclusion

L'approche anthropologique du didactique est apparue comme l'une des pièces maîtresse de cette recherche. Elle a permis de concevoir et d'organiser les outils d'analyse de la méthodologie (paragraphe §III). Elle nous a aussi offert des pistes de réflexion sur la conception du modèle de ressources pédagogiques. Enfin, elle nous a facilité l'articulation des outils théoriques développés dans ce chapitre §II et l'organisation des activités des enseignants expérimentateurs. La notion de topos par exemple est au creuset des outils travaillés dans la modélisation de pratiques enseignantes (§II-3-3) et sur le travail collaboratif (§II-3-2).

II-2 SAVOIR ET COMMUNICATION

L'utilisation de ressources pédagogiques pour la formation des enseignants demande une bonne connaissance en terme de *transposition* des savoirs mathématiques et didactiques. Une étude de ce type de formation ne peut se faire qu'à partir d'une prise en charge réelle de l'impact des médias sur le savoir qu'ils sont censés embarquer. Une difficulté supplémentaire qu'il faut nécessairement surmonter est la *reproductibilité* (Artigue 1990) des organisations didactiques.

L'étude de ces points se fait à partir de deux supports théoriques :

- le premier est relatif à la *transposition didactique*. En effet, la formation que nous mettons en œuvre et les savoirs à étudier mettent en rapport plusieurs institutions. La classe est l'institution principale parce que les ressources pédagogiques élaborées sont des ressources qui doivent prendre en charge les conditions effectives de leur mise en œuvre en classe. Ensuite, viennent toutes les institutions qui participent à la formation des enseignants (au Sénégal c'est la FASTEFC, la Structure de Formation Continue et l'IREMPT). Les savoirs qu'il faut transposer sont des savoirs mathématiques et des savoirs de didactique des mathématiques ;
- le second est une étude du rapport entre savoir et distance. Les livres, la radio, la télévision et, aujourd'hui, Internet sont autant de supports qui servent à véhiculer des savoirs d'une institution à une autre. Incontestablement, le livre était, jusque l'apparition de l'Internet, le médium le plus utilisé pour « transporter » un savoir. La radio et la télévision lorsqu'elles sont utilisées pour l'enseignement, pour dépasser le stade d'information, sont accompagnées d'un support papier. Peut-on penser que l'outil informatique permet, en plus de ses capacités à livrer des informations, de faciliter la construction de savoir ? L'outil ne modifie-t-il pas le savoir à acquérir ? Dans quelles conditions facilite-il la construction du sens ? Dans une perspective d'une formation à distance à travers une plate forme dédiée, les réponses aux questions ci-dessus posées, peuvent donner des indications sur le rapport entre information et savoir.

II-2-1 Transposition didactique

Chevallard a montré, depuis 1980, que les objets à enseigner ne pouvaient pas s'analyser comme des simplifications d'objets plus complexes issus de la société savante. Ils sont le résultat d'une construction (*la transposition didactique*) qui, souvent, les en fait différer qualitativement. Elle est, en général, décrite sous la forme d'un processus :

—————► Objet de savoir —————► Objet à enseigner —————► Objet d'enseignement.

Deux points essentiels sont à souligner : la légitimation d'un contenu d'enseignement et l'écart du savoir enseigné par rapport au savoir de référence qui le légitime. Lorsqu'une formation fait appel à plusieurs institutions, cette transposition est encore plus complexe. Elle est d'autant plus complexe que la formation doit aider les enseignants, à partir des ressources de leur formation, à organiser les différentes étapes de ces transpositions. Nous savons que des difficultés surgiront au niveau de la reproduction de certaines situations d'enseignement.

Pour prendre en charge toutes ces difficultés, liées à la transposition, nous proposons un autre regard sur les savoirs à transposer et les institutions qui ont en charge cette transposition. Nous estimons, ainsi, que les savoirs mathématiques ne doivent pas être enseignés dans les institutions de formation d'enseignants indépendamment de leurs histoires (leur chronogenèse) et de leur environnement didactique (les types de représentation possibles, la

place des outils utilisés, les conceptions éventuelles des élèves, etc.). L'enseignement de ces savoirs mathématiques doit, aussi, tenir compte de leur distance aux savoirs de référence et du public cible. Une proximité à un savoir légitimé par une société savante est, certes, nécessaire mais les objets de savoirs à enseigner doivent, surtout, aider les futurs enseignants à disposer de techniques leur permettant de gérer les organisations mathématiques (OM) et les organisations didactiques (OD). En conséquence, nous décrivons cette transposition sous la forme de la (figure 9).

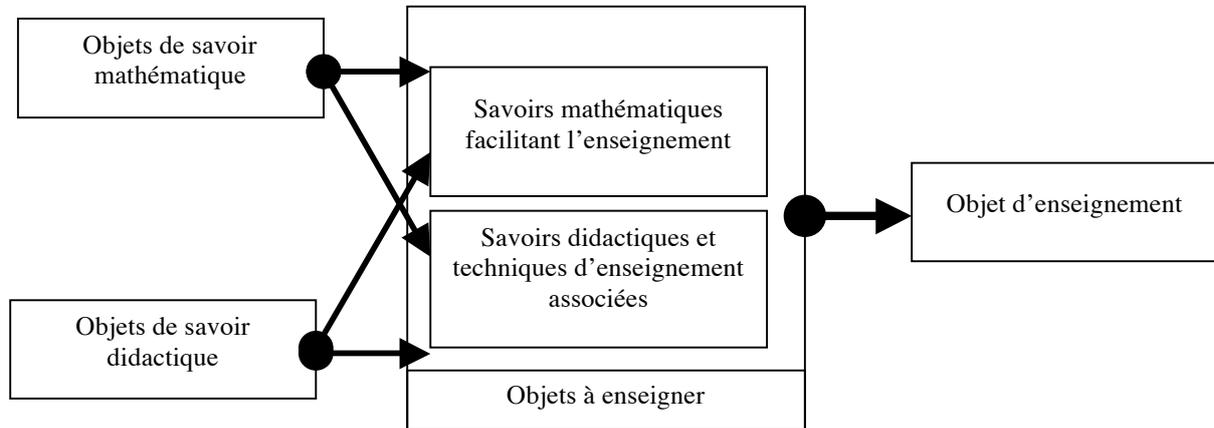


figure 9 : *Transposition de savoir pour la formation d'enseignants.*

a) *Objet de savoir mathématique*

Les objets de savoirs mathématiques peuvent être distingués de deux façons :

- ceux qui sont décrits dans les institutions universitaires et qui se trouvent être des solutions, plus ou moins immédiates, à des besoins sociaux. Dans ce cas précis, les savoirs mathématiques doivent être perçus dans un sens plus large afin de prendre en compte les influences réciproques entre les mathématiques et les autres disciplines scientifiques (informatique, physique, biologie, etc.). Au Sénégal, comme dans plusieurs pays en voie de développement, avec l'augmentation des filières techniques et commerciales, l'enseignement de la mécanique, de l'optimisation et de la modélisation, doit être pris en charge par les institutions d'enseignement pour faciliter à l'enseignant une prise en compte réelle de ces besoins sociaux ;
- ceux qui sont produits dans les institutions universitaires et dont le seul objectif est le développement des mathématiques elles-mêmes. Selon le rapport de la CREM (2003), le siècle dernier a révélé une production quantitative et qualitative d'objets mathématiques qui ne manqueront pas d'influencer l'enseignement des mathématiques dans le secondaire. Il serait dangereux pour des raisons d'économies qu'aucune étude ne soit faite sur ces objets de savoir pour les enseigner aux futurs enseignants. Une telle étude sera d'autant plus délicate qu'elle constitue un legs de l'humanité pour les générations à venir.

C'est fort de cela que l'enseignement des mathématiques est soumis à de profonds changements pouvant se traduire par l'irruption de nouveaux champs d'enseignement, pas ou peu représentés jusque-là dans l'enseignement secondaire, ou par de nouvelles lectures de domaines classiques. Un exemple de tel changement de point de vue est la forme de révolution apportée dans les mathématiques par le développement de l'informatique et des moyens de calcul. Contrairement à ce qui était encore le cas, il y a quelques décennies, on n' imagine plus, aujourd'hui, enseigner un théorème d'existence sans l'accompagner quand

c'est possible d'un algorithme permettant de le mettre en pratique. Un autre exemple est la percée de la culture de l'aléatoire dans l'enseignement qui nécessite un état d'esprit et une pensée spécifiques. Cela implique que tous les futurs enseignants doivent suivre, dans leurs cursus universitaires et, assez tôt, des enseignements de probabilités et statistiques. Un dernier exemple d'irruption de domaine nouveau dans l'enseignement est celui des mathématiques discrètes. Ainsi, les nouveaux programmes de terminale ES font appel à quelques éléments de théorie des graphes. Bien entendu, la formation des maîtres devra donner le recul nécessaire aux futurs enseignants sur ce sujet (CREM 2003).

b) Objet de savoir didactique

Nous pensons que, lorsqu'on travaille sur la formation des enseignants, les résultats des recherches en didactique des mathématiques doivent faire nécessairement partie des objets de savoir à enseigner. Cependant, il y a lieu de nous interroger comme Salin (1999, p. 335) :

« sur la transposition des contenus de didactique du champ de la recherche à celui de la formation et sur leur intégration aux « savoirs d'expérience » mis en œuvre dans une situation d'enseignement ».

A cette interrogation s'ajoute celle relative à la transposition des autres sciences, notamment l'histoire des mathématiques, et ses rapports avec les sciences expérimentales. Quelques éléments de réponse à de telles interrogations peuvent se dégager à travers des recherches sur les conditions d'apprentissage et d'enseignement de savoirs mathématiques. Il y a là, une nécessité, pour les didacticiens, de concevoir des objets écologiquement viables au collège et au lycée et cela indépendamment de l'environnement (effectif, élèves en difficulté, etc.). Il ne s'agit pas, non plus, de créer des organismes résistants et peut-être nuisibles à l'environnement scolaire comme l'ont été ce que nous appelons les OGM avant l'heure (les Ordonnements Généraux des Mathématiques) : les mathématiques modernes. En effet, ces mathématiques modernes, à partir de quelques fondements axiomatiques, ont cru pouvoir donner un ordonnancement général des mathématiques et donc de leur enseignement. L'histoire récente de l'enseignement des mathématiques a montré les limites d'une telle entreprise. Il s'agit pour nous de s'interroger avec les futurs enseignants sur des organisations mathématiques globales, de concevoir des organisations didactiques, fussent-elles fictives, et d'étudier les conditions de reproductions de ces organisations didactiques.

c) Objet à enseigner

Aujourd'hui, qui peut penser que les objets à enseigner, pour les futurs professeurs de mathématiques, peuvent se résumer à une juxtaposition de connaissances éparses de mathématiques, de psychologie, de pédagogie, etc.? Grâce à la didactique, un travail important de conception d'activité de construction d'objets de savoirs mathématiques à enseigner est entamé en rapport avec toute l'organisation qui doit faciliter le travail futur de l'enseignant dans sa classe. Réciproquement, l'apprentissage de la pratique de classe se fait désormais en rapport avec la construction de savoir mathématique. En conséquence, les objets à enseigner aux futurs enseignants ne peuvent ne pas prendre en compte :

- les savoirs mathématiques facilitant l'enseignement

D'après la CREM (2003) :

« La nécessité pour un professeur de dominer sa discipline est l'une des idées les plus banales qui soient. Bien sûr, cette capacité a déjà pour but de lui

permettre d'avoir un recul suffisant par rapport aux contenus des programmes et de s'adapter aux évolutions [...]. Mais cette condition nécessaire n'est pas suffisante, car les futurs professeurs doivent avoir aussi la capacité de **transposer** leurs connaissances et de les adapter à leurs élèves pour produire les justifications auxquelles nous faisons allusion ci-dessus ».

Pour effectuer cette transposition, les instituts de formation d'enseignants doivent travailler sur des objets de savoirs mathématiques qui facilitent le travail du futur enseignant. Ces types de savoirs mathématiques ne doivent pas être perçus comme une reprise d'un cours de mathématiques de l'université. Ils doivent être, un outil de génération de techniques mathématiques permettant aux enseignants de mieux prendre en charge les difficultés des élèves. Par exemple, l'ensemble A des suites de Cauchy de nombres rationnels muni de l'addition et de la multiplication définies comme suit : $(x_n) + (y_n) = (x_n + y_n)$, $(x_n) \times (y_n) = (x_n y_n)$ est un anneau commutatif et unitaire. L'ensemble A_0 des suites de nombres rationnels convergeant vers 0 est un idéal maximal de A . L'anneau quotient A/A_0 est un corps commutatif. L'anneau quotient A/A_0 est un corps appelé corps des nombres réels. Cette construction du corps des réels est très belle, mais elle n'offre pas de technique aux enseignants de collège pour travailler sur les nombres réels. En effet, il faut comprendre que l'enseignant doit disposer de moyen lui permettant de contrôler le travail de l'élève. Il a donc besoin de savoirs théoriques qui génèrent des techniques et, donc, des outils qu'il peut adapter à sa classe. Comme l'a précisé Bloch (1999) :

« L'enseignant transporte dans le milieu de la situation (de l'élève) une partie de ses connaissances afin que l'élève puisse les rencontrer et les utiliser pour contrôler son action dans la situation ; en même temps, l'enseignant emploie lui ses connaissances (différentes de celles de l'enseigné) pour contrôler que l'élève utilise bien les connaissances adéquates au contrôle de l'action dans le milieu a-didactique aménagé grâce au savoir de l'enseignant ».

Cet enseignant-là, non seulement, a besoin d'outils théoriques, mais il a également besoin de techniques lui permettant d'organiser un débat dans sa classe. Il doit être capable de générer des techniques, de contrôler leur domaine de validité, de proposer des contre-exemples en cas de besoin.

- **les savoirs didactiques sur des techniques d'enseignement**

Selon Brousseau (2000) :

« Le professeur s'attend à ce que la didactique lui fournisse au moins l'essentiel des techniques spécifiques des notions à enseigner, compatibles avec ses conceptions éducatives et pédagogiques générales :

- des techniques « locales » : des préparations de leçons, des problèmes et des exercices, du matériel d'enseignement, des manuels, des logiciels, des instruments de gestion tels qu'objectifs et moyens d'évaluation (communes à tous les élèves ou électives, c'est-à-dire réservées à des élèves présentant des difficultés particulières) ;
- des techniques plus « globales » : des curriculums pour tout un secteur des mathématiques, des méthodes clés en main, des programmes sur plusieurs années ».

Dans un cadre de formation de professeurs de mathématiques, la prise en charge de ces différentes techniques doit être mise au premier rang. Des références précises pour résoudre des problèmes spécifiques, pour compléter les outils de gestion de classe (le travail en groupe, le fait de mettre les élèves en activité dans un dispositif d'apprentissage, la gestion du matériel didactique, etc.) sont également des techniques que les enseignants peuvent attendre de la didactique. Notons, en ce qui concerne les savoirs didactiques permettant de disposer de techniques d'enseignement, ce que dit Chevallard (1999) :

« Le modèle des moments de l'étude a, pour le professeur, deux grands types d'emplois. Tout d'abord, il constitue une grille pour l'analyse des processus didactiques. Ensuite, il permet de poser clairement le problème de la *réalisation* des différents moments de l'étude. Comment, par exemple, réaliser concrètement la première rencontre avec telle organisation mathématique ? Avec tel type de tâches ? Comment conduire l'étude exploratoire d'un type de tâches donné ? Comment mener à bien l'institutionnalisation ? Comment réaliser le moment de l'évaluation ? Autant de questions qui se posent au professeur et auxquelles on répondra provisoirement par une formule générique : *en créant des situations didactiques adéquates*. Cette exigence, que l'on ne fera ici que repérer, est en fait d'autant plus complexe que le professeur est tout à la fois le *metteur en scène* et l'*acteur* de situations didactiques dont, le plus souvent il est en outre le *concepteur* ».

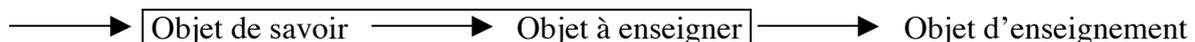
Ce modèle des moments, largement explicité dans (§II-1-2), constitue donc un ensemble de techniques pour l'enseignant. Mais, tout laisse penser que les enseignants et leurs formateurs ont eux, **naturellement**, des techniques locales et globales pour accomplir leur formation. Il est timide l'intégration des outils issus de la recherche en didactique des mathématiques dans les dispositifs mis en place par les formateurs pour la formation des enseignants. Cela peut s'expliquer par le fait que, pour Brousseau (2000) :

« Le volume et la complexité des résultats de recherches parcellaires, dispersées dans de nombreux champs disciplinaires disparates et concurrents, se sont accrus beaucoup plus vite que la durée de formation [...]. Pour comprendre et utiliser l'un de ces résultats dans une classe, il faut apporter des connaissances préalables sur tous les autres sujets, dont seuls certains enseignants en service disposent. Il faut admettre et respecter l'existence nécessaire d'une « didactique de débutant », garante d'un comportement professionnel minimal, qui puisse cohabiter dans la formation avec une formation théorique qui prépare un usage plus raffiné de savoirs de didactique plus avancés ».

En raison de l'importance de l'articulation entre connaissance et situation d'enseignement, l'explicitation de gestes d'enseignement, relatifs à certaines situations d'enseignement, peuvent être des techniques locales d'enseignement intéressant des formateurs.

d) **Objet d'enseignement**

Dans le cadre de la formation au métier d'enseignement, l'objet d'enseignement des professeurs de mathématiques ne doit pas s'éloigner de l'objet de savoir à l'objet à enseigner en classe, ce qui correspond à la partie du schéma ci-après :



Cette étape de la transposition constitue la première tâche de l'enseignant aux prises avec l'organisation de son enseignement « la préparation d'un cours ». La seconde tâche, inextricablement liée à la première, consiste à se projeter dans l'organisation effective d'une séance et à essayer de se poser les bonnes questions en rapport avec son enseignement. Pour certains enseignants, le manuel ou les ressources pédagogiques, sont des cours finis qu'ils peuvent utiliser tels quels pour faire leur enseignement. Le travail de l'enseignant formateur, pour éviter ce type de comportement, peut être une étude critique des textes proposés par des manuels. Ce travail de transposition est très complexe car il doit permettre à l'enseignant stagiaire de s'appropriier les concepts à enseigner mais, aussi, lui fournir les outils didactiques lui permettant de les mettre en œuvre. Cela suppose que l'enseignant stagiaire soit préparé à faire un travail d'anticipation sur ce que seront les objets d'enseignement et leur adéquation par rapport à une organisation didactique fictive contenue dans un manuel. Cette partie sera reprise dans le chapitre (§ II-3-1) sur l'étude du milieu aux niveaux surdidactiques.

II-2-2 Savoir et formation à distance

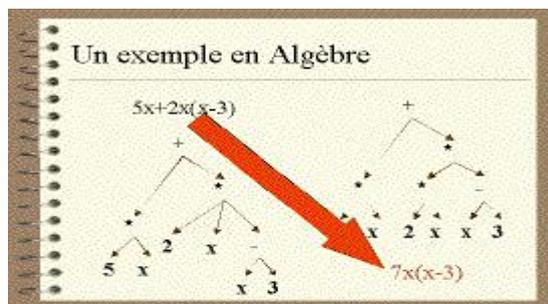
Les relations entre savoir et formation à distance peuvent être interrogées de deux façons :

a) *La représentation du savoir par l'outil dans lequel il est embarqué*

Comment l'outil utilisé transporte-t-il le savoir, l'a-t-il altéré, modifié ou même transformé et dévié de son sens originel ? Quelles sont les contraintes liées à l'outil qui ont créé un tel état de fait ? Pour beaucoup de recherches, ce problème de représentation se pose en termes de fidélité. Balacheff (1994) estime que le problème se pose d'abord dans un cadre plus global, avec la représentation symbolique des objets et la mise en œuvre de cette représentation par un dispositif informatique. Pour Balacheff (1998) :

« Ce processus de transformation, ce passage d'un système de représentation externe, qui est celui que nous partageons classiquement en tant que mathématiciens, à un système de représentation interne au dispositif informatique, ainsi que le processus qui le sous-tend est ce que j'appelle la transposition informatique ».

Le problème se complexifie lors des apprentissages avec la contextualisation des connaissances ainsi embarquées dans l'outil. Balacheff (1994) estime que cela a, incontestablement, des répercussions importantes sur les résultats attendus au niveau des apprentissages. L'exemple, ci-dessous, que donne (Balacheff (1998) est une illustration de la non neutralité des outils d'enseignement :



Voici une expression algébrique : $5x+2x(x-3)$, pas de difficulté nous semble-t-il. Cette expression est écrite de gauche à droite, on lit successivement : $5... x... +... 2... x...$ puis une parenthèse ouvrante qui marque la place de ce qui suit dans le déroulement des opérations. Mais nous pourrions substituer à cette structure de file une autre structure, une structure d'arbre, certes plus encombrante, mais qui donnerait à voir cette fois-ci la structure syntaxique de cette expression algébrique.

Lorsqu'on crée un EIAH pour l'algèbre il faut faire de tels choix de structure des écritures : va-t-on utiliser une

structure de file ou une structure arborescente ? La structure de file a été le choix de Sleeman pour développer un environnement d'apprentissage de l'algèbre. La structure arborescente a été le choix de Nicaud pour développer un autre environnement d'apprentissage de l'algèbre. **Cette différence de choix va-t-elle déterminer une différence significative des EIAH en question ? C'est effectivement le cas.** Par exemple, notre qualité d'expert nous permet de voir « directement » que x est factorisable à la lecture de cette écriture en ligne, mais ce qu'on ne peut pas faire c'est la transformation suivante : passer de $5x+2x(x-3)$ à $7x(x-3)$. Ce type d'erreur est fréquent dans l'environnement papier/crayon, il peut aussi apparaître à l'interface d'un EIAH qui permet la manipulation d'une structure de file (au prix de la violation des règles de bonne ré-écriture). En revanche, dans un environnement dans lequel la structure des données est une structure arborescente, comme celui que propose Nicaud, cette transformation n'est pas possible. Notons que si l'élève ne produit jamais ce type d'erreur avec cet environnement, c'est parce que la structure des données ne le permet pas. **Cette différence entre les deux EIAH pris en exemple, PIXIE de Sleeman et APLUSIX de Nicaud, correspond en fait à des objectifs différents. Dans le cas de Sleeman, l'objectif est de permettre l'acquisition des connaissances de l'élève par la machine, quelles qu'elles soient. Il cherche à identifier les « misconceptions » en repérant les « malrules » -- en particulier celles qui permettent de passer de l'écriture $5x+2x(x-3)$ à $7x(x-3)$ --. Il veut donc que ces transformations d'écriture puissent être exprimées. Nicaud, quant à lui, pose le principe que son utilisateur n'a plus de problème de manipulation des expressions élémentaires et que donc son environnement -- dédié tout entier à la factorisation des expressions algébriques -- peut tout à fait ne recourir qu'à des structures arborescentes pour représenter ces expressions.**

(Nos soulignements)

Perriault (1996, p. 242) estime que les contraintes sur les outils informatiques et leur influence sur l'apprenant sont telles que celui-ci développe un type de savoir lié au fonctionnement de l'outil. Il explique que :

« Le savoir embarqué dans les machines se transforme et revêt de plus en plus un caractère procédural, car les machines, qui fonctionnent ainsi, déteignent progressivement sur celui-ci ».

b) Les représentations que l'apprenant se fait du savoir en jeu

Comment sont perçus les outils informatiques et les objets de savoir qu'ils sont censés embarquer ? Selon Papert (2003) :

« A l'école, il y a toujours eu ces deux aspects. L'aspect informationnel, parce qu'une partie de l'éducation consiste à livrer de l'information [...]. Mais il y a l'autre aspect de l'éducation, qui est l'aspect actif, créatif, où l'enfant construit un objet d'art, technique, où il construit quelque chose [...]. Généralement les critiques ont ceci de commun qu'elles veulent que l'on se place plus du côté « constructionnel », parce que l'école axe trop sur l'aspect informationnel [...] l'ordinateur donne une grande opportunité [...] rétablir les équilibres, donner la possibilité d'augmenter le côté « constructionnel » de l'éducation ».

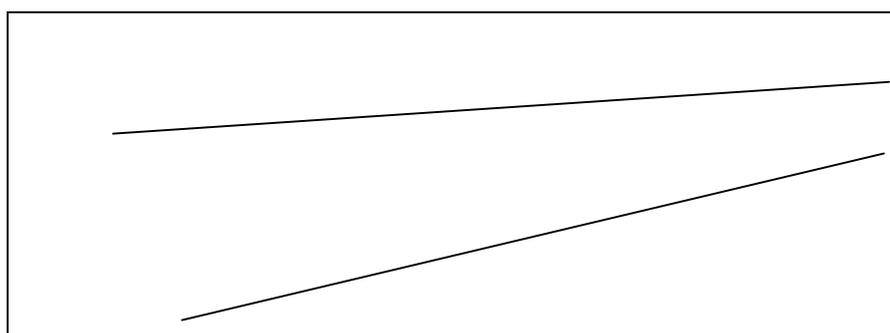
Il constate, en outre, que :

« Malheureusement, dans l'esprit populaire, ce que l'on voit plus facilement de l'éducation c'est l'aspect informationnel, ce que l'on voit plus facilement de l'ordinateur aussi c'est l'aspect informationnel, et ces côtés se renforcent mutuellement ».

A l'école, étant donné que l'emploi de l'ordinateur qui domine est celui relatif à la recherche d'information, les répercussions au niveau des apprentissages sont fortes : en effet, les processus d'acquisition d'informations deviennent triviaux et superficiels. Cependant, constate Papert (ibidem), lorsque l'ordinateur est bien employé, les résultats sont intéressants. Au Sénégal, il faut noter que l'outil informatique n'est pas toujours, ni partout, disponible pour assurer une formation. Il faut, également, noter que, même si le problème de disponibilité ne se posait pas, le risque est grand de voir les apprenants substituer l'outil d'apprentissage à un objet d'apprentissage. En effet, pour Perriault (1996), les médias informent souvent plus sur eux-mêmes que sur les contenus qu'ils sont censés transporter. Il met en garde les chercheurs sur la non-prise en compte des modes d'accès aux connaissances : motivation, recherche d'information, exploitation, transfert, sont très mal connus lorsqu'il s'agit d'adulte ayant des comportements autonomes. Les éléments théoriques que nous aborderons dans le paragraphe (§II-2-3) ci-dessous répondront à quelques-unes de ces préoccupations.

II-2-3 Représentations sémiotiques

Selon Duval (1993), les *représentations sémiotiques* sont des productions constituées par l'emploi des signes appartenant à un système de représentation. Elles constituent un moyen d'extériorisation des représentations mentales pour des fins de communication. Elles permettent, par conséquent, de rendre les représentations mentales visibles ou accessibles à autrui. Elles remplissent donc une fonction de communication. Elles remplissent, aussi, une fonction de conceptualisation essentielle. Pour Duval (ibidem), les représentations internes sont des représentations sémiotiques intériorisées. Il explique que l'enseignant de mathématiques est confronté à un paradoxe cognitif : d'une part, l'appréhension des objets mathématiques ne peut être qu'une appréhension conceptuelle et, d'autre part, c'est seulement par le moyen de représentations sémiotiques qu'une activité sur les objets mathématiques est possible. Le problème qui se pose alors est : comment le sujet en phase d'apprentissage pourrait-il ne pas confondre les objets mathématiques et leurs représentations ? Si les traits ci-dessous représentent des droites pourquoi, doit-on dire qu'elles se rencontrent ?



L'importance des tâches de l'enseignant en mathématiques est d'assister les élèves pour que ceux-ci aient la meilleure représentation mentale possible des concepts étudiés. Mais, cette tâche ne peut se faire sans une utilisation coordonnée de plusieurs représentations sémiotiques pour que l'objet mathématique puisse émerger de ces diverses représentations.

a) *Quels sont les rôles des représentations sémiotiques ?*

Les représentations sémiotiques jouent un rôle de développement des représentations mentales. Elles permettent de développer l'activité mathématique, du côté de l'architecture

cognitive requise, pour accéder à la variété des objets et des démarches mathématiques. L'objet mathématique est alors mieux compris et l'apprenant est capable de l'utiliser dans des domaines différents. Mais, au niveau de l'apprentissage des mathématiques, les représentations mentales remplissent, également, d'autres fonctions cognitives :

- elles permettent d'accomplir la fonction d'*objectivation* qui, elle-même, aide à la structuration de la communication. Nicolas Boileau-Despréaux dans *Art poétique* (1674) ne disait-il pas « Ce que l'on conçoit bien s'énonce clairement, Et les mots pour le dire arrivent aisément. ». Justement, il faut comprendre que le fait de chercher des mots justes, pour exprimer une idée ou un concept, peut aider l'apprenant à la conceptualisation ;
- elles aident à mieux effectuer des opérations dans un registre donné ;
- elles jouent le rôle de productrices de connaissance. En effet, c'est grâce à la présence de plusieurs représentations qu'une personne peut expliquer, de différentes façons, un même concept.

b) Les activités cognitives constitutives d'un système de représentation

Trois activités cognitives sont, essentiellement, constitutives de l'utilisation d'un système de représentation : le traitement, la conversion et la coordination.

- *Le traitement* d'une représentation est la transformation d'une représentation dans le registre même où elle a été formée.

Exemples :

- la paraphrase et l'inférence sont des formes de traitement en langue naturelle ;
- le calcul est une forme de traitement en écritures symboliques (calcul numérique, calcul algébrique) :

$$(x + 3)^2 + 11 = x^2 + 6x + 20 ; 5 + 4 = 9 ; 0 = \ln(1) ; 8i = (i + \sqrt{3})^3 ; \sqrt{25} = \frac{15}{3} ;$$

$$-12700 \times 10^{-5} = -12,7 \times 10^{-2} ; (f + g)' = f' + g' ; 3x + 7y - 1 = 0 \Leftrightarrow y = \frac{-3}{7}x + \frac{1}{7}.$$

- *La conversion* d'une représentation est la transformation, de cette représentation, en une représentation d'un autre registre.

Exemples :

- l'illustration est la conversion d'une représentation linguistique en une représentation figurale ;
- la traduction est la conversion d'une représentation linguistique en une autre représentation linguistique ;
- la description est la conversion d'une représentation non verbale (schéma, figure, graphe) en une représentation linguistique.

Précisons que la conversion est une activité cognitive différente de celle du traitement. Selon Duval (1993), on oublie souvent que l'écriture décimale, l'écriture fractionnaire et l'écriture avec exposant constituent trois registres différents de représentation des nombres. Ainsi, des élèves, par exemple, peuvent très bien effectuer l'addition de deux nombres avec leur écriture décimale ($0,25 + 0,50 = 0,75$) et échouer en écriture fractionnaire ($\frac{1}{4} + \frac{1}{2} = \frac{3}{4}$). Ou bien des élèves peuvent effectuer l'addition de deux nombres en l'écriture fractionnaire ($\frac{1}{4} + \frac{1}{2} = \frac{3}{4}$) et échouer en écriture avec exposant ($25 \times 10^{-2} + 5 \times 10^{-1} = 75 \times 10^{-2}$).

Selon Duval (1993), la mise en correspondance de deux représentations, appartenant à des registres différents, peut être établie localement par une correspondance associative des unités signifiantes élémentaires constitutives de chacun des deux registres. Par exemple, si l'on considère l'expression suivante : « l'ensemble des points dont **l'ordonnée** est supérieure à **l'abscisse** » et sa conversion en écriture algébrique : $y > x$, on voit qu'une correspondance terme à terme entre les unités signifiantes respectives est suffisante pour effectuer la conversion. Dans ce cas, la conversion inverse permet de retrouver l'expression initiale, du registre de départ. On parle, alors, de *congruence* des représentations.

L'écart à franchir pour effectuer la conversion devient plus grand avec l'expression suivante : « l'ensemble des points dont l'abscisse et l'ordonnée sont de même signe » et l'expression algébrique correspondante : « $xy > 0$ ». Ici, il n'y a plus de correspondance terme à terme entre les unités signifiantes respectives des deux expressions. Il n'y a pas, dans ce cas, congruence des représentations, une réorganisation de l'expression donnée du registre de départ est nécessaire pour obtenir l'expression correspondante dans le registre d'arrivée ;

- *La coordination* des registres correspond à la nécessité de faire appel à une diversité de registres dans le fonctionnement de la pensée humaine. En mathématiques, la coordination des registres est le point focal autour duquel va se développer la démonstration. En effet, l'activité de démonstration en mathématiques nécessite, dans bien des cas, le passage d'un système de représentation à un autre ou la mobilisation simultanée de plusieurs systèmes de représentation au cours d'une même démarche. Or, ceux-ci n'ont rien d'évident et de spontané pour un apprenant.

Sur la (figure 10), les flèches 1 et 2 correspondent à la distinction classique entre représentant et représenté. La flèche 3 correspond à ce que Duval appelle *compréhension intégrative d'une représentation* : elle suppose une coordination des registres. Cette coordination des registres est loin d'être naturelle. La plupart des élèves ne reconnaissent pas le même objet à travers les représentations qui en sont données dans des systèmes sémiotiques différents, l'objet est resté cloisonné dans un même registre de représentation. Cela ne permet pas une mobilisation des connaissances dans toutes les situations où elles peuvent être utiles. Ce cloisonnement des registres ne permet pas aux élèves de contrôler le sens de leurs actions. Il peut, même, entraîner une difficulté de transfert et d'apprentissage futur. Des étudiants de premier cycle de l'université continuent de penser que la relation algébrique $y = ax + b$ est une équation de droite dans l'espace.

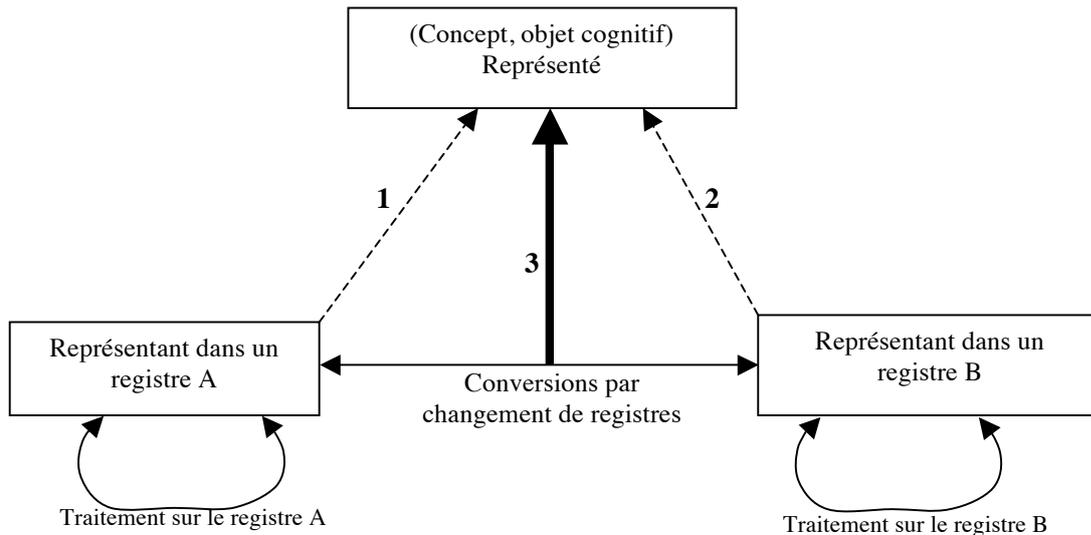


figure 10 : Structure de la représentation en fonction de la conceptualisation (Duval 1993).

Conclusion

Dans une perspective de formation d'enseignants avec des ressources pédagogiques, les problèmes liés à la transposition des objets de savoir mathématiques sont complexes : ils apparaissent d'abord sous forme de difficultés à coordonner les transformations successives de savoir par les différentes institutions (les laboratoires, les instituts de formations d'enseignants et les classes où des enseignants manifestent leurs expertises). Ils apparaissent aussi au niveau de la *traçabilité* des objets de savoirs mathématiques lors de leur usage dans les différentes institutions et à travers différents supports. Ces problèmes doivent obliger le tuteur formateur à être très vigilant par rapport aux retours d'expérience et des difficultés rencontrées par les enseignants formés au cours de leur enseignement. Cette vigilance ne doit pas s'arrêter pas à l'étude des conditions d'acquisitions des savoirs mathématiques (travail sur les registres de représentation) et à l'analyse des pratiques de l'enseignant. Elle doit prendre en compte l'étude des dispositifs qui devraient faciliter l'organisation de travail collaboratif et les conditions d'émergence de communauté d'apprentissage. Or, une part importante d'une telle étude passe par l'organisation des situations d'enseignement. D'où le développement important fait dans le paragraphe §II-3 ci-dessous sur la théorie des situations didactiques et les dispositifs de formation.

II-3 THEORIE DES SITUATION DIDACTIQUES ET DISPOSITIF DE FORMATION

Cette partie présente, pour nous, un intérêt majeur :

- d'une part, elle permet de faire le lien entre l'organisation du travail de classe, par le professeur, et l'activité réelle de l'élève en offrant une caractérisation des rapports entre élèves, professeur et *milieu*. Nous y avons défini les notions de milieu et de situation ;
- d'autre part, elle présente des modes d'organisation et de travail qui sont, de plus en plus, considérés comme pertinentes pour prendre en charge les apprentissages des adultes en formation continue, comme des élèves en situation scolaire. Il s'agit du *travail collaboratif* et des conditions d'émergence d'une *communauté de pratique* ;
- enfin, les outils développés ici servent de trame pour d'autres outils théoriques en constructions. Nous allons développer (§II-4-5) une *approche instrumentale étendue* qui prend sa source, pour une bonne partie, dans l'étude faite sur le milieu.

II-3-1 Situation et milieu

« Vygotski avance une thèse très intéressante : on se développe parce qu'on rencontre la contingence. Il attribue d'ailleurs cette idée à Piaget, avant de la reprendre à son propre compte. [...] Toutefois, en mettant en avant l'idée que l'apprentissage précède le développement, Vygotski est conduit à donner plus d'importance que Piaget à la contingence. [...] D'une certaine manière, la contingence est une idée complémentaire de celle d'adaptation : l'une ne va pas sans l'autre. C'est pour faire face aux situations imprévues et aux incidents que l'on modifie ses schèmes ou qu'on en développe de nouveaux, avec leur cortège de conceptualisations associées. Cela est vrai pour l'expérience en général et pour l'expérience professionnelle en particulier. Mais cela est vrai aussi pour l'expérience intentionnellement organisée à l'école pour que les enfants apprennent, ou dans le stage de formation d'adultes, pour que les participants apprennent, plus vite et plus complètement. Allons plus loin, et mettons au crédit de la recherche en didactique cette idée que la rencontre avec des situations nouvelles peut être utilisée comme un levier de l'apprentissage et du développement. C'est la théorie des situations didactiques, que Brousseau a nourri le premier. Ni Vygotski ni Piaget n'ont poussé les feux assez loin dans cette direction, qui est celle de l'organisation des perturbations, en vue de provoquer l'apprentissage » (Vergnaud 2002b, p. 62).

Ce travail sur la théorie des situations a conduit Brousseau à considérer un problème d'introduction d'une notion mathématique, non pas comme une simple reformulation d'un savoir à enseigner, mais comme un dispositif antagoniste au sujet : *un milieu*. Le milieu est donc un système qui sanctionne, de façon adéquate, les réactions du sujet et qui l'oblige à investir les connaissances attendues pour avoir une prise sur **le jeu**. En effet, pour Brousseau (2000) :

« Dans cette approche, le sujet n'a pas besoin d'être mieux décrit que le joueur d'échec, qui pousse les blancs ou les noirs suivant une stratégie impersonnelle. Quelle information, quelle sanction pertinente doit recevoir le sujet de la part du milieu pour orienter ses choix et investir telle connaissance plutôt que telle

autre ? La même démarche conduit alors à considérer le milieu comme un système autonome, antagoniste du sujet et c'est lui qu'il convient de modéliser comme une sorte d'automate. [...] Nous avons appelé « situation » un modèle d'interaction d'un sujet avec un certain milieu qui détermine une connaissance donnée comme moyen, pour le sujet, d'atteindre ou de conserver dans ce milieu un état favorable ».

Pour la suite de cette partie théorique, nous nous appuyerons, principalement, sur les travaux de Margolinas (2004) et Bloch (2000) pour prendre en compte la modélisation des activités de l'enseignant dans la théorie des situations qui, jusque-là, étaient restés peu étudiées. D'ailleurs, pour Margolinas (2004, p. 34) :

« Dans les années 80, le rôle de l'élève est mis en avant dans le processus de dévolution d'une situation a-didactique. 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 ».

Pour décrire la situation du professeur nous avons tenté de faire une synthèse entre *l'analyse ascendante* (Margolinas 1994) de la situation du professeur telle qu'elle a été utilisée par Bloch (2000) et *l'analyse descendante* telle qu'elle apparaît chez Margolinas (2004). Ces deux analyses, à notre sens, forment deux « suites adjacentes » qui convergent vers la situation didactique S_0 . Selon Margolinas (ibidem, p. 122) :

« Même si l'action du professeur se décrit dans un premier abord par l'analyse descendante, l'interaction avec la classe produit un mouvement de 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 ».

Par ailleurs, pour Bloch (2000, p. 74) :

« Si l'analyse descendante éclaire sur les connaissances du professeur lorsqu'il envisage la situation, elle ne nous dit rien sur la réalisation de cette situation du point de vue du professeur, et donc sur l'adéquation entre les intentions du professeur et ce qui s'est réellement passé, non plus que sur les connaissances que l'enseignant acquiert dans cette réalisation. De plus, ces connaissances ne sont pas acquises par une simple position d'observation (encore qu'il faudrait préciser ce qu'implique cette action d'observation), mais par une interaction avec le milieu du professeur ; cette interaction comprend certainement de l'observation mais cela ne saurait suffire à la décrire [...]. Par le biais de l'analyse ascendante nous croyons possible de dégager les caractéristiques du milieu du professeur ».

Nous avons repris le tableau de Margolinas (2004, p. 81) en y ajoutant les différents milieux de l'élève, énoncés par Brousseau (1986), ce qui donne le (Tableau 12). A chaque niveau du tableau, nous avons indiqué le milieu de l'élève et les différentes interactions entre élève et

milieu. Cela concerne les trois dernières lignes, les deux premières colonnes et la cinquième colonne. Concernant la colonne 4, relative aux situations, nous précisons que chaque situation $S_{i, i \in \{-3, -2, -1, 0\}}$ est le résultat d'une interaction entre le milieu M_i et l'élève E_i ($M_i \leftrightarrow E_i$). Cette interaction devient, par la suite, un élément du milieu M_{i+1} $i \in \{-3, -2, -1\}$, M_{-3} étant le milieu matériel de l'élève. Nous avons essayé de préciser le milieu de l'enseignant qui, pour (Bloch 2000), est composé des *éléments* « objectifs » (les élèves, les éléments de la situation, les rapports entre l'élève et les différents milieux a-didactique, ...) et les connaissances et les savoirs que le professeur met en jeu dans la situation. La (figure 11) reprend la description que fait Brousseau (1998) des jeux du professeur : l'enseignant conçoit le milieu de l'élève ; il interagit, directement, avec l'élève pour qui le milieu est conçu et il interagit avec un système composé de l'interaction élève-milieu.

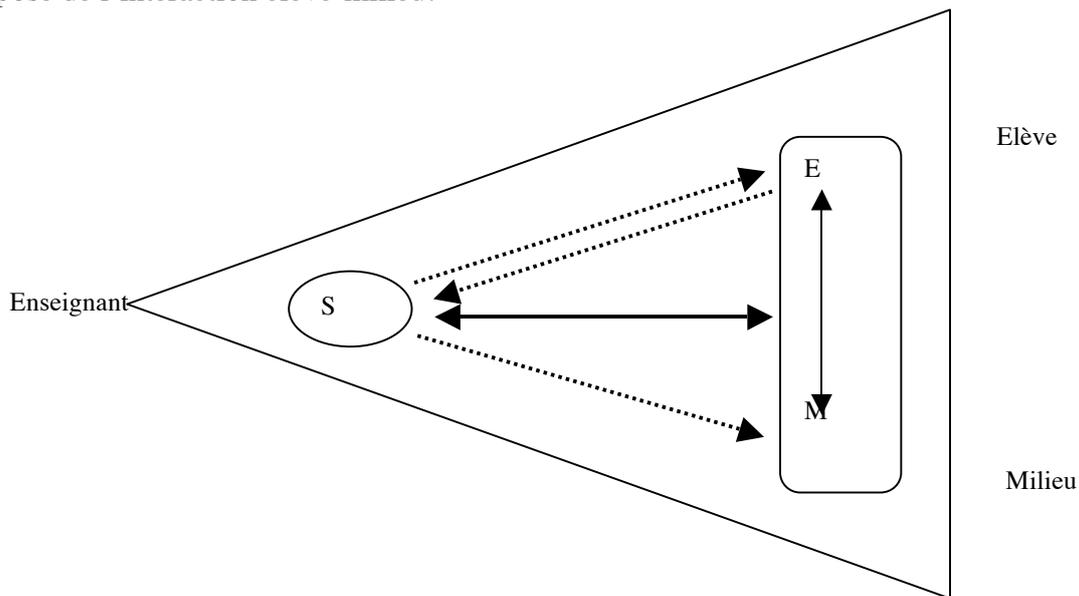


figure 11 : Le maître organisateur des jeux de l'élève (Brousseau 1998).

Pour expliciter cette situation, nous avons pris en compte l'analyse descendante de Margolinas (ibidem) pour des niveaux sur-didactiques de la situation de l'enseignant et nous avons essayé de compléter ce tableau par les travaux de Bloch (ibidem) qui décrit les niveaux sous-didactiques par une analyse ascendante. Bloch (2004, p. 81), distingue trois milieux pour le professeur en exercice dans sa classe :

- « un milieu d'observation, correspondant au milieu objectif de l'élève agissant ;
- un milieu pour l'action, correspondant au milieu de référence de l'élève apprenant ;
- un milieu d'institutionnalisation, correspondant au milieu d'apprentissage de l'élève dans la situation didactique ».

Ainsi nous avons complété les cellules $P_{i, i \in \{-2, -1, 0\}}$. Concernant les cellules $P_{i, i \in \{+1, +2, +3\}}$ et les situations correspondantes, nous nous sommes appuyés sur Margolinas (1994), en effet, pour elle

« Les niveaux sur-didactiques correspondent aux positions typiques de l'enseignant. Pour faire leur analyse, il est nécessaire de prendre en compte de nombreux éléments concernant les situations du professeur (noosphérique, de construction et de projet) dont les indices vont être recueillis dans les discours de l'enseignant []. L'enseignant est d'une certaine manière dans une position symétrique de celle de l'élève vis-à-vis de la situation didactique []. En effet, ce qui est transparent pour l'enseignant ne sont pas les conditions matérielles de la situation objective (qu'il a justement installé et

manipulé pour l'élève), mais les conditions, notamment idéologiques, de ses actions didactiques. »

M ₊₃ : M-Construction		P ₊₃ : P-Noosphérien	S ₊₃ : Situation noosphérique	Niveau surdidactique
M ₊₂ : M-Projet		P ₊₂ : P-Construction	S ₊₂ : Situation de construction	
M ₊₁ : M-Didactique	E ₊₁ : E-Réflexif	P ₊₁ : P-Projecteur	S ₊₁ : Situation de projet	
M ₀ : M-Apprentissage [(M ₋₃ ↔ E ₋₃) ↔ E ₋₂] ↔ E ₋₁	E ₀ : Elève L'élève apprend	P ₀ : Professeur pour l'élève	S ₀ : Situation didactique {[(M ₋₃ ↔ E ₋₃) ↔ E ₋₂] ↔ E ₋₁ } ↔ E ₀ {[(M ₋₃ ↔ E ₋₃) ↔ E ₋₂] ↔ E ₋₁ } ↔ P ₀	
M ₋₁ : M-Référence (M ₋₃ ↔ E ₋₃) ↔ E ₋₂	E ₋₁ :E-Apprenant L'élève agit et réfléchit sur son action	P ₋₁ : Professeur en action	S ₋₁ : Situation a-didactique [(M ₋₃ ↔ E ₋₃) ↔ E ₋₂] ↔ E ₋₁ {[(M ₋₃ ↔ E ₋₃) ↔ E ₋₂] ↔ E ₋₁ } ↕ P ₋₁	Niveau sousedidactique
M ₋₂ : M-Objectif (M ₋₃ ↔ E ₋₃)	E ₋₂ : E-Agissant L'élève peut s'identifier à l'acteur	P ₋₂ : Professeur observateur	S ₋₂ : Situation de référence (M ₋₃ ↔ E ₋₃) ↔ E ₋₂	
M ₋₃ : M-Matériel (Problème classique)	E ₋₃ : E-Objectif L'élève est spectateur de la scène		S ₋₃ : Situation Objective : (M ₋₃ ↔ E ₋₃) (M ₋₃ ↔ E ₋₃) ↕ P ₋₃	

Tableau 12 : La structuration du milieu⁷ à partir de (Margolinas 2004).

S₋₃ : Situation objective

Le milieu M₋₃ de la situation objective est le milieu matériel. Il est, pour (Brousseau 1986, p. 59), en référence à un problème classique :

« La partie informative des éléments liés par des relations explicites qui peuvent être des objets 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 ».

⁷ M désigne le milieu, E l'élève, P le professeur et S la situation.

Dans ce milieu matériel, l'élève E_3 est un élève objectif ; il est spectateur de la scène et tente de comprendre le jeu de l'acteur ($M_3 \leftrightarrow E_3$). Dans un cadre plus global, pour Margolinas (2004, p. 85) :

« La clef de cette première étape est de considérer que la situation objective n'est pas finalisée. E_3 est un acteur qui représente un personnage [...] 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 ».

S₂ : Situation de référence

Le milieu M_2 de la situation de référence est un milieu objectif. Il inclut donc la situation objective S_3 . L'élève E_2 , dans cette situation, est un élève agissant, il n'est plus spectateur ; il s'identifie à l'acteur pour agir comme lui. Il interagit avec le milieu objectif ($M_3 \leftrightarrow E_3 \leftrightarrow E_2$).

Le milieu du professeur comprend les élèves et le milieu matériel des élèves : le professeur est, en effet, « responsable » de deux composantes qui conditionnent la suite et la réussite de la situation :

- l'adéquation du milieu matériel à la poursuite de son projet ;
- l'utilisation, par les élèves, de ce milieu matériel d'une manière conforme à ses prévisions.

Pour Bloch (2000, p. 77), P_2 est un professeur *observateur* et c'est à ce niveau que peut avoir lieu une observation « stricte » de la situation par le professeur. Mais, strict ne signifie pas passif car :

« Le professeur ne peut être seulement un observateur « passif » de l'action ; son milieu comporte nécessairement une prise en compte des connaissances, essais de validation [...] des élèves [...]. Le professeur est conduit à observer les actions des élèves afin d'anticiper les interventions qu'il devra faire lors de la phase de bilan et de validation. En effet, si la situation est bien construite, elle prévoit l'utilisation de connaissances antérieures des élèves, et donc les actions des élèves sont prévues ne pas devoir aller toutes dans le même sens ou ne pas manifester la même connaissance ; donc il y a beaucoup à observer, et le professeur doit avoir un système de classement des observations s'il veut jouer son rôle à ce niveau de la situation ; plus encore au niveau suivant, où prendront place débat, validation [...]. Il est essentiel que l'enseignant puisse trier les procédures, adapter ses arguments, décider des informations qu'il livrera, à qui il devra donner la parole au bon moment (ni trop tôt, ni trop tard) [...]. Il serait peut-être bon de se demander si le P-observateur de Margolinas ne devrait pas redescendre au niveau du milieu objectif. En effet, il nous semble que c'est à ce niveau qu'a lieu surtout l'observation stricte, ce qui comporte tout de même les composantes que nous avons signalées ci-dessus. Y a-t-il vraiment observation seule en situation de pilotage de l'enseignement ? »

S₁ : Situation a-didactique

Le milieu M_1 de la situation a-didactique est un milieu de référence. Il inclut la situation de référence S_2 . L'élève E_1 , dans cette situation, est un élève apprenant [$(M_3 \leftrightarrow E_3) \leftrightarrow E_2 \leftrightarrow E_1$].

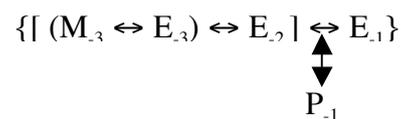
L'élève est acteur, il agit et réfléchit sur son action, les pièges, les solutions et leurs portées. Comme le dit Bloch (2000, p. 81) :

« Le milieu de référence est donc un milieu où les élèves sont engagés dans la formulation et la validation, c'est-à-dire la recherche de savoirs (sous forme par exemple de critères de validité) donnant prise sur la situation. C'est-à-dire de savoir ce que la situation a mis en scène comme expérience et leur a permis de manifester/construire comme connaissance [...]. C'est cette question théorique qui fonde le travail dans le milieu de référence [...]. On peut dire encore que l'élève s'engage dans une résolution consciente ; c'est une étape de la dévolution, celle où l'élève prend en charge une recherche (qui peut être systématique) de savoirs donnant prise sur la situation ».

Concernant le professeur P_{-1} , pour Margolinas (2004, p. 110) :

« [...] 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 ».

On peut, donc, retenir que c'est loin d'être un milieu où le professeur ne fait qu'observer de façon passive la situation. Même, s'il n'institutionnalise pas, il est tenu d'agir. Ce milieu, pour les enseignants en formation, obligés qu'ils sont de se positionner au niveau de l'interaction élèves/milieu de référence, est l'un des plus propice pour leur formation à la pratique professionnelle. Si l'enseignant, le novice comme l'expert, à ce moment-là, est en retrait des activités de la classe, il perdra l'objet de son enseignement et des outils qui devraient concourir à sa réalisation.



D'ailleurs, pour Bloch (2000, p. 82) :

« Le milieu de référence est un milieu propre à la manifestation et la construction de connaissances du professeur. En effet, celui-ci devra y prendre des décisions (engager un débat, favoriser une formulation, faire traiter un exemple ou un contre-exemple...) c'est-à-dire anticiper, choisir, mettre en relief une propriété [...] or, pour effectuer ces choix, ces anticipations, le professeur doit mettre en œuvre des connaissances mathématiques et didactiques, pour pouvoir déterminer les conséquences de ses actions :

- conséquences au niveau du savoir mathématique : sur quels objets de savoir les formulations ou essais des élèves vont-ils déboucher ?
- et conséquences au niveau didactique : quels effets sur le déroulement de la situation conformément aux attentes, sur les connaissances de la classe, sur les savoirs possibles à instituer, et sur le temps didactique » ?

S₀ : Situation didactique

Le milieu M₀ de la situation didactique est un milieu d'apprentissage, il inclut ainsi la situation a-didactique du milieu M₁. Dans cette situation didactique se rencontrent, dans le contrat didactique, les intentions d'enseigner de l'enseignant et les intentions d'apprendre de l'élève. L'élève E₀ de cette situation est un élève qui apprend, qui interagit avec son milieu d'apprentissage $\{(M_3 \leftrightarrow E_3) \leftrightarrow E_2\} \leftrightarrow E_1\} \leftrightarrow E_0$. Il réfléchit à son apprentissage et aux fonctions, pour lui-même, des connaissances mises en oeuvre. Le professeur interagit, également, avec la situation a-didactique: $\{(M_3 \leftrightarrow E_3) \leftrightarrow E_2\} \leftrightarrow E_1\} \leftrightarrow P_0$. Selon Margolinas (2004, p. 110) :

« [...] 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 (S₁) $\{(M_3 \leftrightarrow E_3) \leftrightarrow E_2\} \leftrightarrow E_1\}$. 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 ».

Bloch (2000, p. 81) considère que ce milieu d'apprentissage (milieu de la situation didactique) n'est pas, pour le professeur, un milieu pour l'action. Pour elle, c'est un milieu pour l'institutionnalisation. Son analyse converge vers celle de Margolinas qui pense que le professeur est, dans ce milieu, comme *Professeur, un Professeur-pour-l'élève* (pour enseigner à l'élève) qui déclare le savoir auquel cette phase de la situation a permis d'arriver et l'inscrit dans la mémoire de la classe.

S₊₁ : Situation de projet

Le milieu M₊₁ de la situation de projet est un milieu didactique, il inclut ainsi la situation didactique du milieu M₀. L'élève E₊₁ de cette situation est un élève réflexif, il s'agit d'un niveau dans lequel l'élève se projette dans les intentions du professeur et l'avancée du temps didactique (Margolinas 2004, p. 88). Le professeur, lui, est en situation de construction d'un projet de séance pour la classe.

S₊₂ : La situation de construction

Le milieu M₊₂ de la situation de construction est un milieu de projet, il 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 construction d'un chapitre).

S₊₃ : Situation noosphérique

La situation S₊₃ joue, pour le professeur, le même rôle que la situation S₃ pour l'élève : celui d'une situation non finalisée dans laquelle il n'y a pas d'enjeu mais, seulement, des éléments qui permettent à la situation suivante de se construire et dans lesquelles les connaissances sont naturalisées. Le niveau noosphérique est celui de conceptions de l'enseignement des mathématiques voir de l'enseignement-apprentissage, en général (Margolinas 2004, p. 117).

II-3-2 Travail collaboratif, communauté de pratique et praticien réflexif

L'organisation du SFoDEM comme celle de la plupart des dispositifs de formation à distance, qui fonctionnent aujourd'hui à partir d'une approche socio-constructiviste, repose sur trois concepts fondamentaux : *la collaboration, la communauté de pratique et la réflexivité*.

a) *Le travail collaboratif*

Pour cette étude, nous faisons une différence entre le travail collaboratif et le travail coopératif. Bien que, dans certaines parties, il apparaisse clairement que l'organisation du travail effectué soit à la fois de l'ordre du travail coopératif et collaboratif, nous insisterons plus, dans cette recherche, sur le travail collaboratif. Précisons que :

« Le travail coopératif est accompli par une division du travail dans laquelle chaque personne est responsable d'une partie de la résolution du problème, alors que la collaboration implique un engagement mutuel des participants dans un effort coordonné pour résoudre ensemble le problème » (Dillenbourg 1996).

La taylorisation et la métaphore d'une organisation du travail, dans la production du miel par des abeilles, nous semblent pertinentes pour décrire le travail coopératif. La collaboration, quant à elle, peut être assimilée au travail d'un groupe de musicien d'une chorale. Il faut juste préciser qu'il s'agirait là d'un chœur hétérophonique, c'est-à-dire que la mélodie est bien commune à plusieurs voix mais chaque chanteur l'infléchit comme il l'entend.

Le choix de privilégier plus la collaboration que la coopération est motivé par la fécondité du socioconstructivisme comme cadre de pensée pour organiser des enseignements : pendant les phases d'apprentissages, les interactions sociales agissent et favorisent les processus de développement cognitif individuel. Notons que, comme Baker (2004, p. 57) :

« Je prends comme une évidence, sur le plan méthodologique, le fait que la collaboration dans la résolution de problèmes ne saurait se réduire à un simple échange (ou transmission) d'informations ou de connaissances, sur les plans des différentes composantes de la résolution (ci-dessus). La collaboration peut prendre des formes multiples, chaque apprenant jouant spontanément un rôle plus ou moins différent, complémentaire ou antagoniste, dans la co-élaboration des connaissances ».

Il faut noter que le terme « collaboration » marque une rupture importante avec l'approche traditionnelle en éducation où l'apprentissage était considéré comme un acte individuel. Ce concept (la collaboration) pose, désormais, le caractère *social* de l'apprentissage. Cette dimension sociale de l'apprentissage est importante, surtout, au niveau de l'organisation et la mise en œuvre d'un dispositif de formation continue d'enseignants. La formation suppose, la plupart du temps, une prise en compte de nouvelles méthodes d'enseignement ou de nouveaux objets de savoir mathématique ; dans les deux cas, la phase de déconstruction des acquis antérieurs inadaptés, sera fort difficile à mettre en œuvre. Il est rare de voir un médecin ayant échoué, lors d'une opération, accuser les organes du malade de faiblesse mais les enseignants, plutôt que de remettre en cause leur enseignement, souvent, mettent en cause le niveau des élèves. Dans ces conditions, nous disons comme Linard (2001) que :

« Pour les apprenants débutants et semi-débutants dans un domaine, la phase de déconstruction des acquis antérieurs inadaptés et de transition vers la connaissance adaptative est toujours difficile. Elle implique une « prise de conscience » et une « décentration » cognitive de soi par rapport à ses propres processus qui ne peut se faire que dans un groupe social : avec l'enseignant ou l'expert et avec les pairs, de préférence en présentiel. Sauf chez les experts (et encore), cette prise de distance ne se produit pas naturellement. Elle n'émerge qu'à partir d'une mise en commun et d'une comparaison collective des résultats et des stratégies, d'une confrontation des points de vue, d'une conceptualisation et d'une réflexion critique guidées par l'enseignant. Seule cette médiation sociocognitive permet de créer les conditions interactives de la véritable pédagogie d'atelier, de déconstruction-reconstruction qu'exige une définition interactionniste de l'apprentissage ».

La prise en compte de la collaboration dans la formation marque l'intérêt suscité par l'apport de l'organisation des relations dans un environnement de travail, dans une perspective éducative. Cette influence de l'environnement du travail à l'enseignement va au-delà de la collaboration, elle convoque, également une dimension psychologique forte : celle qui est nourrie et justifiée par le fort sentiment d'appartenance de ses membres à l'organisation du travail.

b) Les communautés de pratique

Le concept de *communauté de pratique* s'est développé à la suite d'études sur l'organisation des relations, dans un environnement de travail professionnel. Il s'est étendu en montrant que l'apprentissage est inséparable des pratiques sociales. Ainsi, l'apprenant peut être assimilé à un membre d'une communauté de pratique, son apprentissage se situe alors dans le contexte de l'expérience acquise dans la participation à la communauté et l'action (Lave & Wenger 1991). Cette théorie a été formalisée par Wenger (1998) pour qui une communauté de pratique se caractérise, avant tout, par sa dimension psychologique forte, c'est-à-dire par le fort sentiment d'appartenance de ses membres. Plus précisément, une communauté de pratique a trois caractéristiques : *participation*, *réification* et *répertoire partagé*.

- *la participation* fait référence à l'adhésion et l'engagement actif à une communauté sociale et à la possibilité, pour les individus concernés, d'une reconnaissance mutuelle ;
- *la réification* est le processus qui donne forme à notre expérience en produisant des objets qui figent cette expérience sous forme d'une « chose », des raccourcis qui en disent long sur toute une expérience : des abstractions, outils, symboles, histoires, termes et concepts qui réifient quelque chose de sa pratique sous une forme fixe ;
- *le répertoire partagé* est un ensemble d'objets de natures diverses, par exemple, des procédures, des mots, des outils, des façons de faire, des histoires, des symboles, des concepts que la communauté a produits ou adoptés tout au long de son existence et qui sont devenus une part de sa pratique.

En situation d'apprentissage, cette théorie, relative à une communauté de pratique, est gage d'une amélioration des compétences de chaque membre de la communauté dans son milieu de vie professionnel et social. Etant donné que toute communauté de pratique est, nécessairement, communauté d'apprentissage, l'étude des communautés de pratiques offrent des conditions suffisantes de détermination de communauté d'apprentissage.

c) *La réflexivité*

La *réflexivité* est l'examen par une personne de ce que vaut son action : c'est une auto-évaluation. Une *pratique réflexive* est donc une pratique accompagnée d'une pensée sur cette pratique. L'importance de la pratique réflexive dans l'exercice d'une profession a été mise en évidence par Schön (1993) :

« Pour surmonter les défis qu'ils rencontrent dans leur pratique, les professionnels se fondent moins sur des formules apprises au cours de leur formation fondamentale que sur une certaine improvisation acquise au cours de leur pratique professionnelle ».

Pour lui, les savoirs rationnels ne suffisent pas, dans l'exercice d'une profession, à faire face à la complexité et à la diversité des situations de travail :

« L'enjeu est donc de réhabiliter la raison pratique, les savoirs d'action et d'expérience, l'intuition, l'expertise fondée sur un dialogue avec le réel et la réflexion dans l'action et sur l'action, c'est-à-dire la pratique réflexive » (Schön *ibidem*).

Ce point de vue réflexif est aussi très important dans un processus d'apprentissage : on apprend par l'action, on apprend aussi par l'analyse de son action en prenant de la distance par rapport à sa propre activité. L'enseignant qui est obligé de s'interroger sur les apprentissages réels de ses élèves et sur le rôle de ses interventions sur ces apprentissages est, particulièrement, concerné par cette approche. C'est ce qu'étudie Perrenoud (2001) :

« Enseigner requiert, en effet, outre la connaissance des contenus d'enseignement et, en étroite relation avec eux, un ensemble de savoirs multiples, didactiques ou transversaux, les uns issus de la recherche en sciences humaines et sociales, les autres participant de la tradition et de l'expertise professionnelles collectives et d'autres encore construits par chacun au fil de son expérience. La pratique réflexive a, notamment, pour fonction de solidariser et de faire dialoguer ces divers savoirs ».

Dans le cadre d'un travail au sein d'une communauté d'apprentissage, précisons que la collaboration n'exclut pas l'individu au profit du groupe. Elle lui donne, d'ailleurs, son véritable rôle : celui d'interroger sa pratique par rapport au groupe, par rapport à lui-même et par rapport aux connaissances produites ou acquises. Ce travail d'auto-évaluation est important en apprentissage. En mathématiques, par exemple, Artigue (2002) évoque la nécessité du *contrôle*, par l'élève, des résultats proposés par un logiciel. Trouche (2002) propose un dispositif pour développer, chez les élèves, ce type de contrôle : ce dispositif, *l'observation miroir*, repose sur l'observation et le relevé des actions réalisées par des pairs, puis sur une discussion de ces relevés. Toutes ces observations s'inscrivent bien dans ce point de vue de Piaget (1934) sur les coordinations cognitives :

« Toute pensée logique est socialisée parce qu'elle implique la communication possible entre individus. Mais, cet échange interindividuel repose sur des correspondances, des réunions, des intersections, des réciprocitys etc., qui sont encore des opérations. Entre ces opérations interindividuelles il y a donc une

identité. La conclusion à en tirer est ainsi que les structures opératoires qui se construisent spontanément au cours du développement intellectuel constituent essentiellement des structures de la coordination intérieure aux actions, qu'il s'agisse de coordinations intérieures aux actions de l'individu ou de la coordination entre actions d'individus distincts [...] ».

II-3-3 Modélisation de pratiques enseignantes

Cette étude sur la modélisation de l'action du professeur se situe dans une perspective tracée par Sensevy & al (2004) pour qui :

« Ce travail est fondé explicitement sur la théorie des situations et l'approche anthropologique, auxquelles nous empruntons divers instruments conceptuels. Mais l'articulation de ces deux théories ne constitue pas pour nous, en tant telle, un objet d'étude [...]. En outre, il s'agit bien de contribuer à une anthropologie didactique de l'action du professeur en mathématiques, le terme anthropologie ne doit pas tromper. Nous ne voulons pas signifier que ce travail s'inscrit, au sens strict, dans l'approche anthropologique développée par Chevallard (1992, 1999), mais simplement marquer qu'il tente de considérer l'action du professeur au sein d'une anthropologie du processus d'enseignement et apprentissage ».

L'objectif de ce travail est de faire une description de l'action du professeur à partir des structures de son action, en faisant une description des types de tâches qu'il rencontre et des techniques didactiques qu'il met en œuvre.

a) *Les structures de l'action de l'enseignant*

La modélisation repose sur l'identification de ce que Sensevy & al (2004) appellent les *structures de l'action* dans la relation didactique.

Nous retenons ce qu'ils appellent les dimensions essentielles de l'action de l'enseignement : définir, réguler, dévoluer et instituer. En d'autres termes, lorsqu'on enseigne, il y a nécessairement et essentiellement de la *définition*, de la *régulation*, de la *dévolution*, de l'*institution* :

- le terme **définir** signifie que le professeur pose un certain nombre d'objets (des règles constitutives du jeu) à établir dans le cadre d'une situation. Par exemple, dans un match de football, hormis les gardiens de but, tout joueur qui, au cours du jeu, touche délibérément le ballon de la main commet ce qui est appelé une *faute*. La faute est ainsi une règle constitutive du football ;
- **réguler** c'est désigner-indiquer-réaménager. La régulation concerne donc tous les comportements que le professeur produit en vue d'amener l'élève à élaborer des stratégies gagnantes. La distinction entre définir et réguler est la même entre règles constitutives et règles stratégiques. La stratégie du 4-5-1 (quatre défenseurs, cinq milieux de terrain et un seul avant centre) est une règle stratégique pour jouer à la défensive lors d'un match de football ;
- **dévoluer** c'est rendre optimal le topos (§II-1-3) de l'élève. Le professeur doit faire en sorte que les élèves prennent la responsabilité de « jouer le jeu », de s'engager dans l'activité proposée. Le type d'activité et l'organisation de la classe (travail en groupe ou

travail individuel) sont des facteurs qui peuvent influencer sur la dévolution d'un problème à chaque élève ;

- **instaurer, c'est valider, évaluer.** Le travail du professeur suppose l'institutionnalisation c'est-à-dire une activité de validation (renvoi au milieu) et d'évaluation (une conclusion sans appel). L'institutionnalisation est un processus qui commence dès le début de la leçon, au moment de la dévolution à chaque élève du problème et qui, sous sa forme d'évaluation, clôt la leçon.

Nous notons aussi que, pour Sensevy & al (2000), il y a trois « objets » qui orientent l'action du professeur et se construisent grâce à elle : au sein d'un système didactique, le professeur doit agir (définir, réguler, dévoluer et instituer) pour :

- produire les lieux du professeur et de l'élève (effet topogénèse) ;
- produire les temps de l'enseignement et de l'apprentissage (effet chronogénèse) ;
- produire les objets des milieux des situations et de l'organisation des rapports à des objets (effet mésogénèse).

b) Les types de tâches et techniques didactiques de l'enseignant

Les types de tâches et techniques de l'enseignant peuvent être répartis en quatre groupes :

b1) L'organisation des phases de dénomination et de détermination des tâches des élèves.

Dans ce groupe nous retenons deux types de tâches définis par Sensevy & al (2004) : la dénomination et la détermination :

- « la dénomination consiste à nommer certaines des actions des élèves ou certaines déclarations : ces mots vont ensuite fonctionner comme mots concepts et comme outils discursifs ;
- la détermination de l'action suppose par exemple l'élaboration et la « transmission » de buts, mais elle nomme sans doute une tâche plus vaste, et peut référer en fait aux deux grandes fonctions de définition et régulation ».

Ce travail *de dénomination ou de détermination des tâches des élèves* demande de la part du professeur une construction *coopérative* (§II-3-2) des règles constitutives du jeu avec ses élèves. Cela facilite le partage des définitions et permettra une clarification de la structure du jeu.

b2) L'étude des procédures et méthodes des élèves

Au niveau de l'étude des procédures, le type de tâches de l'enseignant consiste à identifier les traits pertinents de l'action de l'élève dans la situation. Une technique relative à ce type de tâches est : *observer* les procédures des élèves, les erreurs, le fonctionnement de la classe (échanges dans les groupes et entre groupes, formulations, oppositions,...). Ce relevé, comme le précise Bloch (2004, p. 86), n'est pas une simple énumération :

« Le professeur doit pouvoir classer les productions des élèves et les mettre en correspondance avec des connaissances, des savoirs... ou, au contraire, y reconnaître un (des) élève(s) aux prises avec une ignorance institutionnelle [...]. Ce relevé permettra au professeur d'enclencher le processus de validation dans la situation d'apprentissage ».

b3) *L'organisation de situation pour l'action*

Nous retenons comme type de tâches relatif à l'organisation de situation pour l'action le travail que fait l'enseignant pour la *régulation* et pour *engager l'élève dans l'activité proposée*. Nous prenons aussi en compte le type tâches ci-dessous défini par Sensevy & al (2004) :

« L'organisation de la situation pour l'action consiste à organiser des (ré) aménagements didactiques précis, par exemple lors de la modification des variables didactiques réorganisant le « jeu » dans lequel sont impliqués les élèves : ces réaménagement garantissent l'adéquation de la situation à l'objet d'enseignement ».

Pour la prise en charge de ce type de tâches, nous résumons les techniques à travers la description ci-dessous, faite par (Margolinas 1997), du travail de l'enseignant dans le milieu de référence :

- choisir les éléments du milieu à mettre en évidence ;
- anticiper les conséquences des actions des élèves, des questions qu'ils proposent au débat, des compléments fournis ;
- décider de poursuivre ou d'abrégier les recherches des élèves, les débats, les formulations sur tel ou tel point.

b4) *L'organisation de phases d'institutionnalisation*

Il s'agira d'une organisation pour *instituer* et pour gérer les échanges dans la classe pour permettre que des significations produites par les déclarations des élèves soient institutionnalisées. Nous avons retenu, comme technique relative à l'organisation de l'institutionnalisation, l'étiquetage par l'enseignant des produits conçus dans la classe comme le décrit Legrand (1993) :

« L'institutionnalisation est ce moment où l'enseignant **sort totalement de sa neutralité épistémologique pour étiqueter**, parmi les résultats étudiés, ceux qui seront certainement réutilisés : **ceux qui sont vrais** deviennent les théorèmes du cours **et ceux qui sont erronés**, mais qui correspondent à des modes de pensée très "naturels", sont repérés comme tels (i.e. on sait qu'ils sont faux et on sait qu'on "aimerait bien" qu'ils soient vrais)» !

(nos soulignements)

Conclusion

Les parties étudiées dans ce chapitre sont pour nous d'une grande importance dans ce cadre théorique. L'exposé sur la théorie des situations didactiques fait le point sur le fonctionnement adéquat du système didactique. Il est complété par un travail sur la modélisation des pratiques enseignantes. Ces deux études nous permettent de construire des outils de *qualité de pratiques* enseignantes (§III-2-1) en rapport avec l'usage de ressources pédagogiques. Pour faire le lien entre l'organisation du travail d'une communauté d'enseignants en situation sur-didactique et celle d'un enseignant en classe, nous avons essayé de compléter ce chapitre avec une étude sur *travail collaboratif* et les conditions d'émergence d'une *communauté de pratique*. Ce choix présente l'avantage de faciliter l'étude des notions de schèmes sociaux d'utilisation de

ressources pédagogiques et du processus complexe de leur genèse instrumentale qui fera l'objet du chapitre (§II-4) ci-dessus.

II-4 APPROCHE INSTRUMENTALE DES RESSOURCES PEDAGOGIQUES

L'un des piliers, le plus important, sur lequel va s'appuyer cette recherche est *l'approche instrumentale*. Cette approche développée par Rabardel (1995), est basée sur la *théorie de l'activité* et sur la notion de *médiation* due à Vygotski avec, en toile de fond, la notion de *schème* étudiée par Piaget et reprise par Vergnaud. C'est, d'ailleurs, le concept de schème qui permet pour Vergnaud (2002a) d'associer la théorie de l'activité et la théorie de la médiation. L'importance de l'approche instrumentale, dans cette étude, est liée à la généralisation par Rabardel de l'idée de médiation aux outils *techniques* et *psychologiques*, à la distinction entre *outils nus* et *instruments* et à la *non permanence* de l'instrument. Ainsi, elle peut devenir pour la didactique, un outil important pour étudier et analyser les pratiques des enseignants.

II-4-1 De Piaget à Vygotski

Jean Piaget est né à Neuchâtel, en Suisse, le 9 août 1896 et quatre mois plus tard, le 17 novembre 1896, à Orsa, en Biélorussie, naît Lev Semionovitch Vygotski. Proposant une étude comparative de la vie et l'œuvre de Vygotski et de celles de Piaget, Ivic (2000) explique la différence entre leurs œuvres par la dissemblance des sources d'inspiration. Piaget a surtout travaillé au niveau des sciences biologiques alors que Vygotski a eu une formation dans le domaine des sciences humaines (langue et linguistique, esthétique et littérature, philosophie et histoire). Pour Ivic (ibidem) :

« Cette différence d'inspiration explique peut-être la différence de deux paradigmes importants dans la psychologie du développement : celui de Piaget met l'accent sur les aspects structuraux et sur les lois essentiellement universelles (d'origine biologique) du développement, tandis que celui de Vygotski insiste sur les apports de la culture, l'interaction sociale et la dimension historique du développement mental » .

Cette différence d'inspiration n'a pas empêché des convergences dans l'interprétation que les deux auteurs font du développement cognitif du sujet. Contamines & al (2003) précisent que :

« Quels que soient les éléments de controverse autour de l'œuvre de Jean Piaget, ce dernier s'accorde à dire, comme Lev Vygotski, que le mécanisme de la pensée et de son développement se trouve à la croisée d'une boucle extérieur/intérieur, milieu/sujet. Par là, ils ont entamé tous deux le dépassement du dualisme cartésien -matière/esprit- pour ancrer le développement cognitif et inscrire le sujet dans un environnement » .

Pour Vygotski (1934, p. 66), Piaget a révolutionné les recherches sur la psychologie du développement en mettant l'enfant au centre de son dispositif de recherche. Il s'accorde avec Piaget sur la nature *adaptative* et *fonctionnelle* des activités d'un sujet, enfant ou adulte. Il se détache de la vision piagétienne du développement en donnant une place, prépondérante, aux interactions sociales. Ses recherches en psychologie ont eu des répercussions importantes sur le développement des recherches sur la construction des savoirs scientifiques. Pour Linard (2002) :

« Les théories qui fournissent le cadre théorique le plus compréhensif de la connaissance et de l'apprentissage humains sont les théories

développementales de la psychologie de l'intelligence : qu'elles soient d'orientation structuraliste-constructiviste (Piaget et l'école de Genève) ou socioculturelle et interactionniste (Vygotski, Léontiev, Wallon, Bruner). Ces théories s'accordent pour faire de l'action et de l'interaction entre sujets et sujets et environnement les deux moteurs essentiels des processus psychiques ».

Nous nous situerons, pour la suite de cette étude, dans une perspective piagétienne pour l'étude de la notion de schème et vygotkienne pour l'étude la notion de médiation. Nous optons aussi pour une conception matérielle et sociale de l'environnement dans lequel doit s'inscrire le développement d'un sujet. En effet, relativement à la place de la socialisation comme condition du développement intellectuel, Piaget (1934, p. 516), lui-même, a affirmé :

« Je n'ai pas abordé jusqu'ici, en ce commentaire, la question de la socialisation comme condition du développement intellectuel, bien que Vygotski la soulève à plusieurs reprises. Dans ma perspective actuelle, elle ne se pose plus comme autrefois pour moi parce que la considération des opérations et de la décentration liée à la construction des structures opératoires en renouvelle les termes ».

II-4-2 Notion de schème

Pour Vergnaud (2005) :

« L'un des problèmes importants de la recherche en didactique est celui des rapports entre les connaissances sous-jacentes à l'action en situation et les connaissances explicitées dans les manuels, dans la bouche du professeur et des élèves [...] Piaget dit que la connaissance est adaptation [...] Brousseau lui-même a pris à son compte cette idée d'adaptation, justement pour en faire un levier didactique. Qu'est-ce qui s'adapte et à quoi ? [...] Et ma réponse est : ce qui s'adapte ce sont **les schèmes, c'est-à-dire des formes d'organisation de l'activité** et qui s'adaptent à des **situations** ».

(nos soulignements)

Rappelons que, pour Piaget (1967, p. 16), un schème d'action est :

« Ce qui, dans une action, est transposable, généralisable ou différentiable, d'une situation à la suivante, autrement dit ce qu'il y a de commun aux diverses répétitions ou aux applications de la même action ».

Vergnaud (2005) complète cette définition. Il relie la notion de schème au répertoire de situations auquel le schème s'applique. Pour lui un schème est une organisation invariante de l'activité pour une classe définie de situations. **Il souligne que c'est l'organisation de l'activité qui est invariante et non l'activité**. Le schème comporte nécessairement quatre composantes :

- un ou plusieurs buts, se déclinant en sous buts et anticipations ;
- des règles d'action, de prise d'information et de contrôle ;

- des invariants opératoires (concepts-en-acte et théorèmes-en-acte) permettant à la fois la prise et le traitement d'information pertinente ;
- des possibilités d'inférence.

Ces quatre composantes permettent de rendre compte de plusieurs propriétés du schème : l'intentionnalité (buts et sous buts), le caractère génératif (des règles qui engendrent l'activité au fur et à mesure), la connaissance du réel (les invariants opératoires), l'adaptabilité à la variété de cas de figure et de calcul en situation (les possibilités d'inférence).

Pour Rabardel (1999), les schèmes d'utilisation d'un outil doivent être considérés dans leurs dimensions privées et sociales et ils jouent un rôle particulièrement important en matière d'éducation. Deux raisons peuvent justifier cette affirmation :

- la première raison est que ce sont les schèmes d'utilisation qui permettent à l'utilisateur d'adapter ses gestes à toute une classe de situation. Cela est valable pour des élèves mais, aussi, pour les enseignants surtout ceux qui sont en cours de formation, car pour Vergnaud (1996) :

« L'enseignant aussi fonctionne avec un répertoire de schèmes, qui concernent de nombreux registres de son activité : sociale, affective, langagière et technique. Ses représentations sont essentielles dans la manière dont ses pratiques sont structurées. La formation continue a pour but de l'aider à former et à transformer les schèmes qui structurent sa pratique professionnelle et les représentations sur lesquelles elle repose ».

Les schèmes d'utilisation d'un outil dans le cadre scolaire se construisent de façon individuelle dans le sens où les élèves, comme le professeur, adaptent l'utilisation qu'ils font de l'outil à des contextes différents liés à des objectifs propres. Mais, ces schèmes sont aussi des schèmes sociaux en ce sens que leur construction se fait à partir d'interactions entre apprenants. Pour mieux étudier les schèmes que construisent les élèves et comprendre les procédures qu'ils utilisent, il est important que l'enseignant accepte de manipuler comme les élèves et avec eux tout en ayant une posture *réflexive* (§II-3-2) de son action. Pour les élèves « les schèmes sont à la fois individuels et sociaux » (Guin & al 2005) ;

- la seconde raison est relative au fait que c'est le schème qui lie le geste à la pensée et, par conséquent, offre des outils à l'enseignant pour le suivi de l'activité de l'élève dans la classe. Pour Trouche (2003, p. 17) :

« Le schème étant ce qui relie le geste à la pensée, ce n'est que sa partie émergée qui est accessible à l'observateur. Un schème est une construction de l'observateur à partir des différentes traces de l'activité du sujet (les anticipations, les inférences en situation, etc.) ».

La pensée n'est accessible pour un observateur extérieur qu'à travers ses manifestations : les gestes. Ceux-ci sont visibles par l'enseignant, ils lui permettent d'identifier des erreurs de l'apprenant et d'émettre des hypothèses sur les comportements mentaux qui en seraient à l'origine. Pour Vergnaud (2005) :

« L'analyse des gestes est la meilleure illustration de la fécondité et du caractère irremplaçable du concept de schème. La pensée est geste ».

Pour un enseignant, l'étude du développement des schèmes, chez des apprenants, nécessite des moyens pour analyser leur niveau de performance, les classes de situations auxquelles ils s'adressent et leur adéquation ou non aux concepts qu'ils devraient faire émerger. Réciproquement, l'étude des schèmes des apprenants permet à l'enseignant *d'analyser des effets* (§II-2-6) de son enseignement. Flückiger (2004) estime que :

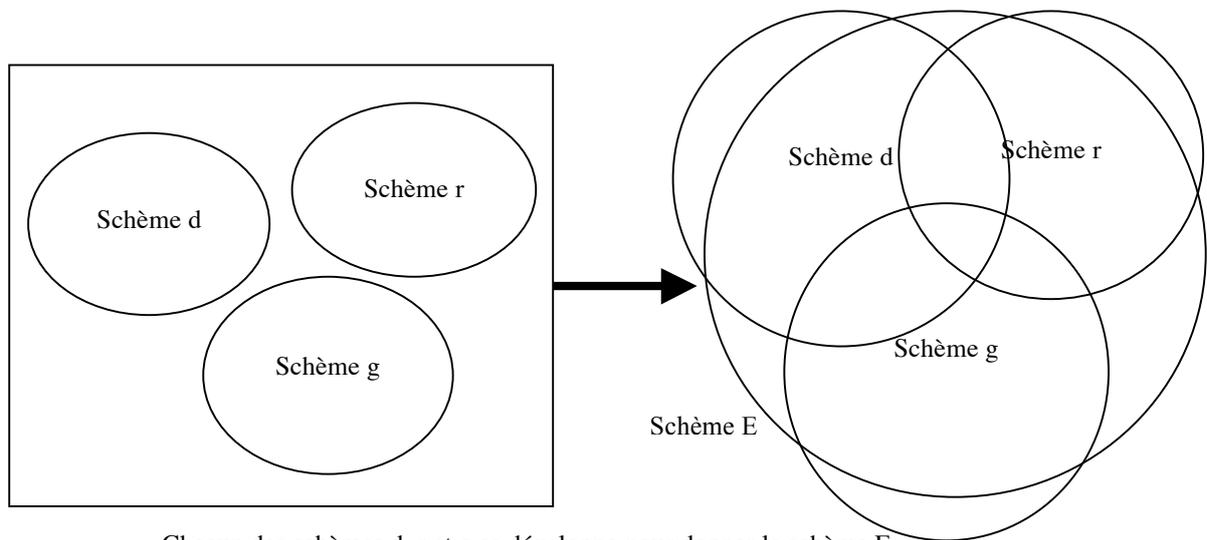
« Le couple « schème-situation » est la clef de voûte de la psychologie cognitive et de la théorie de l'activité parce que, d'une part, toute connaissance est adaptation or, ce sont les schèmes qui s'adaptent, et à des classes de situation. D'autre part, parce que c'est au travers des situations didactiques que les schèmes déjà construits peuvent être déstabilisés en vue de les enrichir ».

Ceci explique la place importante de l'étude des situations au niveau des apprentissages. Au-delà de la restructuration des contingences et, donc, des adaptations, les situations offrent des bases solides pour la formation des schèmes mais dans un travail prospectif de leur évolution. Ainsi, les schèmes construits, lorsque l'élève est en situation, doivent s'articuler avec ceux déjà existants mais ils doivent, également, constituer un terreau fertile pour ceux qui seront en construction. Ces schèmes doivent être ceux sur lesquels d'autres schèmes peuvent s'appuyer et qui ne feront pas obstacle aux apprentissages visés. En effet, pour Vergnaud (2005) :

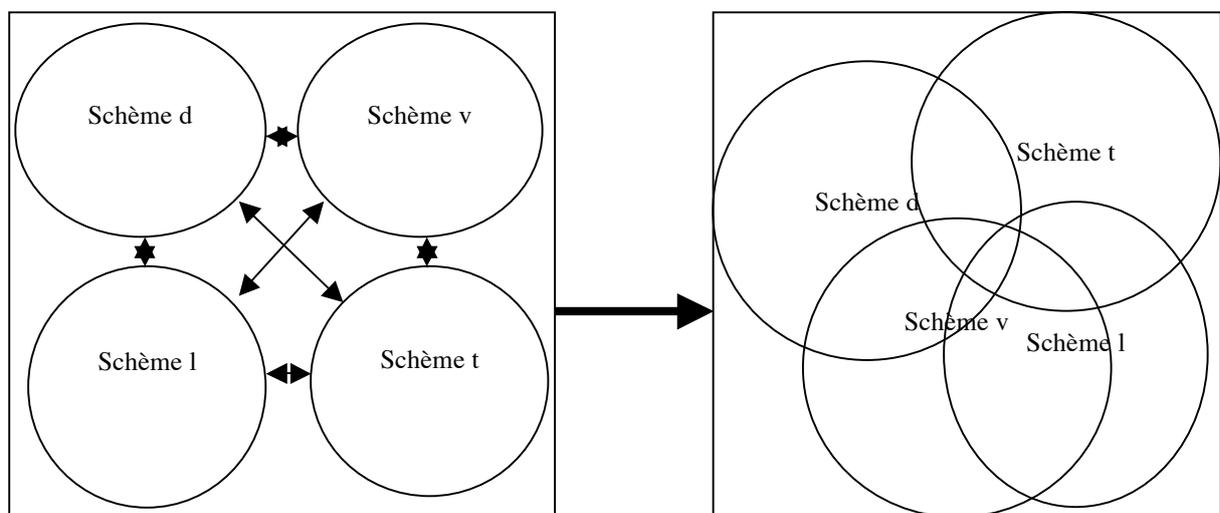
« S'adressant à une classe de situations, le schème est un universel, ce qui ne préjuge pas de l'évolution, au cours du développement, des caractéristiques de la classe, de sa dilatation ou de sa restriction, moyennant l'évolution des caractéristiques du schème. C'est à ce point que je situe l'un des problèmes de base du développement : sur quels schèmes plus anciens un schème nouveau s'appuie-t-il ? En quoi ces schèmes font-ils éventuellement obstacle ? Cette question concerne les connaissances conceptuelles puisqu'il n'y a pas de schème sans conceptualisation, fût-elle implicite ».

Utilisant la corrélation entre geste et schème et les travaux de Defouad (2000), concernant les schèmes d'utilisation de la calculatrice, nous présentons, en guise d'exemple (figure 13), l'émergence d'un schème que nous notons E de détermination d'un extremum d'une fonction f. Pour cela, nous insisterons, surtout, sur le fait que cette émergence n'est pas une juxtaposition de gestes mais une évolution des interactions entre des gestes qui sont relatifs à ce schème. Cette émergence est, également, le fruit d'une évolution des gestes élémentaires relatifs à ce schème mais dans le processus de la conception d'autres schèmes. Posons d, r et g respectivement un schème de dérivée d'une fonction f par rapport à une variable x, un schème de résolution d'une équation de la forme $f'(x) = 0$ et un schème de « graphage » de la fonction f. Le schème E ne doit pas être considéré comme une somme des schèmes d, r et g mais comme le résultat d'une interaction dialectique au cours du développement de chaque schème. En effet, le fait de déterminer un extremum signifie une autre compréhension de la notion de dérivée, des solutions d'une équation et du graphage. Une maîtrise séparée de chacune de ces notions facilite certainement le travail sur l'extremum, mais ne garantit pas sa réussite.

geste 1	geste 2	geste 3	} geste
$d(f(x),x)$	$\text{solve}(f'(x) = 0, x)$	graph f	
schème d	schème r	schème g } schèmes	



Chacun des schèmes d, r et g se développe pour donner le schème E.



Soit par exemple un schème d (dérivée), il peut être lié à un schème « tangente » (t), à un schème « limite » (l) et à un schème « variable » (v).

Développement des Schèmes

figure 13 : L'émergence du schème de détermination d'un extremum.

Pour conclure cette partie, retenons avec Vergnaud (2005) que c'est le concept *d'invariant opératoire* qui permet de faire le lien entre la forme opératoire et la forme prédicative de la connaissance. Les invariants opératoires sont, en effet, la composante épistémique du schème, celle qui soutient, en dernier ressort, l'organisation de l'activité et, notamment, la prise d'information pertinente et son traitement, c'est-à-dire sa transformation en but et sous buts et en règles d'action. L'explicitation du concept d'invariant opératoire repose sur la distinction entre théorème-en-acte (des énoncés susceptibles de vérité et de fausseté) et concept-en-acte

qui ne peuvent être que pertinents ou non pertinents pour prélever l'information. Un exemple de théorème-en-acte (Conne 1992) :

« [...] à la source, c'est donc un savoir mathématique qui prend son sens dans un contexte mathématique abstrait (structures algébriques). Un nouvel usage lui est conféré quand ce savoir mathématique permet au psychologue de considérer comme significatif un comportement d'enfant, par exemple, dans un contexte de comptage, la commutation des facteurs d'une addition lorsque le premier facteur est plus petit que le second ($2+7$ est commuté en $7+2$ pour être compté : 7, 8, 9 selon une procédure de comptage continué). Si le comportement est suffisamment stable, on conclura à partir de cette correspondance entre la commutativité mathématique et cette sorte de commutativité observée dans le traitement de l'enfant, qu'il y a bien théorème en acte [que l'on peut exprimer par $2+7 = 7+2$ [...]] » .

Rappelons, enfin, que pour Rabardel (1995b) :

« Les schèmes [...] ont une dimension privée au sens où ils sont les schèmes d'un sujet singulier. Mais ils ont également une dimension sociale essentielle. Elle tient à ce que leur émergence résulte pour une part, d'un processus collectif auxquels contribuent les utilisateurs mais aussi les concepteurs des artefacts. Elle tient à ce qu'ils font l'objet de processus de transmission sociaux (des notices jusqu'aux formations). C'est pourquoi les schèmes d'utilisation doivent être, non seulement, considérés dans leurs dimensions privées mais, également, en tant que schèmes sociaux d'utilisation (SSU), cette dimension étant particulièrement importante dans une perspective éducative ».

II-4-3 Approche instrumentale

Se situant dans une perspective vygotskienne des instruments, Rabardel avance l'idée que l'instrument n'est pas seulement un dispositif avec lequel on serait en interaction mais un *médiateur*. La médiation est l'ensemble des procédures et des corps intermédiaires qui s'interposent entre une production de signes et une production d'événements. Rabardel & Samurcey (2001) distinguent quatre types de médiations instrumentales : la *médiation épistémique* orientée vers la connaissance de l'objet, la *médiation pragmatique* orientée vers l'action, la *médiation réflexive* orientée vers le sujet, lui-même, et la *médiation interpersonnelle* qui se réalise entre les sujets.

Beguïn & Rabardel (2000) complètent cette perspective théorique de Vygotski par une précision sur la nature de l'instrument. Pour eux, « *l'instrument est certes un médiateur entre le sujet et l'objet, mais il est aussi constitutivement composé par le sujet et par l'artefact* ». L'approche instrumentale fait une différenciation entre l'objet matériel ou symbolique et l'objet inscrit dans un usage appelé instrument. Il distingue ainsi *l'instrument de l'artefact*. Pour Beguïn et Rabardel (2000) les artefacts sont des *propositions*. C'est le sujet qui, au cours de l'usage, attribue à l'artefact un statut d'instrument (Beguïn & Rabardel *ibidem*). Ils précisent que :

« L'instrument médiateur est composé de deux entités : une composante artefact (une fraction d'artefact ou un ensemble d'artefacts) et un ou des schèmes associés, résultant d'une construction propre au sujet autonome ou

d'une appropriation de schèmes sociaux déjà formés extérieurement à lui. Ces deux structures sont solidairement constitutives à l'objet de l'activité ».

La (figure 14) récapitule les interactions et les médiations entre sujet, instrument et objet :

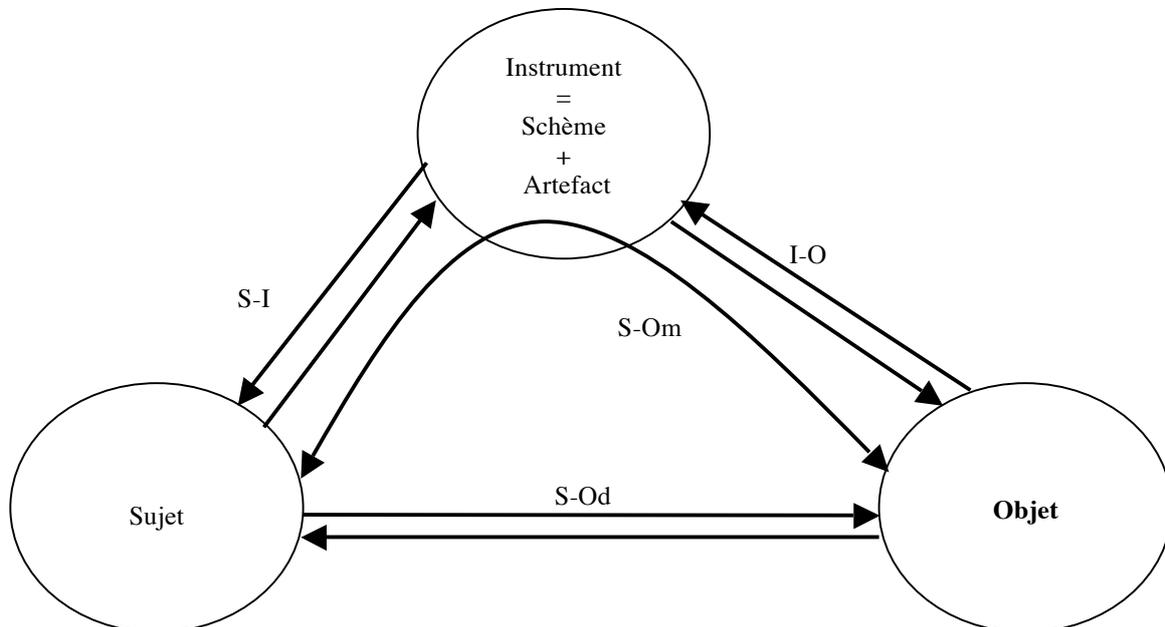


figure 14 : *L'instrument médiateur : une entité composite*⁸ (Beguin & Rabardel 2000).

Rabardel explique enfin qu'il n'y a pas de permanence dans l'outil. Pour Contamines & al (2003), dans l'artefact, sont inscrits des modes opératoires, accessibles à travers des fonctions constituantes prévues par le ou les concepteurs. Lors d'une utilisation d'un artefact, ces *fonctions constituantes* ne sont pas les seules présentes. Il y a aussi les *fonctions constituées* (les fonctions qui ont été créées par l'utilisateur durant l'utilisation de l'artefact) qui deviennent, ensuite, des fonctions constituantes pour lui. Rabardel (1995) appelle *genèse instrumentale* le processus qui, à travers l'usage, marque l'évolution progressive de l'utilisation de l'artefact (figure 15). L'instrument se construit ainsi, progressivement, pour l'utilisateur à travers deux processus duaux : *l'instrumentation* (le processus qui fait émerger les fonctions constituantes) et *l'instrumentalisation* qui est liée au développement des fonctions constituées.

Faisant le lien entre ce processus d'instrumentation et le développement des schèmes d'utilisation d'un outil, Rabardel (2000) explique que :

« L'instrumentation est relative à l'émergence et à l'évolution des schèmes d'utilisation : leur constitution, leur fonctionnement, leur évolution ainsi que l'assimilation d'artefacts nouveaux à des schèmes déjà constitués, etc. ».

Quant à l'instrumentalisation, pour Beguin & Rabardel (2000) :

« Il est possible de distinguer plusieurs niveaux d'instrumentalisation par attribut de fonction à un artefact. A un premier niveau, l'instrumentalisation est locale, liée à une action singulière et aux circonstances de son déroulement. L'artefact est instrumentalisé momentanément. A un second niveau, la fonction

⁸ S-I (interaction entre sujet et instrument) ; I-O (interaction entre objet et instrument) ; S-Od (interaction direct entre sujet et objet) et S-Om (relation médiée entre sujet et objet).

est acquise durablement comme propriété de l'artefact en relation avec une classe d'actions, d'objets de l'activité et de situations. L'instrumentalisation est durable, sinon permanente. Dans l'un ou l'autre cas, il n'y a pas de transformation matérielle de l'artefact, lui-même. Il s'est seulement enrichi de propriétés nouvelles, acquises momentanément ou durablement. Enfin, à un troisième niveau, les fonctions acquises peuvent être inscrites dans l'artefact même, par une modification de son fonctionnement ou de sa structure : l'artefact est matériellement modifié ».

Pour mieux appréhender ces deux processus, Contamines & al (2003) précisent qu'ils sont :

« [...] en interaction. Le premier est dirigé vers le sujet, c'est le processus d'instrumentation et le second vers l'artefact, c'est le processus d'instrumentalisation. [...] Au cours du processus d'instrumentation c'est l'utilisateur qui évolue et qui apprend. Ce sont les schèmes d'usages qui évoluent, se transforment, sont créés, s'incorporent aux schèmes déjà existants. On peut métaphoriquement considérer que ce processus est une force orientée vers le sujet. Au cours du processus d'instrumentalisation c'est l'artefact qui évolue. Ce sont l'émergence de nouvelles propriétés pour l'artefact (fonctions constituées) et l'institution de fonctions constituantes par le sujet. Ce processus prend appui sur les caractéristiques de l'artefact, sur la prescription d'utilisation fournie par le concepteur et la place de l'artefact dans l'action du sujet. On peut métaphoriquement considérer que ce processus est une force orientée vers l'artefact ».

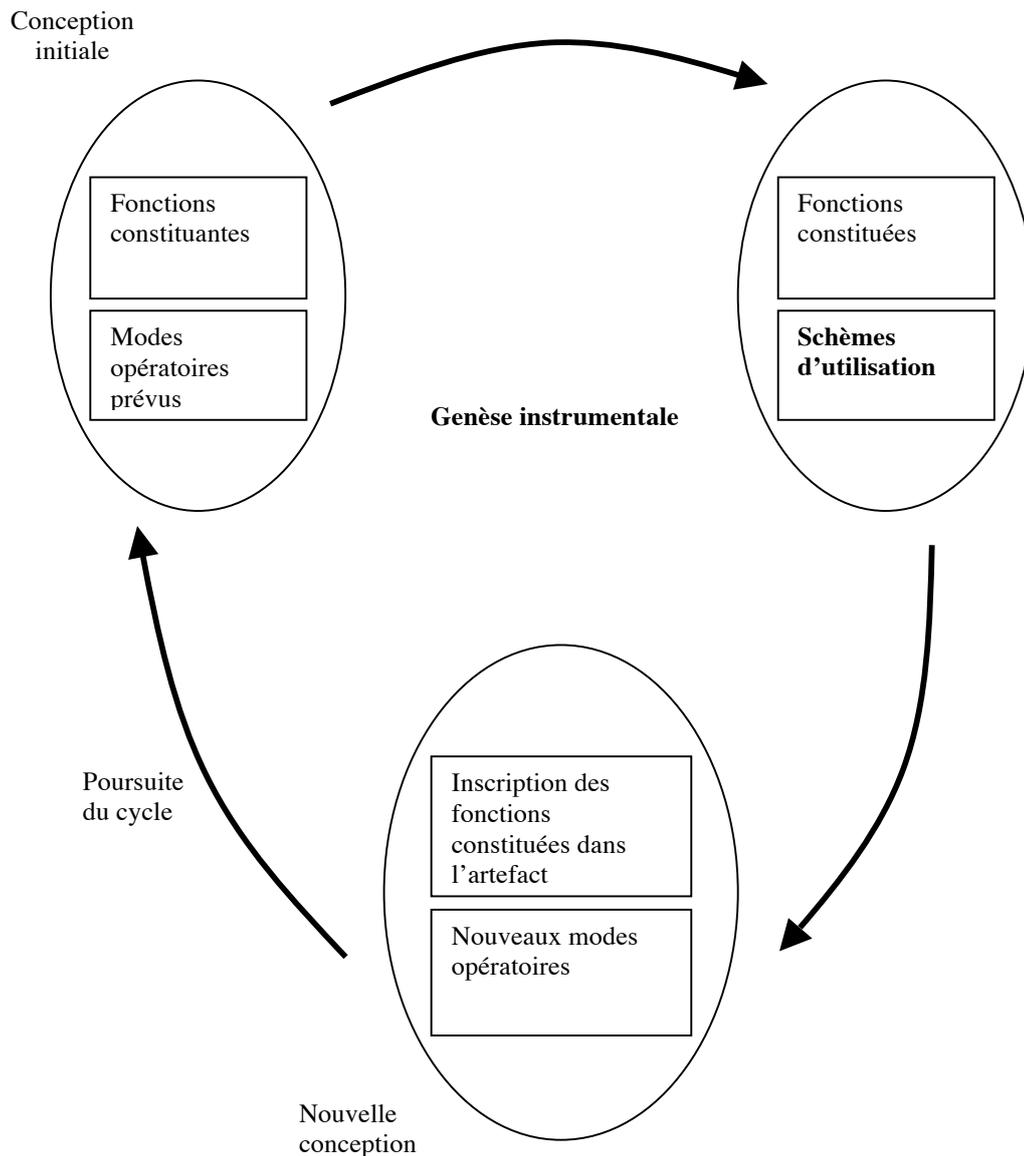


figure 15 : *Processus de genèse instrumentale* (Contamines & al 2003).

Pour Rabardel (1999) « l'instrument constitue pour le sujet un ensemble de contraintes qui s'imposent à lui et qu'il doit gérer dans la singularité de chacune ses actions ». Des contraintes qui sont différentes suivant les types d'activité et selon les artefacts. Au niveau des dispositifs informatiques, par exemple, Trouche (1997, p. 127) a distingué trois types de contraintes qui pèsent sur l'utilisateur :

- « des contraintes internes (liés de façon intrinsèque au matériel : limitation de logiciel, limitation de la mémoire, nature de l'écran composé d'un nombre fini de pixels) ;
- des contraintes de commandes (liées au choix du constructeur : certaines commandes sont préprogrammées, d'autres non) ;
- des contraintes d'organisation (liées aussi au choix du constructeur : l'organisation du clavier, de l'écran instaurent une hiérarchie entre les différentes commandes disponibles) ».

Il estime également que :

« Cette typologie permet d'analyser les contraintes d'un outil ; elle permet de contrer l'illusion d'une neutralité des artefacts en débusquant certains choix des concepteurs. Elle permet aussi d'anticiper et de mieux comprendre certains phénomènes didactiques » (Trouche 2003).

II-4-4 Genèse instrumentale de ressources pédagogiques

Précisons d'emblée que l'étude de l'usage des ressources pédagogiques s'inscrit dans une perspective instrumentale qui, pour Guin & al (2005), « *semble particulièrement pertinente pour la conceptualisation de la notion de ressource pédagogique* ».

Précisons, également, que la notion de *ressource pédagogique* s'inscrit dans un large cadre de *ressources éducatives* comme le décrivent Contamines & Hotte (2005) :

« Le concept de ressources éducatives hérite d'une perspective historique forgée au cours d'une longue pratique artisanale où l'enseignant invente ces propres outils : guide, baguette, gabarit, texte et autres, pour satisfaire un besoin immédiat de sa pratique sans nécessairement que la fabrication de l'outil soit soutenue par une intention de réutilisation. Le concept de ressources éducatives englobe, de manière large, toute forme de ressources humaines et matérielles mises en œuvre par l'enseignant ou par le système éducatif pour améliorer l'apprentissage. Cette ressource peut prendre la forme d'un texte ou d'une image, de même que de sites Web, de vidéos, d'animations, de messages audio, de photos ou de présentations. Elle peut aussi être le parent ou l'expert, la communauté familiale ou sociale - le village ou le quartier - de l'apprenant ou, encore, le musée ou la grande bibliothèque de la ville ».

Dans cette perspective théorique, les usagers pourront être soit une communauté d'enseignants, soit un enseignant dans sa classe. L'artefact, selon l'utilisateur et les types d'utilisation, pourra être un vivier de ressources, une ressource pédagogique ou un modèle de ressource. Précisons, également, que l'on se situe dans une approche instrumentale des ressources pédagogiques avec, en arrière plan, trois concepts clés :

- D'abord la médiation instrumentale qui, pour Rabardel (1999) :

« [...] apparaît un concept central pour penser et analyser les modalités par lesquelles les instruments influencent la construction du savoir ».

Dans le cadre de la formation des enseignants à partir des ressources pédagogiques, les médiations instrumentales se font à deux niveaux : d'abord le tuteur qui utilise, principalement, les ressources pédagogiques pour organiser la *collaboration* (§II-3-2) entre enseignants stagiaires pour leur formation ; ensuite, chaque stagiaire à la suite de sa formation ou au cours de sa formation utilise la ressource pour « faire son cours ». Cette ressource a pour objectif d'aider l'enseignant stagiaire à organiser son activité de classe et à mieux prendre en charge le *moment d'évaluation* (§II-1-2f). La (figure 16) traduit les différentes médiations : le tuteur et les stagiaires, de façon collaborative, sont en relation médiée par un vivier de ressources pédagogiques, chacun d'eux a également des relations médiées à ses objets d'activités. L'instrument est aussi médiateur dans les rapports à soi-même. Dans le

cadre de la formation des enseignants, une réplique des différentes formes de liens, traduisant les médiations entre tuteur et enseignants, réapparaît également en classe entre enseignant et élèves.

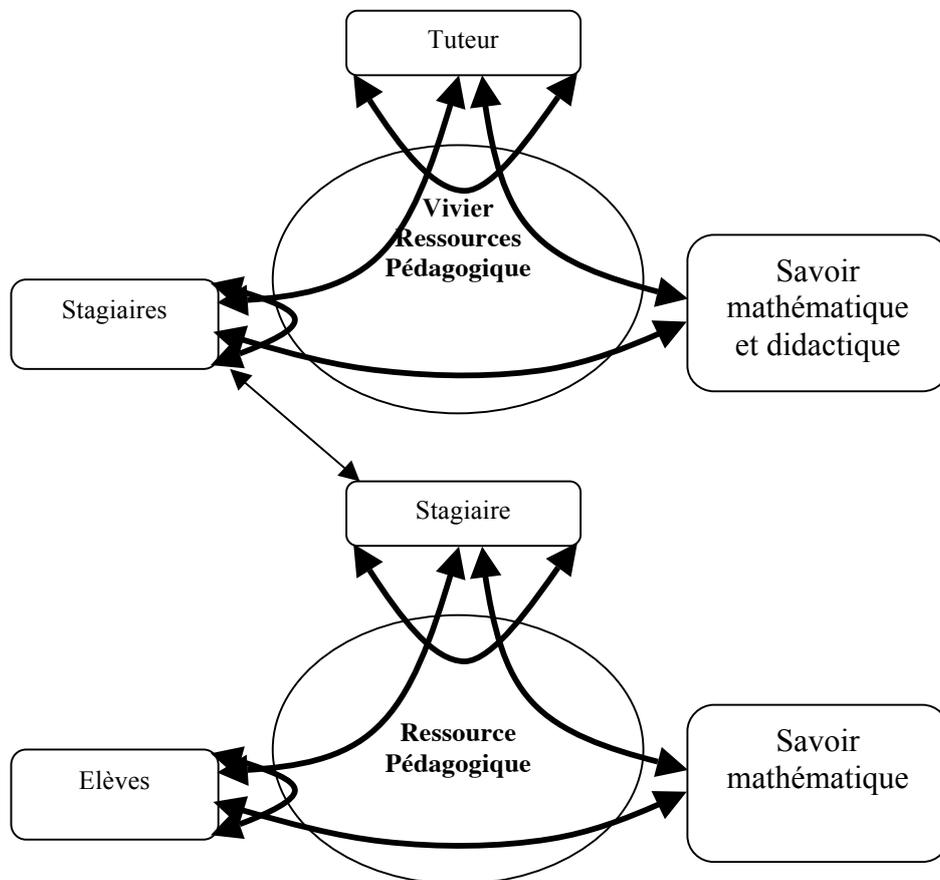


figure 16 : Schéma fractal représentant les différentes médiations du tuteur à l'élève en passant par le professeur.

Nous traduisons cette disposition fractale des médiations en une disposition qui implique davantage les tuteurs dans leur rôle de formateur (figure 17). Le tuteur sera un tuteur proactif, c'est-à-dire qu'il doit non seulement répondre aux difficultés des apprenants, mais anticiper sur certaines difficultés afin de réguler les perturbations éventuelles, pour Duplâa & al (2003) le tuteur dit *proactif* :

« [...] interviendrait dès la conception (des ressources pédagogiques). En collaboration avec l'expert des contenus, il déterminerait les nœuds difficiles, conceptuels et stratégiques de la ressource ou des activités. Ensuite, dans la phase de mise en œuvre, **cet acteur serait proactif** en provoquant des réflexions et débats sur des nœuds difficiles, conceptuels ou stratégiques. Il interviendrait en fonction du cheminement des apprenants dans leur parcours pédagogique : quand des apprenants auraient majoritairement lu une ressource, il pourrait poser des questions qui amèneraient les apprenants à se positionner sur les nœuds explorés, en enrichissant et argumentant à l'aide d'autres ressources (personnelles, liens Internet, etc.). Une fois le débat lancé le tuteur animerait les réponses, articulerait, soulèverait les oppositions, et pourrait relancer si besoin est. Ainsi il s'assurerait de l'apprentissage effectif réalisé ».

(nos soulignements)

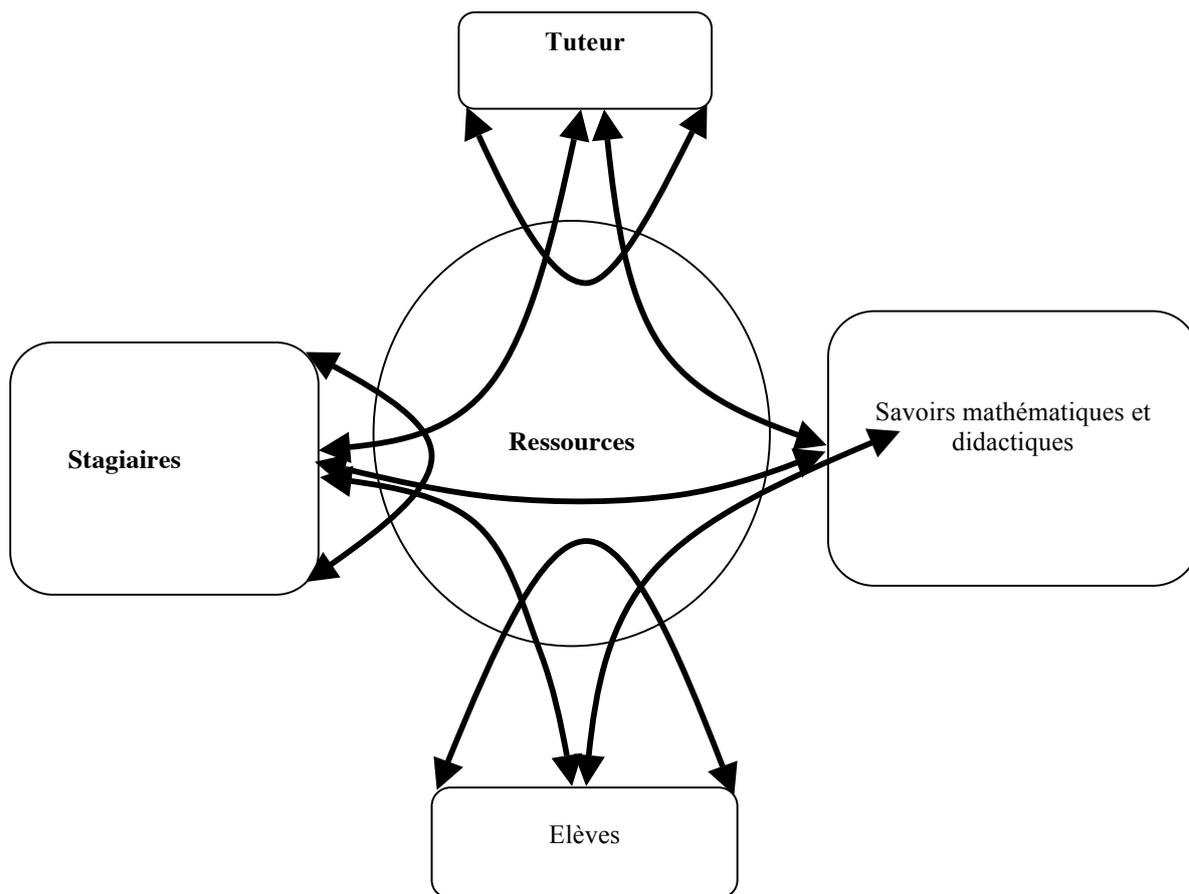


figure 17 : Les principales médiations instrumentales entre tuteur proactif, professeur et élève à partir d'une ressource pédagogique.

- Ensuite, la notion de schème dont l'identification est cruciale pour l'évaluation des apprentissages instrumentés (Guin & Trouche 2005). Parce que, d'une part, les schèmes avec l'artefact sont constitutifs de l'instrument et, d'autre part, parce que c'est au cours de l'utilisation d'un outil que les schèmes guident les *gestes* et, à partir de là, naissent les savoirs faire de l'apprenant. Dans une perspective de formation continue d'enseignants à partir de ressources pédagogiques l'étude de l'émergence des schèmes d'utilisation doit prendre en compte les formes de collaboration entre pairs. Ainsi, le travail ne se limite plus à l'activité d'un enseignant singulier avec une ressource mais à la communauté avec un « vivier de ressources » qu'elle utilise. Ce qui pose le problème du décryptage de l'évolution des sens que la communauté se construit au cours des usages. Contamines & al (2003) proposent la notion de *champ instrumental collectif* pour étudier, a posteriori, l'utilisation d'une ressource par une communauté de pratique.

« La ressource, en tant qu'objet matériel, prend divers sens selon les usages et les usagers. Alors que le concept de champ instrumental proposé dans l'approche instrumentale permet de regrouper les différents sens que peut prendre un artefact pour un individu dans le cours de son action, nous proposons la notion de champ instrumental collectif pour rendre compte des différents sens que peut prendre une ressource éducative au sein d'une communauté de pratique [...]. La notion de champ instrumental collectif permet de rendre compte, a posteriori, du degré d'utilisation de la ressource éducative ».

Ainsi les concepteurs, au moment de l'élaboration de ressources ou de modèles de ressources, doivent essayer de prendre en compte les types d'utilisation.

- Enfin, la non permanence des instruments qu'il s'agisse de ressources pédagogiques ou de modèles de ressource. Ceux-ci, comme tous les outils évoluent au cours des usages. Ainsi, devient-il illusoire de parler de ressources idéales ou d'un modèle idéal, il faut parler plutôt des ressources ou modèle à adapter et donc capables d'évoluer ; ce qui justifie la critique de Contamines & al (2003) du schéma LOM (*Learning object metadata*) qui a fourni un schéma conceptuel de ce qu'est une ressource éducative et qui a défini la structure des métadonnées qui décrivent ces ressources. Contamines & al (2003) critiquent à partir des catégories du schéma LOM :
 - l'aspect statique de la description, ce qui contredit le caractère évolutif d'une ressource éducative ;
 - l'aspect objectif de la description ce qui n'aide pas, selon l'approche instrumentale, à donner une place aux éléments subjectifs ;
 - une logique d'utilisation a priori qui ne laisse pas de place à une différenciation entre une logique d'utilisation et les logiques des usages ;
 - peu de place est accordée aux usages réels et c'est surtout l'accent sur l'utilisation possible qui est mis.

Contamines & Hotte (à paraître) précisent que :

« Les caractéristiques pertinentes d'une ressource éducative conceptualisée selon l'approche instrumentale sont sa capacité à évoluer et sa dimension subjective. D'une part, il n'y a pas de permanence de l'instrument. Une description de la ressource n'est toujours qu'une photographie, soit une coupe transversale de l'histoire de la ressource. D'autre part, la dimension subjective, c'est l'identité du concepteur au moment de la création et aussi du prescripteur à des fins d'utilisation de la ressource perçue comme utiles aux acteurs dont il instrumente les activités ».

Nous disons, comme Crozat (à paraître), qu'il n'y a pas de ressource « idéale » (ou générique) et qu'il ne peut y avoir que des ressources à *adapter*. La non permanence des ressources ou de modèles de ressources doit surtout être mise en avant au cours de leur conception. Cela conduit à une conception prenant largement en compte les processus d'instrumentalisation. Une approche où, selon Beguin & Rabardel (2000) :

« Les objets techniques sont délibérément conçus à partir de l'activité de l'utilisateur et pour être au service de leur activité [...]. Elle se fonde sur une approche psychologique de l'instrument où ces derniers ne sont pas uniquement appréhendés comme des objets matériels mais comme des réalités psychologiques et sociales ».

Une conception anthropocentrée de modèles de ressource ou de ressources suppose que l'outil soit à même de recueillir des propositions de modifications faites par les enseignants et de permettre aux concepteurs d'intégrer les usages. D'ailleurs, pour Beguin & Rabardel (ibidem) :

« La conception d'un outil doit être appréhendée comme un processus cyclique, d'usage et de recherche de solutions techniques à l'occasion duquel il faut mettre en résonance l'inventivité des utilisateurs et celle des concepteurs. Plusieurs pistes peuvent être évoquées dans ce contexte [...]. La première consiste à intégrer les genèses instrumentales dans le processus de conception afin d'organiser des alternances, voir des imbrications, entre des phases de conception institutionnelles et des phases de conception dans l'usage ».

L'objectif est, ici, de faire correspondre l'objectif de formation, l'offre de formation et les usages réels. Ce travail est souvent très difficile. En effet, l'offre de formation et l'usage que les enseignants font des ressources sont parfois disjoints. Le tuteur ou l'enseignant ne doit pas se limiter à proposer des ressources mais il doit anticiper sur leur utilisation réelle en vue d'obtenir, chez les apprenants, la construction de schèmes conformes à ses objectifs d'apprentissage. Ainsi, pour Rabardel (1999) :

« L'artefact est socialement conçu pour remplir un ensemble de fonctions : il possède par construction et du fait des usages réels dans la société, une zone « **fonctionnelle socialement définie** ». Mais la valeur fonctionnelle des artefacts développables par les genèses instrumentales ne s'inscrit pas toujours dans cette zone, comme en témoignent les catachrèses et détournements d'objets. L'ensemble des valeurs fonctionnelles potentielles d'un artefact (à un moment donné, pour des sujets donnés) définit une zone : la « **zone fonctionnelle potentielle** » de l'artefact, qui recouvre partiellement, mais seulement partiellement, la première. Enfin, une troisième zone fonctionnelle correspond **aux instruments réellement développés** par les sujets (apprenants et enseignants) au cours des genèses instrumentales. Ceci a une grande importance au plan didactique car cela signifie qu'à partir des mêmes artefacts de multiples instruments peuvent être constitués à la fois par les apprenants et par les enseignants ; instruments dont les effets sur les processus d'apprentissage peuvent être profondément différenciés, pour le meilleur [...] ou pour le pire. L'usage didactique des artefacts ne se limite pas au choix d'introduction de tel ou tel d'entre eux dans le processus formatif. Il suppose également que **l'enseignant anticipe et gère leurs développements instrumentaux**, c'est-à-dire définit la zone fonctionnelle qu'il souhaite voir effectivement développée par ses élèves, compte tenu de ce dont ils sont capables, des schèmes construits ou à construire et en fonction des objectifs didactiques qu'il se donne. Cela implique aussi que l'enseignant gère les développements instrumentaux réels ».

(nos soulignements)

La (figure 18) récapitule les différentes zones de valeurs d'un artefact.

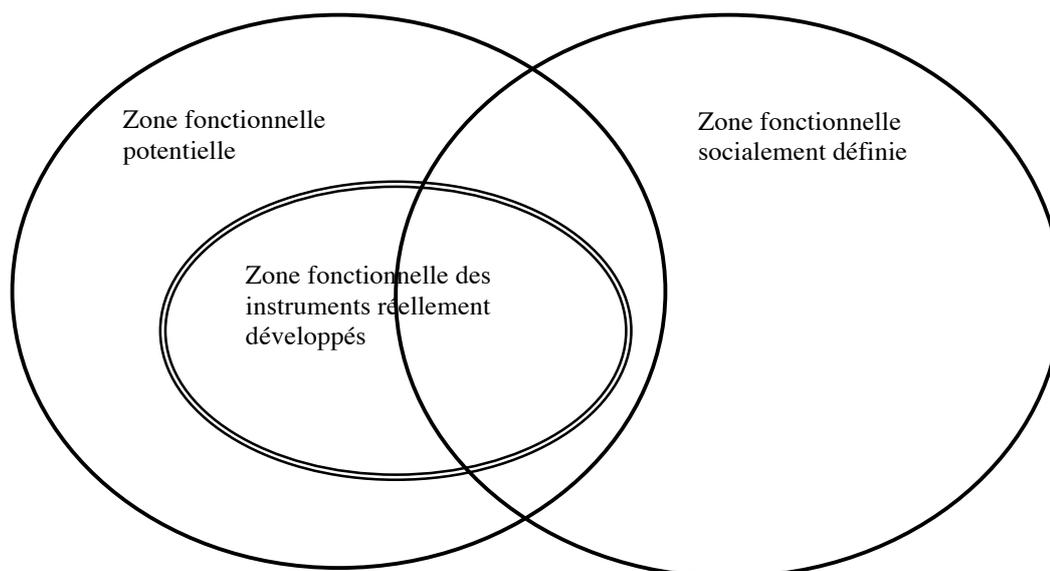


figure 18 : Les différentes zones de valeur fonctionnelle d'un artefact (Rabardel 1999).

II-4-5 Approche instrumentale étendue

Ce travail est une tentative d'articulation de plusieurs cadres théoriques féconds au niveau des théories didactiques et des théories de l'apprentissage : la théorie des situations didactiques, la théorie anthropologique et l'approche instrumentale des outils.

Nous nous situons d'abord dans une perspective de complémentarité de deux théories fondamentales en didactique des mathématiques : la théorie anthropologique et la théorie des situations didactiques. D'ailleurs, Chevallard (1992a) précise, en ces termes, le caractère complémentaire de ces deux approches en didactique des mathématiques :

« A priori, la théorie des situations didactiques (TSD) apparaît comme un complément de la théorisation présentée (la théorie anthropologique du didactique (TAD)), en venant occuper, dans la cartographie que je m'efforce d'esquisser, un lieu laissé jusqu'ici en blanc. Inversement, la théorie que je présente permet de situer la théorie des situations didactiques dans un espace théorique plus large [...]. Cette théorisation (la TSD) tend à privilégier le point de vue de l'économie et à laisser un peu en retrait le point de vue de l'écologie des systèmes didactiques. Ou, plus concrètement, elle tend à se centrer sur le fonctionnement, laissant un peu de côté l'étude des conditions de possibilité de ce fonctionnement [...] ou encore [...] Guy Brousseau me paraît « obsédé » par les conditions de bon fonctionnement des systèmes didactiques ; je suis, quant à moi, davantage fasciné par l'étude des conditions possibles de leurs fonctionnement, tout court - bon ou moins bon ».

Ainsi, nous tentons d'articuler les outils de la TSD avec d'autres outils de la TAD. Au niveau de la TSD, nous utiliserons plus particulièrement la notion de *milieu*, en particulier le développement fait par Margolinas (2004) et Bloch (2000) (§II-3-1).

Nous précisons, également, que cette partie sera faite dans le cadre d'une *approche instrumentale étendue* au sens où les artefacts considérés pourront être matériels, symboliques ou conceptuels. Ainsi, les outils conceptuels seront étudiés au même titre que les outils matériels ou symboliques. En effet, selon Rabardel (2002) :

« Une théorie instrumentale étendue doit avoir pour objectif de rassembler et d'organiser en un ensemble cohérent (mais pas nécessairement non contradictoire) ce que nous savons aujourd'hui de l'activité humaine considérée sous l'angle de ses moyens, de quelques natures qu'ils soient, c'est-à-dire des instruments que les sujets s'approprient, élaborent et mobilisent au sein de l'activité, des actions et opérations en tant que médias de leur réalisation ».

Dans ce qui suit, nous allons essayer, d'une part, de définir ce que nous entendons par *genèse instrumentale du milieu* et, d'autre part, nous essayerons d'étudier les conditions d'organisation de système d'instruments combinant des outils conceptuels et des outils matériels en vue de favoriser des apprentissages.

a) *Genèse instrumentale du milieu*

Nous avons déjà eu à préciser que *le milieu du professeur* est caractérisé par la situation qu'il a mise en oeuvre pour l'élève et l'ensemble des procédures, essais, erreurs de l'élève. La description de la genèse instrumentale du *milieu du professeur*, à partir de l'activité d'un professeur, se fera en trois étapes : une première étape où nous privilégierons les médiations instrumentales ; une seconde étape où nous tenterons d'explicitier la différence entre un milieu artefact et un milieu instrument et, enfin, une troisième étape où nous essayerons de montrer la non permanence de l'instrument milieu.

- *Les médiations instrumentales*

« Vygotski développe le concept d'instrument psychologique comme médiateur entre sujet et lui-même et les autres sujets. L'instrument psychologique constitue, à ce moment du développement de sa pensée un type d'instrument particulier correspondant à des artefacts spécifiques (plans, langages, signes, schémas...). Il nous semble qu'il est nécessaire de dépasser ce caractère trop limité de cette conceptualisation en distinguant plusieurs directions de la médiation : le rapport médié à l'objet d'activité externe (qui chez Vygotski caractérise l'instrument technique ou matériel), le rapport médié à soi-même et aux autres, caractéristiques pour l'auteur, de l'instrument psychologique. Nous avançons l'idée que ces différents rapports sont susceptibles d'être coprésents comme potentialité médiatrice de tout instrument et comme composante de toute activité instrumentée » (Rabardel 2002).

Lorsqu'un professeur tente de mettre en oeuvre une situation pour que ses élèves apprennent, au même moment, l'organisation du milieu doit faire apparaître, pour lui, les *quatre types de médiations instrumentales (épistémique, pragmatique, réflexive et interpersonnelle)* (§II- 4-3) :

- la première est **la médiation épistémique** qui est orientée vers la connaissance de l'objet. Nous estimons que dans l'organisation et la structuration du milieu il y a nécessairement une médiation épistémique. En effet, soit l'enseignant utilise des

connaissances qui ont fait leurs preuves dans d'autres situations pour gérer la situation présente, soit il en construit d'autres pour ne pas lâcher prise et laisser la gestion du temps didactique à la merci des élèves ; dans les deux cas, il y a médiation épistémique orientée vers la connaissance du milieu ;

- la seconde médiation est la **médiation pragmatique** qui, elle, est orientée vers l'action. L'action de l'enseignant dans le milieu se lit à deux niveaux. D'abord au niveau de sa situation objective où le professeur fait surtout des efforts pour ne pas agir. C'est tout le paradoxe du *contrat didactique* :

« Le contrat didactique met le professeur devant une véritable injonction paradoxale. Tout ce qu'il fait pour faire produire, par l'élève, les comportements qu'il attend tend à priver ce dernier des conditions nécessaires à la compréhension et à l'apprentissage de la notion visée : si le maître dit ce qu'il veut il ne pourra pas l'obtenir (premier paradoxe didactique). Mais l'élève est lui aussi devant une injonction paradoxale : s'il accepte, selon le contrat, que le maître lui enseigne les résultats, il ne les établit pas lui-même et, donc, il n'apprend pas les mathématiques, il ne se les approprie pas. Apprendre implique pour lui de refuser le contrat mais aussi d'accepter la prise en charge. L'apprentissage va donc reposer, non pas sur le bon fonctionnement du contrat, mais sur ses ruptures » (Brousseau 1996).

Ensuite, cette action se lit également au niveau du milieu de référence avec une manifestation et une construction de connaissances du professeur. En effet, selon Bloch (2000), le professeur devra prendre des décisions dans cette situation a-didactique (engager un débat, favoriser une formulation, faire traiter un exemple ou un contre-exemple...), c'est-à-dire anticiper, choisir, mettre en relief une propriété. Or, pour effectuer ces choix, ces anticipations, il doit mettre en oeuvre des connaissances mathématiques et didactiques pour pouvoir déterminer les conséquences de ses actions ;

- la troisième médiation est la **médiation réflexive** (§II-3-2) qui est orientée vers le sujet lui-même. Elle est présente dans ce que Chevallard (1999) appelle le **moment de l'évaluation** (§ II-1-2). C'est le moment dit-il où le professeur fait le point : le moment de réflexivité. C'est le moment où l'on examine ce que vaut ce qui a été appris. Pour l'auteur, l'opération d'évaluation doit être entendue en un sens plus large : que vaut l'organisation mathématique qui s'est construite et institutionnalisée. Au-delà de l'interrogation sur la maîtrise d'une technique par exemple, on doit s'interroger également sur la technique elle-même. L'évaluation doit être également réformatrice, dans le sens où elle relancerait l'étude, susciterait la reprise de tel ou tel moment et, peut être, de l'ensemble du parcours didactique ;
- la quatrième médiation est la **médiation interpersonnelle** qui se réalise entre les sujets. Dans la classe, cette médiation interpersonnelle se fait avec tous les élèves afin de faciliter les interactions entre élèves tout en essayant de prendre en compte la singularité du travail de chaque élève. Pour Bloch (2000) :

« D'une certaine façon, on peut dire que le professeur, lui, joue « contre » l'élève et le milieu de l'élève : le système antagoniste du professeur, c'est le

couple élève/milieu de l'élève. A chaque coup, la réussite est sanctionnée par la réaction de ce couple ».

- **La distinction, pour le milieu, entre un artefact et un instrument**

Nous avons déjà eu à préciser la différence entre un artefact et un instrument (§II-4-3). L'instrument c'est une composante artefact (un artefact, une fraction d'artefact ou un ensemble d'artefacts) et un ou des schèmes associés d'utilisation. La description de schèmes d'organisation du milieu par le professeur s'appuie sur l'analyse faite sur le milieu du professeur (§II-3-1) et sur les types de tâches et techniques de l'enseignant décrits (§II-3-3). Cette analyse permet de déterminer des indications relatives aux invariants opératoires caractéristiques de ces schèmes.

- **La non permanence du milieu**

La genèse instrumentale est composée de deux processus en interaction. L'un est dirigé vers le sujet, c'est le processus d'instrumentation, et l'autre vers l'artefact, c'est le processus d'instrumentalisation. Lorsqu'un enseignant essaye d'organiser un milieu pour ses élèves, le processus de genèse instrumentale est très complexe. Nous estimons que cette genèse ne doit pas être perçue comme une juxtaposition de genèses des milieux M_i , où M_i représente le milieu didactique, le milieu d'apprentissage, le milieu de référence, le milieu objectif ou le milieu matériel (§II-3-1). Ce processus, au-delà de son aspect cyclique au niveau de la genèse de chaque milieu M_i , se fait sous forme de spirale où chaque étape est partie prenante de l'étape supérieure. Nous la représentons sous forme matricielle (figure 18) où chaque ligne i désigne un processus cyclique de la genèse d'un milieu M_i où m_{i1} représente son état initial (conception initiale de la (figure 15)) et son état final correspond à m_{i3} (nouvelle conception de la (figure 15)). Le passage de m_{i1} à m_{i3} sera le résultat d'une boucle comme décrit par la (figure 15) avec m_{i2} qui correspond à l'étape intermédiaire (de la (figure 15)). Pour suivre l'évolution cyclique, précisons que m_{i3} devient par la suite $m_{i+1 1}$ c'est-à-dire l'état initial de M_{i+1} .

$$\begin{pmatrix} \vdots & & \\ m_{-11} & m_{-12} & m_{-13} \\ m_{-21} & m_{-22} & m_{-23} \\ m_{-31} & m_{-32} & m_{-33} \end{pmatrix}$$

figure 19 : Genèse instrumentale du milieu.

Ainsi pour chaque m_{i1} , $i > 3$ les fonctions constituantes du milieu sont $m_{i-1 3}$ et l'activité effective de l'élève E_i en interaction avec $m_{i-1 3}$ (m_{-31} étant le milieu matériel). Les connaissances manifestées ou utilisées par le professeur pour gérer le milieu forment une preuve de son bon niveau d'instrumentation ; il y a eu émergence des schèmes décrits précédemment.

Il est évident que les situations ne se déroulent pas toujours comme elles ont été prévues. Le professeur peut prendre conscience des limites de son projet et le modifie. Il peut aussi, en fonction de la réaction d'un élève ou d'une partie de la classe, réorganiser la situation à d'autres fins, par exemple résoudre des interrogations qui n'étaient pas prévues dans son projet. Dans les deux cas, il y a eu ce que (Margolinas 2004) appelle *une bifurcation didactique*. La gestion adéquate de cette phase de bifurcation didactique témoigne, pour l'enseignant, de son bon niveau d'instrumentalisation du milieu.

Cette tentative de théorisation d'une genèse instrumentale du milieu nous paraît très importante :

- d'une part, elle favorise le dialogue entre des approches différentes mais qui, pour nous, sont complémentaires et leur articulation peut faciliter leur utilisation en didactique des mathématiques ;
- d'autre part, avec le développement de plus en plus important de ressources sur Internet, les concepteurs et utilisateurs doivent savoir qu'un milieu est une proposition, un artefact. En conséquence, toute tentative de scénarisation d'une séquence d'enseignement peut poser un problème de reproductibilité. L'enseignant concepteur de la ressource doit essayer de tenir compte des usages : une conception anthropocentrée où l'on a pensé à recueillir des propositions de modifications faites par les enseignants et à intégrer les usages dans l'outil. Si, dans la sphère économique la qualité est liée à la satisfaction du client et au renouvellement de ses commandes, dans le domaine de l'enseignement, le renouvellement de commande est normalement facteur d'échec. Le client, utilisateur de la ressource doit se mettre dans la peau de l'ingénieur et essayer d'adapter les ressources en fonction de ses besoins. Il doit surtout savoir qu'il n'y a pas de ressource parfaite et qu'il ne peut y avoir que des ressources à adapter.

b) Condition de viabilité d'une orchestration instrumentale

Dans cette partie, les outils conceptuels seront étudiés, au même titre que les outils matériels ou symboliques, dans un ensemble articulé appelé systèmes d'instruments. D'ailleurs, Trouche (2003) a déjà fait le rapprochement entre un système d'instruments, défini par Rabardel comme résultant, pour un individu, d'une genèse instrumentale combinant un ensemble d'outils, et un système de travail que Chevallard définit comme un système de travail sur les outils du travail mathématique. Pour une gestion didactique des artefacts et assister les apprentissages et les genèses instrumentales, Trouche (2003) propose la notion d'*orchestration instrumentale*. Pour lui :

« Une orchestration instrumentale prend en compte la nécessité de guider les apprenants dans les genèses instrumentales et dans l'évolution et l'équilibrage de leurs systèmes d'instruments. Elle est définie par des *configurations didactiques* (c'est-à-dire des *agencements* des artefacts de l'environnement, correspondant à chaque phase d'une situation), leurs *modes d'exploitation* et leur *articulation*. La conception d'une configuration didactique répond à des objectifs didactiques : des objectifs principaux, fondant la nécessité de cette configuration et des objectifs secondaires, liés aux modes d'exploitation choisis ».

Nous estimons que la première condition, pour une orchestration instrumentale, est la maîtrise des rapports entre les instruments et l'articulation des genèses entre les types d'instruments (matériels et conceptuels). Soit, par exemple, la construction d'une médiatrice dans une classe ; l'enseignant doit savoir que suivant qu'il utilise l'équerre ou le compas, il construit, sur le plan cognitif des objets mathématiques différents. Avec le compas, il construit un ensemble de points équidistants des extrémités d'un segment et avec l'équerre, il construit une droite qui passe par le milieu du segment et qui lui est perpendiculaire. Si l'enseignant utilise

la règle et le compas en classe pour construire la médiatrice d'un segment, il aura à travailler avec au moins deux d'artefacts matériels (le compas et la règle) et deux artefacts conceptuels (le cercle et la droite). La genèse des outils conceptuels fournit une caractérisation de la médiatrice et la genèse des outils matériels permet la réalisation de l'oeuvre. Les genèses instrumentales de ces deux sous-systèmes d'outils se faisant en interaction, l'instrument construit par l'élève devient une fusion des deux genèses instrumentales (figure 20). L'enseignant choisit un écartement du compas qui lui est dicté par une propriété sur les cercles. Il sait que : étant donnés deux cercles si la distance entre les deux centres est plus grande que la somme de leur rayon, alors les cercles ne seront pas sécants. A partir des deux sommets du segment et avec le même écartement, il trace deux demi-cercles qui se rencontrent. La même méthode est reprise pour construire un second point. Le choix de deux points est nécessaire pour tracer la droite. L'élève qui ne connaît pas les propriétés sur les cercles passe par des *essais-erreurs* jusqu'à trouver un écartement convenable et finit par faire usage d'un (*théorème-en-acte*) que cet écartement doit être plus grand que la moitié de la longueur du segment. Ce schème construit par l'élève avec l'utilisation du compas et de la règle n'est pas comparable à celui qu'il construit en s'appuyant sur les outils conceptuels. Avec les outils conceptuels, l'élève devrait construire un schème relatif à la caractérisation de la médiatrice par l'ensemble des points équidistants des sommets du segment. Il sait en outre que deux points suffisent pour caractériser une droite. Il élabore d'abord une conception théorique de la médiatrice avec les outils conceptuels avant de passer à sa réalisation. L'élève fonctionne ainsi comme un ingénieur concepteur : il articule le « travail sur le papier » et la réalisation de l'oeuvre.

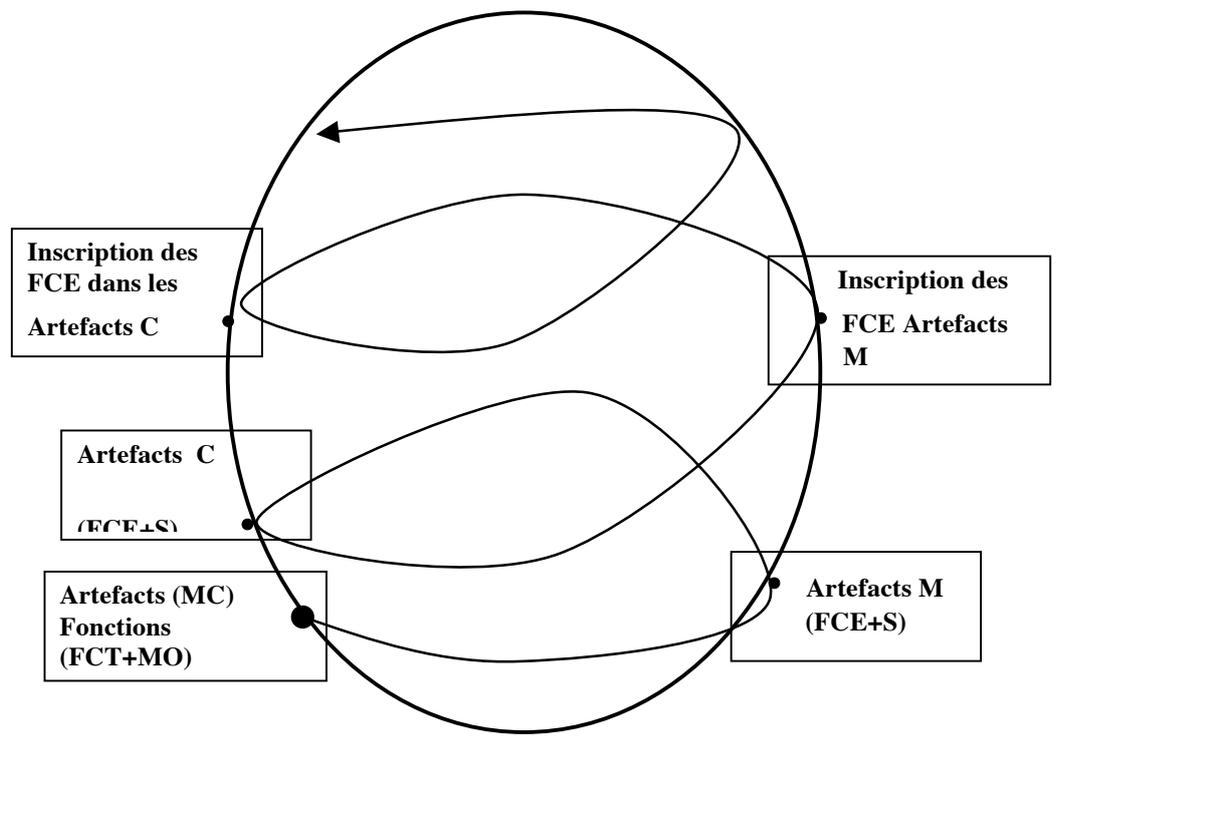


figure 20 : Genèse instrumentale d'un système d'instruments.

Artefacts MC (matériel et conceptuel) ; Artefacts M (matériel) ; Artefacts C (conceptuel) ; Fonctions constituantes et modes opératoires (FCT + MO) ; Fonctions constituées et schèmes (FCE + S).

Observons l'*élève rationnel* et celui dit *bricoleur* de Trouche (2003) lors du calcul de la $n^{\text{ième}}$ dérivée de la fonction f définie sur \mathbb{R} par $f(x) = e^x(x^2 + x + 1)$. Chaque élève dispose d'une calculatrice symbolique TI-92. Le comportement de l'*élève rationnel* laisse penser que la genèse instrumentale d'un système d'outils conceptuels a eu lieu en *articulation* avec la genèse de l'outil matériel qu'est la calculatrice.

« L'élève fait quelques dérivées successives papier/crayon, puis quelques dérivées avec la calculatrice. Tous les résultats sont notés sur le papier. Une conjecture surgit assez vite ! : la dérivée $n^{\text{ième}}$ semble être de la forme $e^x(x^2 + (2n + 1)x + n^2 + 1)$. La preuve est alors apportée grâce à un raisonnement par récurrence, réalisé papier/crayon » (Trouche 2003).

Le comportement de l'*élève bricoleur* est relatif à la genèse instrumentale limitée à l'outil matériel sans prendre en compte les outils conceptuels.

« La fonction est entrée rapidement dans le répertoire de fonctions de la calculatrice. De très nombreuses dérivées successives sont recherchées, jusqu'à ce que l'idée du résultat général émerge. La preuve est alors apportée par l'accumulation de résultats concordants [...]. Tout le travail est réalisé sur machine, sans trace écrite » (Trouche *ibidem*).

Considérons l'utilisation d'une ressource pédagogique par un enseignant pour faire travailler sa classe sur la construction d'un savoir mathématique. On peut considérer que cet enseignant travaille avec un ensemble d'artefacts : la ressource pédagogique et le milieu (entre autres). Posons R et M respectivement l'outil matériel (ressource pédagogique) et l'outil conceptuel (milieu de l'élève) en vue de construire le savoir mathématique en question. Pour un enseignant, la genèse instrumentale de R sera inextricablement liée à la genèse instrumentale de M bien qu'elles soient observées sur des échelles de temps différentes.

La genèse de M se fait au cours d'une séance. L'enseignant propose à ses élèves un type de tâches à la résolution duquel sont associées des techniques relatives à celui-ci. Ce moment d'exploration de type de tâches et de l'élaboration d'une technique relative à ce type de tâches est un des temps forts de l'activité de l'élève. L'organisation des perturbations de l'élève l'oblige à faire intervenir du savoir mathématique ou didactique pour la gestion de M. Ce milieu est alors l'outil avec lequel l'enseignant organise la construction du savoir en jeu.

La genèse de R se fait, elle, au cours de plusieurs séances, de façon cyclique. Pendant chaque cycle, l'enseignant intègre les éléments de genèse du cycle précédent. Après chaque séance, il corrige les erreurs, adapte le temps didactique par rapport à la classe, reformule des énoncés, réajuste le scénario. Mais, tous ces correctifs ne peuvent avoir lieu sans la genèse de M. En somme, l'enseignant intègre la genèse instrumentale du milieu dans la nouvelle version de R et déclenche un processus évolutif de genèse instrumentale avec le système d'artefacts (ressources pédagogiques et concept de milieu).

En se mettant dans une perspective de formation continue, ce travail de l'enseignant avec une ressource pédagogique relève de la gestion d'un système d'instruments. En se mettant dans une perspective plus globale où l'artefact n'est plus une ressource mais un vivier de

ressources utilisées par une communauté d'enseignants en situation d'apprentissage, la question qu'on est en droit de se poser est : comment organiser un dispositif de formation afin de faciliter, chez chaque enseignant, *les genèses instrumentales et l'évolution de ses systèmes d'instruments* ?

Nous faisons l'hypothèse qu'un travail collaboratif d'enseignants autour de la conception de ressources structurées est fondamental pour le développement des *genèses instrumentales*.

III METHODOLOGIE

INTRODUCTION

III-1 CONCEPTION DU MODELE DE RESSOURCES

III-1-1 Processus de conception du modèle de ressources

III-1-2 Rôle et description des différentes fiches du modèle transmuté

III-2 CONCEPTION DES OUTILS D'ANALYSE

III-2-1 Spécification de paramètres de qualité de pratiques enseignantes

III-2-2 Spécification de paramètres de qualité de ressources pédagogiques

III-3 DISPOSITIF DE RECHERCHE

III-3-1 Présentation de la phase d'étude de l'évolution de pratiques enseignantes

III-3-2 Présentation de la phase d'étude de l'évolution de ressources pédagogiques

INTRODUCTION

L'utilisation de ressources pédagogiques pour la formation continue des enseignants demande, dans le contexte sénégalais, la prise en compte de trois types de variables qui entretiennent, mutuellement, des relations et des interactions très complexes. Une étude de ce type de formation demande une étude approfondie de chaque variable et de l'évolution possible des différentes interactions :

- la première variable, celle qui est au centre du dispositif, est le public cible : des professeurs⁹ de mathématiques en exercice qui doivent mener leur enseignement parallèlement à leur formation. La plupart de ces enseignants ont un niveau de formation théorique en mathématiques très faible. En ce qui concerne l'exercice de leur fonction d'enseignant, à côté des vacataires qui enseignent depuis plusieurs années, d'autres viennent tout juste d'avoir leur BAC et enseignent depuis peu ;
- la deuxième variable est l'outil et ses contraintes utilisé pour la formation : des ressources évolutives, conçues et mises à la disposition des enseignants, pour les accompagner dans leur pratique de classe. Chaque ressource comprend des objectifs d'apprentissage pour les élèves et des objectifs de formation pour les enseignants. Elles peuvent être utilisées avec des supports différents. Lors de leur utilisation, ces ressources imposeront aux stagiaires des contraintes qui pèseront sur le déroulement leur activité. Les enseignants réagiront en fonction de leurs pratiques réelles et influenceront ainsi l'évolution des ressources ;
- la troisième variable est l'objet de savoir à enseigner : il s'agit ici de former au métier d'enseignant de mathématiques. Les besoins de formation sont académiques (mathématiques et didactique des mathématiques) et professionnel (tenue d'une classe, organisation du temps d'enseignement et d'apprentissage). Il est essentiel que les enseignants fassent le lien entre les savoirs théoriques et l'activité professionnelle. Ces deux objets de savoir doivent être pris en compte par les ressources et peuvent engendrer des difficultés d'utilisation pour les enseignants.

Après avoir identifié les variables, le travail que nous avons mené apparaît, malgré tout, très complexe aussi bien dans son organisation que pour l'élaboration des outils d'analyse qui seront utilisés. Cette complexité est liée à la nécessité de mettre en place un dispositif qui doit générer des résultats évolutifs. Elle est due également à la difficulté de constituer des outils permettant d'observer les relations dialectiques entre qualité des pratiques enseignantes et évolution des ressources.

Avant d'entreprendre l'étude des interactions entre pratiques enseignantes et ressources pédagogiques, nous avons essayé de concevoir un modèle de ressource adapté aux besoins de formation des vacataires.

Pour mener ensuite l'étude sur les interactions entre pratiques enseignantes et ressources pédagogiques nous avons conçu deux dispositifs complémentaires puis nous avons essayé de faire une synthèse :

- dans le premier dispositif, notre regard est focalisé sur l'enseignant sans perdre de vue les évolutions conjointes des ressources et des pratiques dans le cadre des genèses. Pour étudier l'évolution des pratiques enseignantes liée à l'utilisation des ressources nous avons mis en place un dispositif avec un enseignant vacataire et quatre types

⁹ Nous utiliserons aussi, pour la suite de cette étude, le mot stagiaire pour désigner les enseignants qui participent à l'expérimentation.

d'expérimentations différentes. Pour repérer l'évolution des pratiques enseignantes nous avons essayé d'identifier des paramètres de qualité des pratiques enseignantes. Pour cela, nous nous sommes interrogés à travers les travaux cités (§II-1 et §II-3) sur ce que pourraient être les qualités des pratiques enseignantes. Pour corroborer ces résultats sur des qualités de pratiques nous avons étudié et analysé des rapports d'inspection faits par les inspecteurs de l'académie de Montpellier (en France) et des rapports faits par des inspecteurs de spécialité du Sénégal. Ces paramètres de qualité de pratiques ont permis de repérer les qualités de pratique d'un enseignant au cours de ses différentes expérimentations à l'aide de ressources pédagogiques ;

- dans le second dispositif, nous avons privilégié, pour l'étude des évolutions conjointes, dans le cadre des genèses, l'observation des évolutions des ressources. Nous avons mis en œuvre un dispositif pour étudier l'évolution de deux ressources pédagogiques après un certain nombre d'expérimentations (deux pour chaque ressource). Pour repérer, au cours de l'évolution de chaque ressource, les éléments de qualités, nous avons élaboré des paramètres de qualité de ressources pédagogiques. La détermination de ces paramètres utilise une étude critique du schéma LOM par Contamines & al (2003) à partir d'une approche instrumentale des ressources pédagogiques. Nous avons, également, utilisé des propositions des NORMETIC¹⁰ (2003) sur les ressources numériques. Pour compléter cette étude sur les paramètres de qualité nous avons utilisé un questionnaire adressé aux tuteurs du SFoDEM. Les réponses à ce questionnaire ont contribué à déceler des éléments de qualité de ressources pédagogiques ;
- nous nous sommes interrogés, à travers les travaux cités (§II-4) sur ce que pourraient être des schèmes d'utilisation de ressources pédagogiques par un vacataire. Cette étude sur les schèmes nous a permis de faire une synthèse des deux études précédentes.

¹⁰ Ce sigle signifie NORMes dans le domaine de l'Éducation avec les Technologies de l'Information et de la Communication. Les NORMETIC ont été réalisés par Novasys pour le compte de la Conférence des recteurs et des principaux des universités du Québec (CREPUQ).

III-1 CONCEPTION DU MODELE DE RESSOURCES

Cette étude est surtout axée sur les conditions et les modalités de la transmutation du *modèle du SFoDEM*. Nous présenterons le processus de conception du modèle de ressources pour les professeurs vacataires, résultat d'un processus qui s'est déroulé en interrelation entre des phases d'élaboration de ressources pédagogiques et des phases d'expérimentation. Pour affiner les champs du modèle de ressource, nous avons adressé un questionnaire aux tuteurs du SFoDEM. Les réponses à ce questionnaire ont contribué à préciser les objectifs de certains champs du modèle. Ce travail permet de prendre en compte, dans l'étude de la variable ressource, les types de savoir qu'elle est sensée embarquer et les modalités d'organisation des utilisateurs (les enseignants stagiaires).

III-1-1 Processus de conception du modèle de ressources

On aurait pu lire la « transmutation informatique » en lieu et place de la « transposition informatique » si Balacheff avait lu plus tôt "No passion spent" de Georges Steiner. En effet, pour Balacheff (1998) :

« J'ai choisi cette expression, à la fois en manière de clin d'œil et en forme d'hommage à d'autres transpositions, bien connues de la didactique francophone, mais un autre choix pourrait être fait. J'ai récemment lu un ouvrage d'un distingué universitaire anglais, Georges Steiner de Cambridge (il s'agit de "No passion spent"), qui, lui, ne parle pas de transposition, il parle de transmutation. Steiner est un professeur de littérature comparée et, au fond, quand il parle de transmutation, il emploie une expression beaucoup plus forte et dont on comprend bien qu'elle soit plus forte. C'est peut-être ça qui est en jeu beaucoup plus qu'une transposition qui porte avec elle l'idée d'une relative préservation. Il y a dans le choix du mot "transposition", déjà, une certaine négociation de la distance. La transmutation évoque une modification, peut-être radicale ».

Nous avons, par conséquent, choisi le terme de *transmutation* de modèle parce que l'étude que nous faisons n'exclut pas que le modèle transmuté soit radicalement différent du celui dont il est issu. Nous nous sommes appuyés sur une approche instrumentale pour concevoir à partir du modèle du SFoDEM, un modèle de ressource susceptible de soutenir la formation des vacataires. L'étude est un processus cyclique, d'usage et de recherche de solutions, à l'occasion duquel nous avons essayé d'intégrer les genèses instrumentales des enseignants expérimentateurs. Le modèle est conçu en deux phases (figure 21) :

- dans la *première phase* de cette étude nous avons adopté le modèle du SFoDEM (figure 22). Nous avons élaboré trois ressources qui épousent ce modèle (Annexe 2 ; r11, r21 et r31) que nous avons fait expérimenter par deux vacataires (V1 et V2) et un professeur titulaire (T1). Nous avons assisté à toutes les expérimentations. Nous avons recueilli leurs avis sur la formation et sur les ressources (Annexe 2 ; cr (V1, r11) et cr (V2, r21). Les vacataires ont exprimé le besoin de disposer d'autres méthodes par rapport au contenu que celles proposées dans la fiche professeur, des connaissances leur permettant de les justifier et des explications sur les méthodes d'enseignement. Nous avons interprété leur demande comme un besoin de connaissances théoriques en didactique et en mathématiques qui va au-delà des techniques proposées dans la fiche professeur de la ressource. Le professeur titulaire

estime, lui, que le vacataire comme tout enseignant doit maîtriser ce qu'il enseigne, il doit en connaître plus que ses élèves (Annexe 2 ; cr (T1, r11)). Après analyse des comptes-rendus, nous avons conçu un nouveau modèle (*modèle 2*) qui tient compte des besoins de formation (figure 23). Ce modèle 2 s'appuie sur le modèle 1 avec en plus une fiche de formation qui fait le point sur un *environnement technologico-théorique* relatif aux *techniques* de la fiche professeur et donc aux *types de tâches* (§II-1-1) de la fiche élève. Nous avons élaboré, avant les expérimentations, une grille d'observation de pratique de classe (Annexe 2). Cette grille s'appuyait principalement sur la théorie anthropologique (§II-1). Elle nous a permis d'organiser nos observations, mais sur le plan pratique, elle s'est révélée inadaptée à une utilisation sur le terrain ;

- dans une *deuxième phase*, nous avons repris, à l'aide de ce nouveau modèle, les ressources que nous avons déjà élaborées. Le travail avait surtout pour but une spécification des champs des différentes fiches du modèle. Pour mieux affiner les fiches et les différents champs du modèle 2, nous avons envoyé un questionnaire à des tuteurs du SFoDEM, qui, depuis de nombreuses années, ont capitalisé une forte expérience dans la conception de ressources pédagogiques. Les réponses à ces questions nous ont permis de préciser les objectifs assignés aux différentes fiches et compléter des champs.

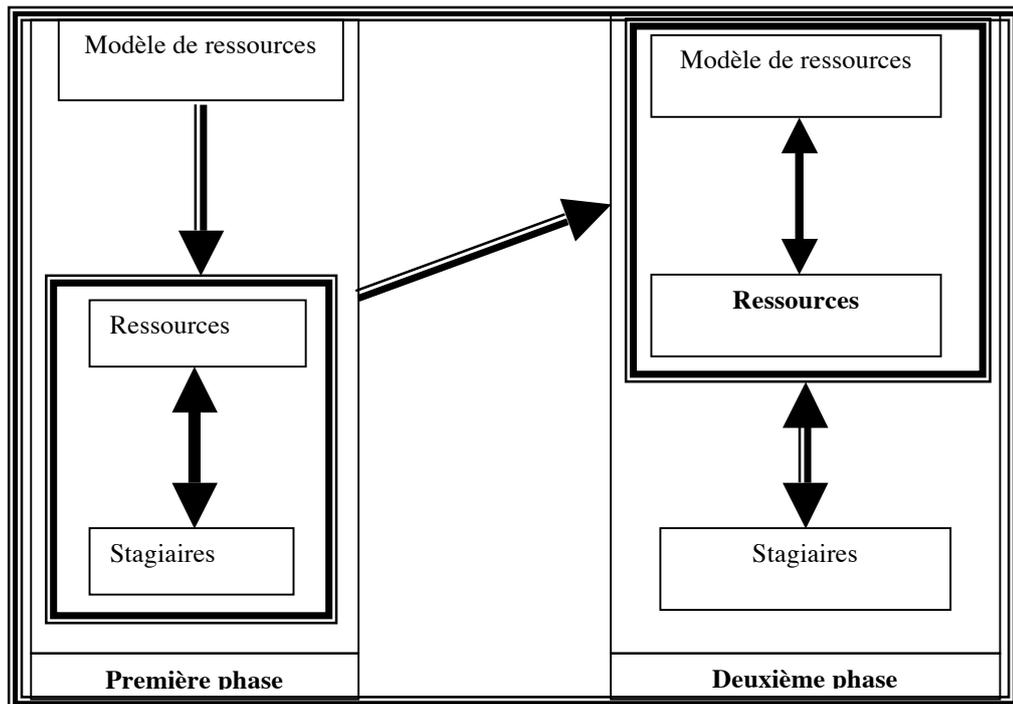


figure 21 : Les phases de conception du modèle de ressource.

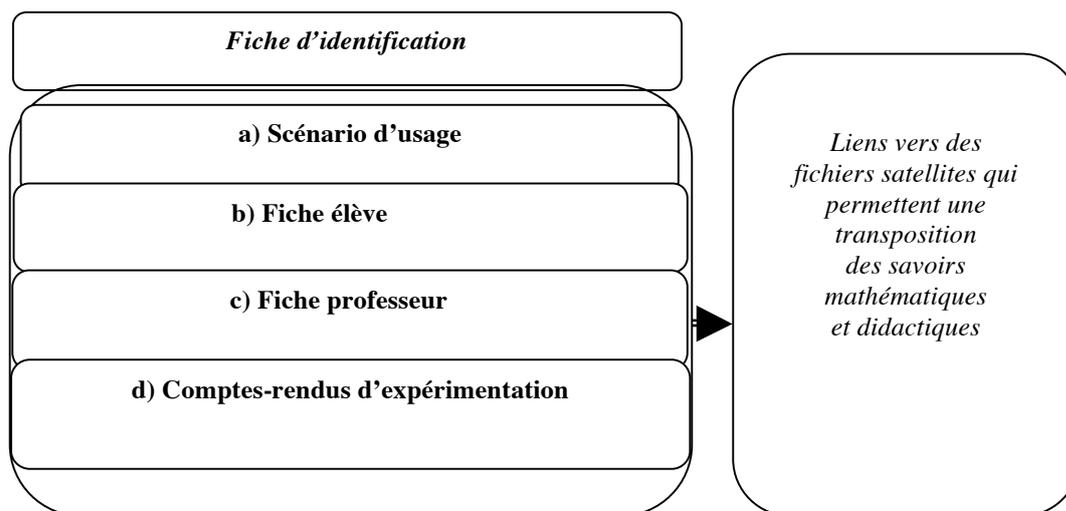


figure 22 : Modèle1 de ressources SFoDEM (2001-2002) (Sokhna, 2002).

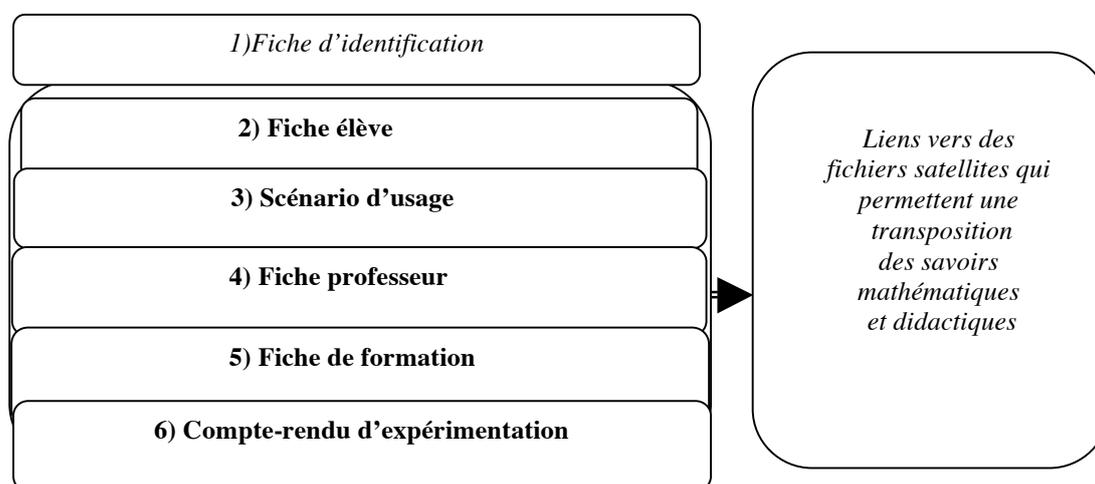


figure 23 : Modèle2 de ressources transmütées de celui du SFoDEM.

III-1-2 Rôle et description des différentes fiches du modèle transmuté

Le modèle transmuté (figure 23) est conçu avec une *fiche d'identification*, une *fiche élève*, un *scénario d'usage*, une *fiche professeur*, une *fiche de formation* et un *compte-rendu d'expérimentation*. Ainsi, les ressources conçues avec ce modèle seraient bien décrites, bien structurées et elles contiendraient des éléments théoriques indispensables, autant mathématiques que didactiques.

1) Fiche d'identification

Elle fait une description brève de la ressource (figure 24). Dans cette fiche, nous avons surtout insisté sur les objectifs d'apprentissage : ce que les élèves doivent retenir de leur apprentissage. En plus des champs proposés par le SFoDEM, nous avons ajouté un champ sur les *objectifs d'apprentissage* pour l'enseignant, en mathématiques et didactique des mathématiques. Ce champ est très important car il permet au vacataire à partir d'un objectif de formation et d'une fiche de formation d'adapter, s'il le souhaite, une ressource pour sa propre formation. Les tuteurs du SFoDEM, qui nous ont suggéré ce champ, le trouvent important au niveau de la fiche d'identification du moment que nous avons ajouté une fiche

de formation dans la ressource. *Nous pensons qu'il manque les objectifs mathématiques et didactiques pour les enseignants* (Annexe 5). Le champ de la fiche d'identification du SFoDEM relatif à la description des outils technologiques est supprimé. En effet, étant donné que l'objectif de cette formation n'est pas une intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques, ce champ apparaît comme superflu pour la formation des vacataires.

Type d'activité :	« Indiquer le type d'activité pédagogique à mener dans la classe : cours (séance d'introduction d'un nouveau savoir, d'élaboration d'une technique....), TD (exercices d'application, d'approfondissement ou de recherche) ».
Niveau :	« Indiquer le niveau scolaire : la classe et la série s'il y a lieu ».
Mots-clés :	« Indique les mots clés significatifs se rapportant au domaine de connaissances ».
Pré-requis :	« Indiquer les connaissances nécessaires connues pour pouvoir aborder les connaissances visées en référence aux programmes officiels ».
Objectifs d'apprentissage :	« Indiquer les objectifs généraux en matière de savoir et/ou de savoir-faire visé par l'activité en référence aux programmes officiels ».
Objectif de la formation :	« Indiquer le type de compétence que le stagiaire doit acquérir (aptitude pédagogique à mettre en oeuvre) ou le type savoir à étudier (savoir mathématique ou didactique) ».
Description de l'activité:	« Indiquer une description succincte du déroulement de l'activité ».

figure 24 : fiche d'identification du modèle 2.

2) Fiche élève

La fiche élève (figure 25) est un document destiné aux élèves et qui est le support de leurs activités au cours de la séance (exercices, travaux pratiques, etc.). L'objectif visé lorsque l'on fait travailler l'enseignant au niveau de la conception de la fiche élève est de l'amener à concevoir et à mettre en œuvre une activité en classe ou à adapter une activité connue. Nous comprenons le contenu de cette fiche comme un type de tâches, ou un ensemble de types de tâches, pour lequel une proposition d'organisations mathématiques et d'organisations didactiques sont spécifiées dans les autres fiches de la ressource. Le concepteur de la ressource doit faire en sorte que les types de tâches soient précis, qu'ils soient en adéquation avec les objectifs du programme en vigueur et qu'ils soient pertinents au regard des besoins mathématiques des élèves. Le champ sur les références est proposé aux élèves pour leur donner les moyens de poursuivre leurs activités, ou de les préparer, en dehors de la classe.

Contenu :	« Indiquer le support de l'activité de l'élève au cours de la séance »,
Références :	« Indiquer le support ou les références (nom d'un manuel et page ou site) de l'activité de l'élève pour la poursuivre ou l'aider à préparer la prochaine séance »,

figure 25 : fiche élève du modèle 2.

3) Le scénario d'usage

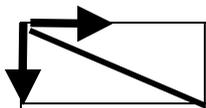
« L'idée de scénario d'usage, qui vise à faciliter l'intégration dans la classe par les enseignants des logiciels éducatifs, est centrale dans ce dispositif. Elle a déjà été exploitée dans le cadre de la formation continue et a créé aux USA un réseau évolutif d'enseignants pour la production de tels scénarios avant que la toile ne soit disponible. C'est de ce premier exemple de dispositif de formation,

pensé dans la durée, que nous nous sommes inspirés dans le SFoDEM » (Guin 2003).

Dans le cadre du SFoDEM, le scénario d’usage a eu surtout pour rôle de faciliter l’intégration de la ressource dans la classe avec une description du déroulement de l’activité en classe en indiquant, pour chaque phase, sa durée approximative, la situation, les tâches à réaliser et les acteurs qui les réalisent, les outils et supports nécessaires (Guin & Trouche 2006). Nous nous situons dans le même cadre mais en prenant en compte le niveau de formation des professeurs vacataires. Ainsi, nous avons ajouté au niveau de chaque étape de la séance les objectifs visés (figure 26). Nous pensons que ce travail de spécification des rôles des uns et des autres à partir des niveaux surdidactiques est très formateur pour l’enseignant surtout lorsqu’on lui offre l’occasion de concevoir des organisations mathématiques et de planifier des organisations didactiques : de se mettre en situation. En effet, pour Chevallard (1997) :

« Les enseignants non seulement doivent maîtriser la ou les disciplines qu’ils enseignent et leur didactique, mais encore connaître les processus d’acquisition des connaissances, les méthodes de travail en groupe, le système éducatif et son environnement ».

Ainsi, pour un enseignant, le travail sur un scénario prenant en charge les organisations didactiques relatives aux types de tâches contenus dans la fiche élève, peut faciliter une maîtrise de sa profession. La conception d’un scénario d’usage devrait donc permettre à un enseignant d’amoinrir fortement les difficultés liées à la mise en œuvre d’une organisation didactique. L’utilisateur d’une ressource trouvera lui, au niveau des différentes étapes du scénario, une description de l’essentiel des différents moments didactiques. Seulement, il serait illusoire d’espérer que ce scénario puisse dédouaner l’enseignant d’un travail personnel de préparation et gestion du milieu de l’élève.



	Durée	Objectif	Organisation	Tâche de l’enseignant	Tâche de l’élève
« Indiquer les différentes étapes de la séance »	« Indiquer la durée de chaque étape »	« Indiquer l’objectif opérationnel visé à chaque étape »	« Indiquer l’organisation de l’espace classe »	« Indiquer ce que doit faire l’enseignant pour la gestion de la classe »	« Indiquer le travail que doivent effectuer les élèves »

figure 26 : scénario d’usage du modèle 2.

4) La fiche professeur

La fiche professeur est un document qui a pour objectif de faciliter pour l’enseignant la mise en œuvre de la ressource dans sa classe. Elle lui permet également de mieux s’approprier le contenu de la ressource aussi bien sur le plan du contenu mathématique que didactique. Elle contient des approches différentes de l’activité de l’élève, des énoncés d’objectifs pédagogiques, des compétences exigibles et des commentaires du programme, quelques descriptions d’organisations mathématiques, des propositions d’organisations didactiques. Relativement aux types de tâches de la fiche élève, cette fiche professeur doit proposer des techniques viables en tenant compte du programme en vigueur. Il ne s’agira pas de proposer des astuces pour une tâche mais des outils intelligibles, constituant de véritables techniques mathématiques relatives à un type de tâches. Cette fiche contient, également, des liens vers

des extraits de comptes-rendus d'expérimentation ou des éléments théoriques en mathématiques et en didactique. Tous ces éléments théoriques constituent un environnement technologico-théorique de la ressource relativement aux types de tâches contenus dans la fiche élève. Nous avons ajouté les champs relatifs à l'institutionnalisation pour permettre aux enseignants d'avoir un outil qu'ils peuvent adapter à leur classe. Le questionnaire adressé aux tuteurs du SFoDEM, nous a permis de réorganiser des champs : « le champ « Précautions » de la fiche pourrait ne pas être rattaché au domaine « Prise en charge de l'activité de l'élève » (Annexe 5). Ainsi, étant donné que les professeurs vacataires n'ont pas de formation théorique satisfaisante, aussi bien en mathématiques qu'en didactique des mathématiques, les fiches professeurs contiennent des champs relatifs à des difficultés éventuelles que des élèves peuvent rencontrer et à des « précautions » que le professeur peut prendre (figure 27). Le champ sur les difficultés permettrait à l'enseignant de mieux comprendre les conceptions qui sont à l'origine de certaines fausses solutions proposées par les élèves. Les précautions sont des difficultés pédagogiques auxquelles l'enseignant doit faire attention pour l'organisation de la séance.

Programme :	« Indiquer l'extrait de la partie du programme en rapport avec l'activité choisie ».	
Prise en charge de l'activité de l'élève :	Objectif	« Indiquer l'objectif d'apprentissage visé pour chaque thème ».
	Pré-requis	« Indiquer les pré-requis nécessaires à la mise en œuvre de cette ressource ».
	Solutions	« Indiquer des approches différentes de l'activité de l'élève ».
	Difficultés	« Indiquer les difficultés éventuelles à relier aux conceptions possibles des élèves sur les notions étudiées ».
Institutionnalisation :	Le plan	« Indiquer le plan de cours adopté ».
	A retenir	« Indiquer les contenus que les élèves doivent noter ».
Précautions :	« Indiquer les problèmes éventuels que les professeurs peuvent rencontrer ».	

figure 27 : fiche professeur du modèle 2.

5) La fiche de formation

Cette fiche est strictement réservée à la formation du professeur. L'objectif visé est d'améliorer le niveau de formation théorique des stagiaires. Elle prend en charge la formation de ces derniers en mathématiques et en didactique (figure 28). La conception de la fiche sera étroitement liée aux objectifs pédagogiques ou d'apprentissage qui sont assignés à la fiche élève.

Pour le stagiaire, la fiche doit être comprise comme une ébauche de formation : les différents liens et la bibliographie qui l'accompagnent lui permettront de se mettre dans une dynamique d'auto formation.

Pour les tuteurs, cette fiche sera un moyen d'organiser la formation théorique du stagiaire en rapport avec une activité réelle de classe.

Cependant, compte tenu du niveau des vacataires, les difficultés liées à la gestion d'une ressource doivent être contre balancées par celles relatives à la formation théorique. Pour le tuteur : « *Nous pensons que tu dois essayer de faire en sorte qu'il y ait un équilibre (au niveau des difficultés bien sûr) entre les objectifs pédagogiques et les objectifs de formation. Si tu trouves que la ressource est « dure » en mathématiques, tu fais une ressource de formation moins dure* » (Annexe 5).

Objectif :	« Indiquer le ou les objectifs visés par cette fiche de formation ».
Contenu :	« Indiquer le ou les contenus de la formation en rapport avec l'objectif énoncé ».
Références :	« Indiquer les sources ou les références bibliographiques (papiers ou numériques) qui compléteront la fiche de formation ».

figure 28 : fiche de formation du modèle 2.

6) Le compte-rendu d'expérimentation

Cette fiche (figure 29) est à remplir avant et après expérimentation. L'enseignant exprime son appropriation personnelle de la ressource avant l'expérimentation. Il doit, après expérimentation, faire le point des difficultés liées à la mise en œuvre de la ressource et des parties qui ont facilité son utilisation. Il doit, également, faire le point entre les objectifs visés et la réalité de la classe et sur les conditions de mise en œuvre de la ressource dans sa classe. Il doit faire des suggestions de modifications aussi bien sur le plan pédagogique que mathématique.

Le caractère évolutif de la ressource est étroitement lié à la qualité des comptes-rendus. La conception de la ressource sera reprise en tenant compte des suggestions des expérimentateurs.

Mais, au-delà du retour des usages, cette fiche doit aider l'enseignant à faire *une évaluation* (§II-1-2f) de sa séance. Elle doit permettre à l'enseignant avec un léger différé et, parfois, avec ses pairs, d'interroger sa pratique, le travail de ses élèves et les savoirs mathématiques qu'il a fait construire.

Titre :	« Indiquer le titre du professeur qui a expérimenté la ressource (CAES, CAEM, CAE-CEM, vacataire avec une licence de mathématiques, vacataire sans licence) ».
Classe :	« Indiquer le niveau (1 ^{ère} S1 par exemple) ».
Effectif :	« Indiquer l'effectif de la classe ».
Moyen :	« Indiquer les moyens avec lesquels la ressource a été acquise ».
Appréciation de la ressource avant sa mise en œuvre :	« Indiquer les raisons du choix de cette ressource ».
	« Indiquer si les contenus des différentes fiches correspondent à vos attentes ».
	« Indiquer si la fiche de formation répond à vos besoins ».
	« Indiquer si les contenus des différentes fiches correspondent aux objectifs qui ont été énoncés dans la fiche d'identification ».
	« Indiquer si le plan adopté par la fiche professeur peut s'articuler avec votre progression ».
	« Indiquer si la fiche professeur vous permettra d'être à l'aise par rapport au contenu mathématique ».
	« Indiquer si le scénario d'usage vous paraît adapté à votre classe ».
	« Indiquer les parties de la ressource que vous allez devoir modifier et les raisons ».
« Indiquer si vous avez eu recours à d'autres documents pour compléter la ressource et précisez lesquels ».	

	« Indiquer si vous avez eu tous les documents (liens, logiciels, site, articles, livres) qui devaient accompagner la ressource ».
Appréciation de la mise en œuvre de la ressource :	« Indiquer si l'expérimentation a révélé une distance entre le contenu de la ressource et la pratique de classe ».
	« Indiquer l'impact des modifications que vous avez eu à faire sur la ressource avant l'expérimentation sur sa mise œuvre ».
	« Indiquer si les élèves ont eu des difficultés à comprendre leur fiche ».
	« Indiquer si le scénario d'usage était facile à mettre en œuvre ».
	« Indiquer si vous avez rencontré des difficultés mathématiques ou pédagogiques lors de la mise en œuvre de la ressource et précisez les ».
	« Indiquer l'intérêt de la fiche formation dans la mise en œuvre de la ressource ».
	« Indiquer les autres suggestions que vous avez à faire sur la ressource et sur la formation ».

figure 29 : *fiche de compte-rendu d'expérimentation du modèle 2.*

III-2 CONCEPTION DES OUTILS D'ANALYSE

En rapport avec le dispositif décrit dans le paragraphe (§III-3) nous allons concevoir, dans cette partie, les outils d'analyse qui seront utilisés dans le paragraphe (§IV). Il s'agit pour nous de préciser des paramètres de qualité de pratiques qui permettront d'analyser les pratiques des enseignants et des paramètres de qualité de ressources pédagogiques pour l'analyse des ressources pédagogiques.

III-2-1 Spécification de paramètres de qualité de pratiques enseignantes

Un des objectifs de cette recherche est de spécifier un ensemble de faits et gestes à partir desquels il nous sera possible de repérer l'évolution des pratiques d'un enseignant au cours de cette expérimentation. Nous utiliserons dans ce document le vocable « qualités de pratique » pour étiqueter les manifestations des activités de l'enseignant.

Etant donné que les qualités de pratique des enseignants ne sont pas totalement ordonnées, les paramètres de qualité des pratiques enseignantes que nous allons présenter seront, pour nous, des *éléments maximaux* dans la hiérarchie des qualités : il est donc possible que, suivant les objectifs fixés et les outils théoriques utilisés, les qualités de pratiques visées ne soient pas comparables. Ainsi, étant donné que l'ordre établi sur les qualités n'est pas total, les éléments maximaux ne sont pas forcément des maximums. De ce fait, les paramètres de qualités ne peuvent que constituer un baromètre partiel à partir duquel nous pouvons mesurer la distance entre des pratiques effectives de l'enseignant et des objectifs de la formation. Nous pensons néanmoins que ces paramètres serviront à situer le niveau savoir-faire d'un enseignant au cours de l'utilisation des ressources pédagogiques.

Nous avons énoncé, en introduction, que le travail de spécification des paramètres de qualité des pratiques enseignantes se situe dans les cadres de la théorie anthropologique du didactique (TAD) et la théorie des situations didactiques (TSD). La TAD permet d'opérer une décomposition fonctionnelle des pratiques de l'enseignant et la TSD donne des moyens d'analyser le bon fonctionnement des systèmes didactiques mis en œuvre par les enseignants.

Pour compléter cette spécification à l'aide d'outils théoriques, nous avons étudié dix rapports d'inspections (Annexe 1 ; RI) de professeurs de mathématiques de l'Académie de Montpellier et sept rapports d'inspection de l'académie de Dakar (Annexe 1 ; RIS). Ces rapports de l'académie de Montpellier, à notre demande, sont répartis en quatre groupes : deux que les inspecteurs considèrent comme très bons, deux assez bons, trois rapports moyens et trois considérés, par les inspecteurs, comme de très mauvaises prestations.

	Professeurs certifiés	Professeurs contractuels
Très bon rapport	RI n° 1 et RI n° 2	
Assez bon rapport	RI n° 3 et RI n° 4	
Rapport moyen	RI n° 5 mal voyant	RI n° 6 et RI n° 7
Très mauvais rapport	RI n° 10	RI n° 8 et RI n° 9

Au Sénégal, les premiers inspecteurs de spécialités sont en formation, les rapports utilisés sont donc pour eux des outils de stage et non des rapports d'évaluation de prestation d'enseignants. Toutefois, ces fiches ont permis de recueillir les représentations que ces derniers se font de la qualité d'un enseignement.

Ces différents rapports nous ont permis de compléter, confirmer ou préciser les paramètres des différentes catégories.

Nous proposons, à partir de l'étude de Vergnaud (2002), un découpage des paramètres de qualité en deux catégories : ceux de la première catégorie concernent les premiers actes de médiation et ceux de la seconde les actes de médiation dans la classe. En effet, pour lui :

« Le premier acte de médiation de l'enseignant est en effet le choix de la situation à proposer aux élèves. Mais cet acte est suivi de plusieurs autres actes de médiation : clarification des buts et sous buts si l'élève ne saisit pas immédiatement le sens de la situation ou d'une phase de l'activité nécessaire ; prise en charge par l'enseignant d'une partie des actions que l'élève aurait du mal à effectuer seul ; aide à l'extraction des informations pertinentes et à l'explication éventuelle ; aide aux inférences ».

Pour mieux préciser les deux catégories, nous rangerons les paramètres de qualités de pratiques enseignantes en une catégorie relative à la préparation d'une leçon et une autre qui concerne l'organisation effective d'une séance tout en sachant que les deux catégories sont étroitement liées. D'ailleurs, pour Margolinas (2004, p. 114) :

« Le professeur est toujours en tension entre les niveaux supérieurs et les niveaux inférieurs, 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 font partie du milieu de cette situation ; les exigences des programmes, les propositions des manuels scolaires, en font partie également ».

- La première catégorie fait référence à la situation de « préparation d'une leçon ». Celle-ci est bien décrite par Chevallard (1997), pour qui :

« L'une des premières tâches auxquelles s'affronte le professeur en tant que directeur d'étude d'une classe donnée consiste à déterminer, à partir des indications du programme d'études officiel, les organisations mathématiques à étudier, en précisant, pour chacune d'elle, son contenu précis, et en particulier le socle des types de tâches mathématiques qu'elle contient, ainsi que le degré de développement à donner aux composantes technique, technologique, théorique. »

En ce qui concerne les paramètres relatifs à la première catégorie de choix de la situation d'étude, nous nous situons dans un cadre où l'enseignant travaille **avec des pairs** sur la conception de ressource pédagogique qu'il sera amené à **utiliser seul dans sa classe**. Ainsi, les qualités de pratiques de chaque enseignant de la communauté seront profondément influencées par les interactions sociales qu'il aura eues avec ses pairs. Cette collaboration sera certainement porteuse de connaissances pour des enseignants en formation et elle contribuera à l'amélioration des ressources éducatives que les enseignants sont appelés à produire. L'artefact est donc **un vivier de ressources** que l'enseignant utilise en collaboration avec ses pairs pour concevoir **une ressource**

pédagogique qu'il mettra ensuite en œuvre dans sa classe. En effet, pour Contamines & Hotte (à paraître) :

« Pour créer des banques de ressources éducatives et de là, des réseaux de ressources éducatives [...], le besoin de connaissances et de pratiques est manifeste. Les communautés apparaissent comme des gisements de connaissances et de compétences à prospecter et à exploiter ».

Ajoutons que, dans le cadre d'une formation au métier d'enseignant, l'exploitation des gisements de connaissances et de compétences qui est issue des discussions entre membres d'une communauté doit être au cœur de l'activité de formation. Si on interroge les pratiques existantes dans les écoles, on peut observer que cette collaboration entre pairs est appréciée par les inspecteurs d'enseignement : « *L'ensemble du travail effectué par X autant dans sa classe qu'au niveau de l'équipe disciplinaire de l'établissement est remarquable. Un stage de formation pour d'éventuelles personnes-ressources sera mis en place à la rentrée. Il serait souhaitable que X puisse intervenir en formation et donc participer à ce stage compte tenu de ses déjà nombreuses qualités* » (Annexe 1 ; RI n°1). Cette première catégorie de paramètres que nous appelons (**Paramètres de Qualité d'Intendance des Connaissances**) est donc liée à la gestion prospective des connaissances mathématiques et des activités d'étude mathématique. En effet, le professeur sait qu'il sera garant des lois et des règles mathématiques dans l'institution classe et qu'il sera comptable de toutes les activités mathématiques et d'étude mathématique qui s'y dérouleront.

- La seconde catégorie est liée à la mise en œuvre d'une séquence d'enseignement. Elle fait référence à des qualités que l'on pourrait trouver chez un enseignant au cours de son activité individuelle de gestion de sa classe et à l'évolution *de son milieu* (§II-3-1). L'enseignant, pour la construction de la seconde catégorie, s'appuie sur ses qualités déjà construites et citées dans la première catégorie c'est-à-dire la phase de préparation de séance. Il s'appuie également sur la ressource pédagogique qu'il met en œuvre dans sa classe. Seulement, la ressource doit être comprise dans son sens le plus large : ainsi, lorsque nous parlons de ressource, nous pensons à ses différentes fiches et aux problèmes mathématiques et didactiques qu'elles contiennent.

Dans cette deuxième catégorie, l'instrument construit par le professeur est très complexe parce qu'il doit être perçu comme le résultat d'un travail sur un artefact à composantes matérielles (les différentes fiches de la ressource) et à composantes psychologiques (le milieu de l'élève). Le milieu matériel des élèves induit par la fiche élève est organisé à travers le scénario d'usage. Cette « composante psychologique » de l'artefact est à l'origine de la difficulté de modélisation de la genèse instrumentale. En effet, le milieu de l'élève est évolutif : le professeur interagit avec le milieu de l'élève ainsi qu'avec l'élève qui interagit avec son propre milieu. Le professeur en faisant travailler l'élève avec sa fiche fait évoluer le milieu de l'élève vers un milieu d'apprentissage. Il se met en situation d'intégrer de façon récurrente la genèse instrumentale de l'élève avec son milieu M_i dans le milieu M_{i+1} (§II-4-5). Les qualités que le professeur doit avoir pour organiser tous ces outils : le milieu de l'élève et son évolution, ses interactions avec le milieu de l'élève renvoie à ce que nous l'appelons **Paramètres de Qualité d'Orchestration**. Ces paramètres d'orchestration sont également identifiables à travers les différents moments de l'organisation didactique

mise en œuvre par l'enseignant relativement au type de tâches indiqué dans la fiche élève.

a) Les paramètres de qualité d'intendance des connaissances

Nous avons souligné (§II-2-1) les différentes étapes de la transposition des savoirs mathématiques et didactiques au cours de la formation des enseignants (figure 9). L'étude que nous faisons se situe dans la co-construction des objets d'enseignement à partir des objets de savoirs mathématiques et didactiques en vue de leur mise en œuvre en classe. L'enseignant est en formation et nous avons estimé que la conception de ressources pédagogiques pour la classe peut être un élément central de sa formation.

Les qualités d'intendance sont les qualités qui peuvent se révéler chez un enseignant au cours de l'utilisation d'un vivier de ressources pour préparer son « cours ». L'enseignant, au cours de la préparation de sa séance, peut travailler avec ses pairs et, dans ce cas, les qualités d'intendance sont certainement influencées par ce travail collaboratif de préparation.

Les paramètres de qualité **d'intendance des connaissances** sont de deux types : les premiers que nous appelons *paramètres de reproduction d'organisations mathématiques* (§II-1-1) qui sont relatifs à la génération des organisations mathématiques et les seconds à la conception d'organisations didactiques (§II-1-2). Nous appellerons ces derniers, *paramètres de construction d'organisations didactiques*. Cette subdivision est une tentative de séparer les organisations mathématiques des organisations didactiques pendant la phase de « préparation d'une leçon » pour mieux faire apparaître leurs interrelations complexes.

a1) Premier type de paramètres : les Paramètres de Qualités Noosphériennes (PQN)

Lorsque ces paramètres émergent, l'enseignant, à partir de son objectif d'enseignement et des indications du programme, doit pouvoir déterminer les types de tâches mathématiques appropriés ainsi que les techniques et l'environnement technologico-théorique adaptés.

Dans le cadre de cette formation, l'enseignant, avec ses pairs, organise cette phase de transposition à partir d'un vivier de ressources mais, aussi, avec d'autres documents comme des manuels du programme. On peut noter qu'un travail collaboratif à ce niveau de conception du cours est également bien apprécié par les inspecteurs : « *X appartient à l'équipe de mathématiques du collège qui établit une progression commune et met en place des évaluations communes régulières. L'impression générale est donc très bonne. On ne peut que l'encourager dans cette voie* » (Annexe 1 ; RI n°2).

Lorsqu'un enseignant utilise un vivier de ressources pour préparer son cours, il ne doit pas assimiler son travail de transposition à une copie d'une œuvre d'art, il doit le penser comme la conception d'un tableau à partir de l'extraction de l'idée génitrice de la toile. Ce travail le pousse à extraire de la ressource le type de tâches en rapport avec les injonctions du programme officiel pour concevoir, ensuite, une organisation mathématique. Avec des fiches de formation, il étudie la conformité de l'organisation mathématique proposée dans la fiche professeur avec l'esprit du programme. Il étudie également la pertinence de cette organisation mathématique par rapport au niveau de sa classe.

a2) Second type de paramètres : les Paramètres de Qualité de Construction de Projet d'Enseignement (PQPE)

Ces paramètres font référence à la construction *d'organisations didactiques en rapport avec les organisations mathématiques décrites aux premiers paramètres*. De plus en plus, les programmes ne sont pas seulement des contenus d'enseignement, ils donnent aussi des

indications sur des méthodes d'enseignement. Le professeur ne peut plus se focaliser sur le contenu à enseigner et ignorer les techniques pour les enseigner qui, pour l'instant, sont vaguement dissimulées dans les programmes. « Certains énoncés sont « lourds » pour des élèves de 4^{ème} [...]. De plus, au regard du programme de 4^{ème} la partie 1 doit être traitée sous forme d'activités appropriées » (Annexe 1 ; RIS n°1).

Pour la construction de projet d'organisations didactiques, le professeur, à partir de son objectif d'enseignement et des prérequis des élèves, conçoit les temps forts de son enseignement. Il doit être plus vigilant aux conditions de viabilité des objets d'enseignement dans sa classe : il doit ainsi prévoir un scénario qui favorise la construction de savoirs scientifiques ; un scénario qui permet aux élèves d'engager dans un débat de manière à ce que les réponses puissent être discutées et améliorées. Il doit, également, envisager un discours qui fera l'objet de son enseignement. Le travail collaboratif autour de la construction d'un projet d'enseignement peut être enrichissant. Il peut améliorer le projet d'organisation didactique, à travers les expériences des uns et des autres, par des modèles qui ont fait leur preuve et des alertes sur des limites de certains projets déjà expérimentés.

Ces qualités correspondent au niveau de l'inspection à un indice de qualité de pratique : « La progression suivie est commune à l'équipe. [...] Les **fiches de préparation de cours de X sont soigneusement élaborées**. X est un jeune professeur qui aime son métier et cherche à être compris de ses élèves » (Annexe 1 ; RI n°6).

Le (Tableau 30) ci-dessous fait le point sur les paramètres de qualité d'intendance en précisant, pour chaque paramètre, les objectifs et les observables qui permettent de les situer chez un enseignant.

Paramètres	But	Les qualités
PQN :	Elaborer des organisations mathématiques	A partir d'une ressource structurée ou une ressource non structurée ¹¹ , savoir extraire un type de tâches adéquat au programme de mathématiques.
		Etre capable d'élaborer des techniques et un environnement technologico-théorique en rapport avec un type de tâches et le niveau de la classe.
		Etre capable d'étudier les écarts entre une organisation mathématique proposée dans une ressource et celle qui serait pertinente relativement à un type de tâches et au niveau de la classe.
PQPE :	Construire des organisations didactiques	Etre capable de concevoir un scénario qui permettrait, entre autre, aux élèves de s'engager dans un débat fructueux.
		Etre capable de compléter une fiche professeur à partir d'éléments étudiés de fiches de formation.
		Etre capable de concevoir un timing adéquat au niveau du scénario pour les différentes étapes de son organisation didactique.

Tableau 30 : Les paramètres de qualité d'intendance des connaissances.

¹¹ Nous appelons indifféremment germe de ressource ou ressource non structurée toute ressource qui n'épouse pas le modèle 2 (figure 23).

b) Paramètres de Qualité d'Orchestration

Pour étudier les activités réelles de l'enseignant dans sa classe, nous nous sommes référés aux types de tâches et techniques didactiques décrits (§II-3-3b) : *l'organisation des phases de dénomination et de détermination des tâches des élèves, l'étude des procédures et méthodes des élèves, l'organisation de situation pour l'action et l'organisation des phases d'institutionnalisation*. Nous convoquons ces types tâches et techniques pour l'étude des paramètres de qualités d'orchestration et nous justifierons la pertinence de ce choix par l'étude déjà faite au paragraphe sur la modélisation de pratiques enseignantes (§II-3-3b) et par les rapports faits par les inspecteurs (Annexe 1).

Précisons que ces paramètres de qualité d'orchestration sont fortement influencés par paramètres de qualité d'intendance des connaissances qui seront à leur tour influencés par les paramètres d'orchestration.

b1) Le paramètre de qualité d'organisation des phases de dénomination et de détermination des tâches des élèves

Nous avons établi ce paramètre par la nécessité de prévoir pour l'enseignant un moment d'organisation *des phases de dénomination et de détermination des tâches des élèves*. Cette organisation le professeur la fait avec la fiche élève et le scénario d'usage. Elle signale un moment où le professeur présente une activité en essayant de rester « neutre » sur la façon dont celle-ci sera abordée par les élèves. Pour que les élèves puissent accepter le contrat, le professeur est tenu de présenter le type de tâches de manière *qu'il soit le plus précis possible, qu'il soit facilement identifiable et qu'il soit pertinent au regard des besoins mathématiques des élèves*. Dans cette situation l'enseignant doit faciliter l'interaction de l'élève avec le milieu. C'est le moment de repréciser les questions ou de proposer d'autres formulations. Cependant, l'enseignant doit éviter que son effort de rendre intelligible le type de tâches n'aboutisse à un effet topaze. L'activité de l'enseignant dans ce milieu s'apparente à ce moment décrit par un inspecteur (Annexe 1 ; RI n°6) : « *Un rappel collectif fixe quelques termes de vocabulaire puis une fiche de travail individuel consistant en constructions géométriques est proposée aux élèves* ». Nous appellerons le paramètre de qualité relatif à ce travail de l'enseignant lors de cette activité le « *paramètre de qualité d'organisation des phases de dénomination ou de détermination des tâches des élèves* ».

Notons que, dans le cas du système sénégalais actuel, une des caractéristiques de cette organisation c'est le travail sur la langue d'enseignement (le français). Le français n'est pas la langue maternelle de la plupart des sénégalais, elle n'est pas, non plus la langue de communication entre sénégalais. Ainsi, comme très souvent, surtout dans les petites classes, les élèves ont des difficultés à comprendre les textes des problèmes qui leur sont posés, avant de saisir le sens des énoncés mathématiques, le rôle du professeur dans ce premier moment est celui d'un professeur de langue. Il explique le texte non pas pour donner des pistes de solutions mais pour « accompagner par des signes le spectateur mal-entendant ».

b2) Le paramètre de qualité d'observation

Il s'agira de qualités que l'enseignant dans son activité de gestion de *l'étude des procédures et méthodes des élèves* agissants. Lorsque la fiche professeur est bien construite avec des champs sur les difficultés des élèves et les précautions que doit prendre le professeur, elle peut faciliter l'émergence de ce paramètre de qualité. Néanmoins, le professeur doit se déplacer pour marquer sa présence, mais également observer les procédures que les élèves mettent en œuvre pendant cette phase de résolution. Le professeur doit se déplacer pour observer, sans intervenir. Cependant, lorsque le milieu ne rétroagit pas suffisamment, le

professeur est obligé d'apporter un peu de connaissance afin de permettre aux élèves de ne pas lâcher prise. Les inspecteurs n'ont pas manqué de le souligner : « *Pendant que les élèves exécutent les tracés demandés, le professeur circule dans la classe, surveille le travail de chacun et apporte une aide en cas de difficulté* » (Annexe 1 ; RI n°6) ; « *Le professeur choisit de disposer les élèves par groupes de quatre ou cinq et, dans ces groupes, les laisse échanger librement. Son action consiste à passer d'un groupe à l'autre pour observer le travail accompli, faire expliciter les difficultés rencontrées et apporter son aide* » (Annexe 1 ; RI n°7). Cette situation demande une mobilisation forte des connaissances mathématiques et, surtout, didactiques de l'enseignant. Il doit pouvoir recenser les connaissances et les procédures des élèves. Cela suppose qu'il les connaisse, qu'il soit en mesure de les regrouper en variables didactiques pertinentes. Ce travail lui permettra de prendre des décisions pendant la situation d'enseignement. Pour Bloch (2000), dans cette situation le professeur ne peut être seulement un observateur « passif » de l'action (§II-3-1). Appréciant le travail d'un professeur malvoyant, un inspecteur estime que : « *le fait de ne pouvoir appréhender les erreurs des élèves par leurs traces écrites, soit sur leur cahier, soit au tableau et donc de ne pouvoir tenir un débat relatif aux erreurs produites est très préjudiciable pour l'élève* » (Annexe 1 ; RI n°5).

b3) Le paramètre de qualité d'organisation de situation pour l'action

Ces qualités sont essentielles à l'animation de la classe et à la construction d'un savoir scientifique. Pour un inspecteur « *X ne montre pas actuellement les compétences minimales indispensables à l'enseignement des mathématiques* » parce que « *l'animation de classe est inexistante. Les élèves sont constamment occupés à copier la leçon sur leurs cahiers [...], aucun travail personnel, aucune activité de réflexion ne leur sont proposés [...]. Sur le fond, X définit la médiatrice d'un segment puis énonce des théorèmes, sans justification, sans débat dans la classe* » (Annexe 1 ; RI n°8). Pour un autre inspecteur : « *Nous avons bien apprécié la bonne tenue de la classe par Monsieur X. L'organisation et la bonne gestion du débat entre élèves nous ont particulièrement plu* » (Annexe 1 ; RIS n°7). Pour les professeurs en formation, cette situation est très délicate car l'enseignant est aux prises avec les élèves qui sont engagés dans une phase de formulation de ce qui vient de faire l'objet d'une construction. Il est obligé de prendre position sur les déclarations, propositions, essais, erreurs, réussites, conjecture, formulations, stratégies, bref, tout le travail visible des élèves en interaction avec le milieu. Il est tenu d'improviser dans la construction d'exemples et de contre-exemples pour pousser l'élève à accepter ou à mettre en défaut ses convictions fausses. Il sera obligé d'organiser le discours de la classe vers ce qui fera l'objet de son enseignement, ce qui nécessite un travail d'anticipation sur les types de connaissance à mettre en jeu et les choix des élèves qui en sont les porteurs.

b4) Le paramètre de qualité d'institutionnalisation

Notons d'emblée que les qualités du travail de l'enseignant dans cette situation ne sont pas secondaires, par rapport aux autres. Elles sont même essentielles car l'enseignant doit faire le lien entre le discours préparé avant la séance et la réalité de classe. Ainsi, les outils d'institutionnalisations proposés dans les fiches professeurs (figure 27) ne peuvent être de véritables instruments du professeur que celui-ci ait pris en compte la fiche de formation dans sa préparation. Seul ce travail approfondi sur les contenus peut faciliter l'émergence des propositions de validation ou d'évaluation crédible. Nous disons, comme Margolinas (2004), que dans cette situation :

« 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 a-didactique avec le milieu (validation) soit de statuer sur la validité des énoncés produits (évaluation) ».

Il s'agira, également, pour le professeur, de préciser ce qui fait l'objet de son enseignement sans évoquer nécessairement tous les éléments qui ont participé à sa construction. C'est le moment d'officialisation, le moment qui engage l'avenir mathématique et qui, pour Chevallard (1997 a), est solidaire du *moment d'évaluation* (§II-1-2). Ce moment d'évaluation est un moment de *réflexivité* (§II-3-2c) qui s'articule sur le moment de l'institutionnalisation. Le professeur qui utilise une ressource pédagogique prolonge ce moment au-delà de la séance. Il poursuit son introspection, peut-être même hors de la classe quant il fait son compte-rendu d'expérimentation.

On peut estimer, à travers les rapports ci-dessous, que les inspecteurs accordent une importance particulière à cette phase d'institutionnalisation. « *Il est vivement conseillé à l'enseignant d'écrire la correction au tableau des exercices* » (Annexe 1 ; RI n°5). « *Les bilans successifs ne sont pas énoncés avec suffisamment de clarté et de précision* » (Annexe 1, RI n°6). Lorsque l'institutionnalisation est assimilée à de *l'étiquetage* (§II-3-3), on comprend la réaction positive de l'inspecteur sur l'utilisation des couleurs au tableau par le professeur : « *Nous avons beaucoup apprécié la bonne tenue de la classe [...]. Le tableau également était bien géré avec une **bonne utilisation des craies de couleur pour mettre en évidence les points essentiels*** » (Annexe 1 ; RIS n°6).

Le (Tableau 31) fait le point sur les paramètres de qualité d'orchestration en précisant, pour chaque paramètre, le but objectif et les observables qui permettent de les situer chez un enseignant.

Paramètres	But	Les qualités
Paramètre de qualité d'organisation des phases de dénomination et de détermination des tâches des élèves	Faire en sorte que les tâches des élèves soient facilement identifiables et qu'ils soient pertinents au regard des besoins mathématiques des élèves	Vérifier que les élèves ont tous les outils nécessaires avant de démarrer. <i>Le professeur circule à travers les rangées et vérifie si les élèves ont leurs outils de travail.</i>
		Vérifier que les élèves savent bien ce qu'on leur demande sans proposer des pistes de solutions. <i>Le professeur fait lire le texte et demande aux élèves d'expliquer le sens des questions.</i>
		Clarifier les buts et sous buts si l'élève ne saisit pas immédiatement le sens de la situation ou d'une phase de l'activité nécessaire. <i>Le professeur commente les types de tâches et reprecise pour les élèves ce qui fait son objet d'étude.</i>
Paramètre de qualité d'observation :	Observer les activités des élèves.	Observer les procédures des élèves pendant la phase de résolution. <i>Le professeur se déplace et s'interroge sur les méthodes proposées par les élèves.</i>
		Recenser les connaissances et les procédures des élèves qui permettraient de prendre des décisions pendant la situation d'enseignement. <i>Le professeur circule à travers les rangées et demande parfois aux élèves des éclaircissements sur les méthodes utilisées pour traiter certaines questions.</i>

Le paramètre de qualité d'organisation de situation pour l'action:	Rendre optimal le topos (§II-1-3) de l'élève.	Organiser et engager un débat avec les élèves sur des notions clef à étudier. <i>Le professeur demande à tout élève qui est au tableau d'expliquer à la classe ce qu'il fait puis il organise un débat autour de sa solution.</i>
		Favoriser la formulation de conjecture ou de propositions de solutions. <i>Le professeur encourage des propositions de pistes de solutions.</i>
		Faire traiter des exemples ou des contre-exemples pour engager une démarche de démonstration. <i>Le professeur demande aux élèves de proposer des exemples pour illustrer ou des contre-exemples pour marquer leur désaccord.</i>
		Anticiper et mettre en relief une propriété qui fera l'objet de son enseignement. <i>Le professeur exhibe dans le discours des élèves les éléments qui vont corroborer une propriété que l'on énoncera.</i>
Paramètre de qualité d'institutionnalisation :	Organiser les phases de validation, d'évaluation et d'étiquetage.	Statuer sur la validité des énoncés produits. <i>Le professeur dit ou faire dire si une affirmation est juste ou pas pour valider correctement des affirmations faites par les élèves.</i>
		Préciser ce qui fait l'objet de son enseignement. <i>Le professeur note ou fait noter les résultats importants et précise aux élèves ce qu'ils doivent noter dans leur cahier.</i>

Tableau 31 : Les paramètres de qualité d'orchestration.

III-2-2 Spécification de paramètres de qualité de ressources pédagogiques

Nous nous interrogeons sur l'impact du niveau d'instrumentation et d'instrumentalisation des enseignants sur l'évolution des ressources. Pour mesurer cette évolution, nous avons essayé de spécifier les paramètres qui déterminent la qualité d'une ressource pédagogique. Ces paramètres constitueront les instruments de mesure à partir desquels seront étudiées des ressources pédagogiques pendant les différents moments de leur utilisation. Ils permettent ainsi, à un temps t , à partir d'une coupe d'un processus d'évolution conjointe entre ressource pédagogique et les pratiques des enseignants, de mesurer l'état d'évolution de la ressource et de faire des pronostics sur son utilisation éventuelle.

Ces paramètres seront rangés en deux catégories :

- la première catégorie que nous appellerons *paramètres internes* permet d'étudier la distance entre les champs d'une ressource et ceux qui ont été prévus par le modèle. Ces paramètres internes permettront également à suivre l'évolution d'une ressource donnée ;
- la seconde catégorie que nous appellerons *paramètres externes* permet de faire une étude prospective de modèle et des ressources pour une utilisation *hors clinique*.

a) Paramètres internes de qualité

Les paramètres internes de qualité de ressources pédagogiques sont pour nous des outils permettant d'étudier la distance qui sépare une ressource du modèle. L'étude de cette distance suppose pour nous une étude de l'adéquation entre les champs de chaque fiche et ceux des

fiches du modèle mais, aussi, entre les objectifs assignés à chaque fiche et leur contenu réel aussi bien en mathématique qu'en didactique.

Nous noterons 0 lorsqu'il y a une faible adéquation, 1 si seulement quelques parties sont en adéquation, 2 s'il y a une bonne adéquation et 3 lorsque l'adéquation est très bonne.

Le (Tableau 32) complété, résume l'adéquation entre la ressource et le modèle.

Sections	Caractéristiques	0	1	2	3
Adéquation avec le modèle :	Adéquation entre les champs de la fiche d'identification (FI) de la ressource et ceux du modèle				
	Adéquation entre champs de la fiche élève (FE) de la ressource et ceux du modèle.				
	Adéquation entre les champs du scénario (SU) de la ressource et ceux du modèle.				
	Adéquation entre les champs de la fiche professeur (FP) de la ressource et ceux du modèle.				
	Adéquation entre les champs de la fiche de formation (FF) de la ressource et ceux du modèle.				
Adéquation avec les objectifs :	Adéquation entre les organisations mathématiques (OM) et les objectifs de la formation.				
	Adéquation entre les organisations didactiques (OD) et les objectifs de la formation.				

Tableau 32 : Les paramètres internes de qualité de ressources pédagogiques.

b) Paramètres externes de qualité

Cette seconde catégorie que nous appellerons *paramètres externes* permet de faire une étude prospective de modèle et des ressources pour une utilisation *hors clinique*.

La qualité est la prise en compte de certaines caractéristiques qui ont guidé les travaux sur les NORMETIC. Il s'agit de la réutilisabilité, de l'adaptabilité, de la collaboration, de la reconnaissance, de la pertinence pédagogique, de l'accessibilité, de la durabilité et de l'interopérabilité. Nous considérons que les objectifs déclarés pour l'élaboration des NORMETIC, sur certains aspects, peuvent être pertinents même restreints à un collectif de vacataires :

« Au cours des années à venir, il nous faudra établir les meilleures conditions matérielles pour partager les ressources pédagogiques, pour conserver et enrichir la mémoire collective, pour s'assurer que le matériel produit soit réutilisable et pour minimiser les coûts de sa maintenance. Il nous faut éviter la réinvention de la roue ainsi que la répétition de développements chronophages ou coûteux dans plusieurs départements ou dans plusieurs établissements. Enfin, il faut nous protéger des aléas relatifs aux coûts et à la durée de vie des outils et des plateformes de gestion de cours [...] (CREPUQ - Novasys 2003, p. 3) ».

Nous avons d'abord choisi les notions de *réutilisabilité et de l'adaptabilité* parce que, dans une approche instrumentale, elles marquent la vie d'une ressource et présupposent la prise en compte des usages. D'ailleurs tout laisse penser que ces deux notions, à elles seules, pourraient suffire pour résumer toutes les caractéristiques des ressources, les autres n'en seraient que des conséquences. Pour Crozat (à paraître) :

« Il faut réorganiser ces notions en posant la réutilisation comme la finalité, l'adaptation le moyen de l'atteindre et que les autres fonctions énoncées comme des cas particulier de réutilisation et d'adaptation ».

Précisons que, pour CREPUQ - Novasys (2003, p. 31) :

« La réutilisabilité et l'adaptabilité est « le caractère de ce qui permet la réutilisation de ressources d'enseignement et d'apprentissage à différentes fins, dans différentes applications, dans différents produits, dans différents contextes et par différents modes d'accès ».

La collaboration sera retenue parce qu'elle répond aux objectifs de partage au sein d'une communauté de pratique. En effet, pour la formation au métier d'enseignant, les interactions qui portent sur les connaissances, des techniques mathématiques et de leur justification s'organisent difficilement en dehors d'un travail collaboratif entre pairs.

Nous avons retenu *la reconnaissance de la propriété intellectuelle* des ressources pour cette formation car elle permet d'identifier la cellule l'établissement qui a initié la ressource. Ce caractère permet en outre de percevoir la vitalité des cellules d'établissements.

L'accessibilité et la durabilité, par rapport au public cible (les vacataires) et au besoin d'enrayer leur isolement, apparaissent dans le contexte de cette recherche comme un objectif fondamental pour les ressources. Ces ressources doivent être disponibles dans l'espace et dans le temps (sur papier, sur cédérom, dans une plate forme dédiée, etc.) sans que le mode d'accès n'altère le contenu.

S'agissant de la **pertinence pédagogique**, étant donné que chaque ressource doit prendre en compte les deux volets « enseignement et d'apprentissage », des efforts considérables doivent être faits pour rendre lisibles les situations dans lesquelles elle sera mise en œuvre : enseignement moyen ou secondaire ; demi groupe ou classe entière ; un prétexte pour former les enseignants à la gestion du travail en groupe ou besoin réel d'organiser un travail de groupe pour faciliter l'acquisition d'un concept, etc. La pertinence pédagogique est, pour CREPUQ - Novasys (2003, p. 18), « le caractère de ce qui rend compréhensible les contextes pédagogiques des ressources d'enseignement et d'apprentissage ».

L'interopérabilité est importante pour la mise en œuvre d'un cadre de formation de vacataires si on pense à l'enrichissement des ressources par d'autres ressources de la toile et conservation pour les générations à venir. Précisons que :

« L'interopérabilité est le caractère de ce qui permet l'utilisation des ressources d'enseignement et d'apprentissage développées par une organisation dans un environnement technologique donné par d'autres organisations dans d'autres environnements technologiques » (CREPUQ - Novasys 2003, p. 10).

Les ressources seront conçues, pour la plupart du temps, en groupe ; il serait bon que les enseignants n'aient à pas à débattre sur le modèle chaque fois qu'ils veulent concevoir une ressource. L'utilisateur des ressources, quant à lui, doit pouvoir s'approprier facilement celle-ci, quelle que soit l'origine de la ressource et quelle que soit la technologie utilisée.

Le (Tableau 33) fait le résumé des paramètres de qualité externes que nous venons de décrire :

Les paramètres	Signification
La reconnaissance de la propriété intellectuelle :	Caractère de ce qui permet de documenter et de reconnaître la propriété intellectuelle et de respecter les droits d'auteur.
Réutilisabilité et adaptabilité :	Caractère de ce qui permet la réutilisation des ressources d'enseignement et d'apprentissage à différentes fins, dans différentes applications, sur différents supports, dans différents contextes et par différents modes d'accès (libre, protégé, payant...).
La collaboration :	Caractère de ce qui favorise l'échange, l'utilisation collective, la coproduction et l'enrichissement des ressources d'enseignement et d'apprentissage.
L'accessibilité :	Caractère de ce qui permet la recherche, l'identification et la livraison de ressources d'enseignement et d'apprentissage de façon distribuée. Disponibilité sur plateforme, cédérom et papier.
La pertinence pédagogique :	Caractère de ce qui permet de vérifier l'adéquation entre un scénario d'apprentissage proposé et les résultats attendus.
La durabilité :	Caractère de ce qui permet aux modules de faire face aux changements ou évolutions technologiques scientifiques et pédagogiques en s'adaptant à la réingénierie.
L'interopérabilité :	Caractère de ce qui permet l'utilisation des ressources d'enseignement et d'apprentissage développées par une organisation dans un environnement technologique donné par d'autres organisations dans d'autres environnements technologiques.

Tableau 33 : *Les paramètres externes de qualité de ressources pédagogiques.*

III-3 DISPOSITIF DE RECHERCHE

Cette recherche s'inscrit dans une approche instrumentale des ressources pédagogiques. Nous nous sommes interrogés, à travers un modèle de ressources transmuté, sur les conditions optimales d'organisation qui peuvent favoriser une évolution conjointe des pratiques et des ressources. Nous avons fait l'hypothèse que le modèle structuré des ressources et le travail collaboratif autour de la conception de ressources pédagogiques favorisent une amélioration des pratiques enseignantes et une amélioration de la qualité des ressources. Cette hypothèse fait le lien entre l'activité de conception collaborative de ressource structurée et l'amélioration des pratiques des enseignants. Elle relie également cette activité de conception collaborative de ressource structurée à l'amélioration de la qualité des ressources. Ainsi pour vérifier cette hypothèse, nous avons mis en place un dispositif expérimental qui se déploie en deux phases complémentaires avant de faire une synthèse : une première phase qui est liée à l'étude de l'évolution des pratiques enseignantes en rapport avec l'activité de conception collaborative de ressource structurée et une deuxième phase qui relie travail collaboratif de conception et évolution des ressources.

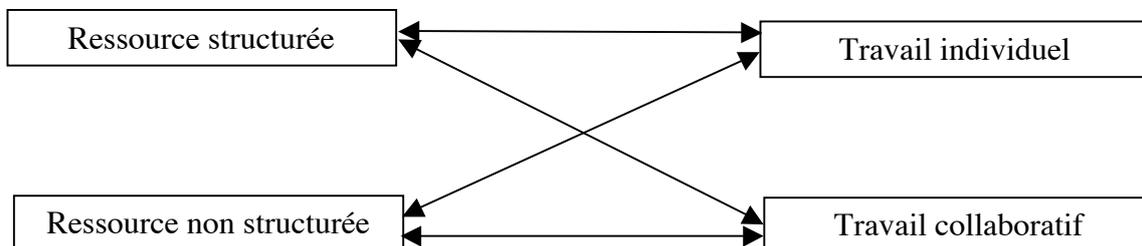
III-3-1 Présentation de la phase d'étude de l'évolution de pratiques enseignantes

a) Description du dispositif

Le dispositif que nous mettons en œuvre dans cette recherche est un outil permettant de vérifier si l'activité de conception collaborative de ressource structurée favorise une amélioration de la qualité des pratiques des enseignants.

Pour se faire, nous avons choisi de suivre un enseignant vacataire pendant quatre expérimentations d'une heure chacune :

- une première expérimentation en travail individuel avec *une ressource non structurée* ;
- une deuxième expérimentation en travail collaboratif avec *une ressource non structurée* ;
- une troisième expérimentation en travail individuel avec *une ressource structurée* épousant le modèle 2 (figure 23) ;
- une quatrième expérimentation en travail collaboratif avec *une ressource structurée* épousant le modèle 2.



L'expérimentateur est un enseignant vacataire volontaire. Il a le niveau baccalauréat et est peu expérimenté. Il a été recruté en octobre 2002 et, comme la plupart de ses collègues, il enseigne sans aucune formation pédagogique. Il sait que ce travail entre dans le cadre d'une recherche sur la formation des enseignants. Il sait, également, que les expérimentations que nous menons n'ont pas d'incidence sur son statut professionnel. Il peut espérer, en faisant les expérimentations, que cela pourrait améliorer sa pratique professionnelle. Ce professeur est nommé S_1 .

Nous avons choisi de le suivre dans une seule de ses classes : il s'agit d'une classe de sixième (première année de collège, 11-12 ans). Cette classe compte 71 élèves (31 filles et 40 garçons). Nous pouvions choisir quatre stagiaires faisant chacun une expérimentation, mais nous avons estimé que cela pourrait engendrer un biais important étant donné que chaque stagiaire a son histoire propre qui, d'une manière ou d'une autre, peut influencer le déroulement de son enseignement. On peut être confronté à des difficultés similaires si le même professeur travaille avec des classes différentes. Les comportements des élèves de classes différentes peuvent masquer les évolutions des pratiques de l'enseignant. Le choix d'un professeur qui travaille avec une seule classe présente un intérêt double : d'abord parce qu'il sera possible de suivre les performances de ses élèves, ensuite parce que les rapports de l'enseignant avec les élèves seront plus faciles à décrypter.

Le professeur travaille dans le cadre de cette recherche avec deux professeurs de collèges S_2 et S_3 , volontaires eux aussi, revenus à la Faculté des Sciences et Technologies de l'Éducation et de la Formation pour un stage de recyclage, et un tuteur formateur à la dite faculté. Les deux professeurs de collège sont d'anciens instituteurs qui, compte tenu du manque d'enseignants en mathématiques, ont été recrutés comme professeur de collège. Ils ont chacun plus de cinq ans d'expérience dans l'enseignement moyen. Ils sont, comme S_1 , du niveau du Baccalauréat et n'ont pas eu de formation professionnelle dans l'enseignement moyen. Ces stagiaires sont choisis parce qu'ils ont été confrontés aux mêmes difficultés que l'expérimentateur, en matière de pratiques enseignantes, et cela pendant plusieurs années. Actuellement, ils reçoivent une formation théorique et pratique. Ils bénéficient, au cours de cette formation, de séances d'observation et de critique de cours liées à l'expérimentation.

b) Description des expérimentations et recueil des données

Toutes les expérimentations ont lieu dans la même salle de classe avec les mêmes élèves (6^{ème}), avec le même professeur S_1 et dans les mêmes tranches horaires (de 12 à 13 heures). Nous avons assisté à toutes les expérimentations, en tant que chercheur. Nous avons fait filmer la séance par un technicien de la FASTEF qui a une expérience dans ce domaine. Ce caméraman devant filmer, par ordre de priorité, le professeur, les réactions de ses élèves et les traces écrites du tableau. Ainsi, le protocole, sur lequel nous ferons l'analyse de la séance, n'est pas seulement la transcription du film de la séance ; nous avons complété le film transcrit, par les notes que nous avons prises et des comptes-rendus d'expérimentation de S_1 . Nous avons ensuite sollicité l'avis de S_1 sur la fidélité de la transcription. Le protocole est donc la transcription de la séance suivie de mes commentaires relus et discutés avec S_1 . Le fait de solliciter le stagiaire pour relire et corriger la transcription de la séance suivie de mes commentaires nous a paru nécessaire pour que le protocole reflète mieux le déroulement de la séance. Autant nous pouvons considérer que la transcription du film est un outil « objectif », les notes complémentaires que nous avons ajoutées sont, elles, sujettes à interprétation. Une relecture et discussion avec S_1 étaient nécessaires pour rendre le protocole moins « subjectif ». On notera par la suite, $P^{12}(S_1, \mathfrak{R}_i)$, le protocole de la séance faite par S_1 avec la ressource \mathfrak{R}_i .

¹² A chaque protocole, P désigne le professeur, E un élève et Es plusieurs élèves qui parlent en même temps.

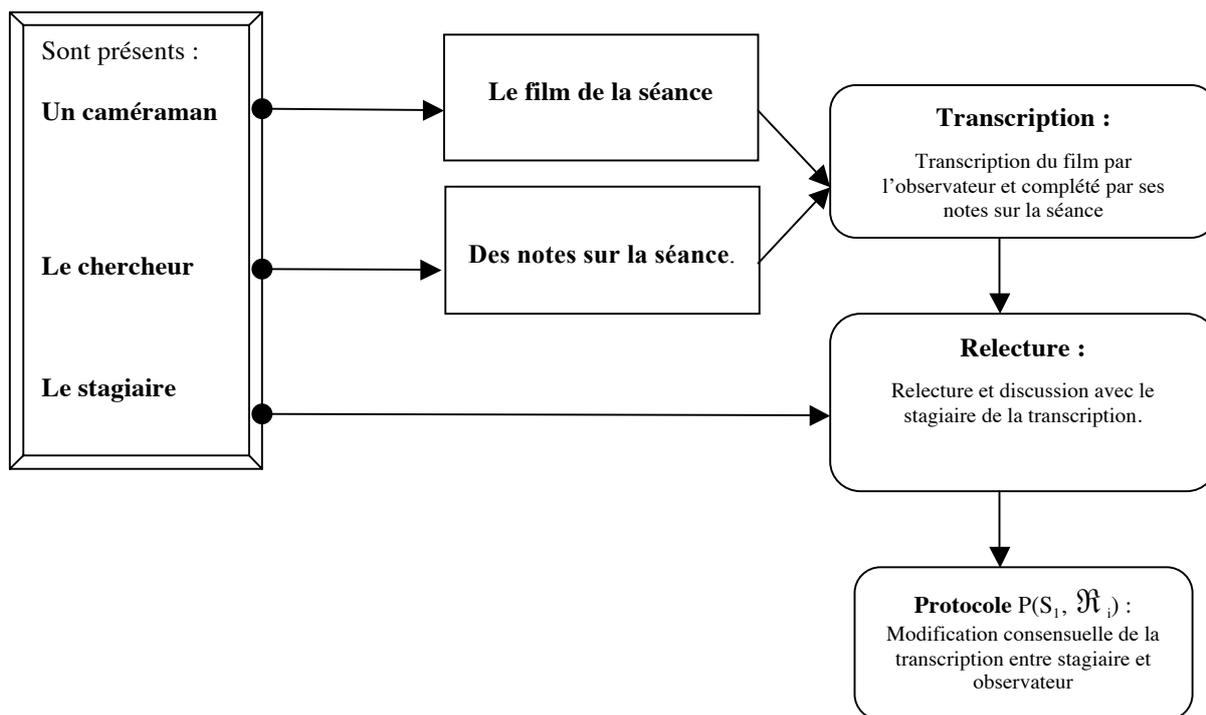


figure 34 : Description du dispositif de recueil de données.

Nous sommes conscients que la présence d'un observateur et d'un caméraman peut influencer le déroulement de la séance. Pour l'éviter, nous pouvions nous contenter d'un compte-rendu que ferait le stagiaire après sa séance mais le risque était grand de voir le stagiaire omettre ou bien négliger ou, encore, ne pas s'apercevoir de détails intéressants pour la conduite de la recherche.

c) *Méthode d'analyse des données*

Pour faire l'analyse des protocoles nous avons au préalable dégagé les critères de qualité de pratiques enseignantes.

A partir des critères de qualité de pratiques enseignantes et des protocoles (Annexe 6 ; $P(S_1, \mathfrak{R}_1)$, $P(S_1, \mathfrak{R}_2)$, $P(S_1, \mathfrak{R}_3)$ et $P(S_1, \mathfrak{R}_4)$), nous avons analysé les différentes expérimentations de l'enseignant puis nous avons fait une étude comparative des pratiques. Cette analyse se fait donc à deux niveaux (figure 35) :

- d'abord, avons nous étudié, pour chaque protocole, la genèse instrumentale des ressources pédagogiques considérées comme systèmes d'instruments matériels (les différentes fiches) et conceptuels (les milieux des élèves et de l'enseignant) ;
- ensuite, nous avons fait une étude comparative des pratiques pour dégager les invariants :
 - étude comparative des expérimentations faites avec les deux germes de ressource ;
 - étude comparative des expérimentations faites avec les deux ressources structurées ;
 - étude comparative des expérimentations faites seul ;
 - étude comparative des expérimentations faites avec un travail de préparation fait en groupe.

Nous avons essayé de dégager les qualités de pratiques et leur évolution. Nous avons essayé de repérer, dans ces ressources structurées, les éléments qui facilitent et

simplifient la gestion des contenus mathématiques et didactiques et des compétences pédagogiques. Nous avons étudié et comparé les OM et OD proposées dans la ressource et celles réalisées par l'enseignant dans sa classe.

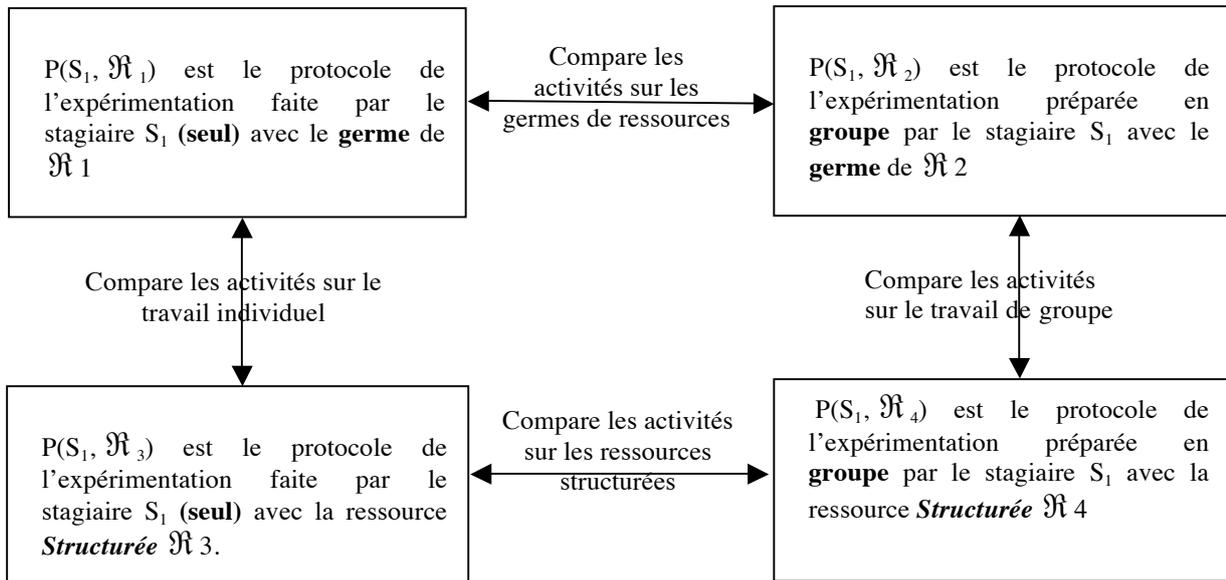


figure 35 : Description du dispositif expérimental sur l'étude de l'évolution des pratiques.

III-3-2 Présentation de la phase d'étude de l'évolution de ressources pédagogiques

a) Description du dispositif

Rappelons que, dans le cadre de cette recherche, nous avons fait l'hypothèse que la collaboration entre enseignants autour des ressources devrait permettre une amélioration de la qualité des ressources pédagogiques.

Le dispositif que nous mettons en œuvre fonctionne avec deux groupes d'enseignants A et B et deux ressources pédagogiques R et R'. Le groupe A est composé de trois enseignants vacataires de collège (A_1, A_2, A_3) donc des enseignants qui n'ont pas encore suivi de formation pédagogique. Ils sont tous le niveau d'un baccalauréat scientifique. Le second groupe que nous appelons groupe B est composé de trois enseignants titulaires (B_1, B_2, B_3). Chacun d'eux a enseigné au moins pendant trois ans et a déjà enseigné en classe de terminale. Nous avons organisé les interactions (ressources/enseignants) : formation en présentiel des vacataires, gestion des comptes-rendus d'expérimentation, organisation des échanges entre stagiaires, etc.

Les ressources R et R' sont, respectivement, expérimentées par les stagiaires du groupe A et du groupe B.

Ce dispositif sera pour nous un outil pour suivre l'évolution de deux ressources pédagogiques R et R'. Chacune d'elle sera modifiée trois fois. Les traces des modifications de R seront repérées par R0, R1, R2, R3 et celles de R' par R'0, R'1, R'2, R'3 (Annexe 7).

Le stagiaire A_1 expérimente la ressource R0 seul, c'est-à-dire sans travail préalable avec les autres membres du groupe. Sur la base de la fiche de compte-rendu de la ressource, que nous avons élaborée, il fait un compte-rendu d'expérimentation. Nous intégrons les suggestions de A_1 en privilégiant les propositions de modifications mathématiques ou didactiques. Nous avons produit ensuite la ressource R1. Le stagiaire A_2 avec les autres membres du groupe A

étudient et transforment la ressource R1 en ressource R2. Les modifications se font autour de deux constantes : les savoir mathématiques à enseigner et les compétences professionnelles que le professeur doit acquérir. A₂ expérimente la ressource R2, il fait un compte-rendu d'expérimentation. Nous intégrons ses suggestions et nous produisons la ressource R3.

Le stagiaire B₁ expérimente, seul, la ressource R'0. Sur la base de la fiche de compte-rendu de la ressource, il fait un compte-rendu d'expérimentation. Nous intégrons, comme avec le groupe A, les suggestions de B₁ en privilégiant les propositions de modifications mathématiques ou didactiques. Le stagiaire B₂ étudie avec les autres membres du groupe B la ressource R'1. Ils ont apporté des modifications en prenant en compte les exigences du programme sénégalais et l'objectif de formation des enseignants déclarés sur la fiche d'identification. La R'1 est transformées en ressource R'2. B2 l'expérimente, il fait un compte-rendu d'expérimentation. Nous intégrons ses suggestions et produisons la ressource R'3.

b) Description des expérimentations et recueil des données

L'évolution de la ressource R est repérée au niveau des ressources R0, R1, R2 et R3 et celle de R' est repérée au niveau des ressources R'0, R'1, R'2 et R'3. A partir des critères de qualité de ressources pédagogiques, que nous avons déjà dégagés, une étude comparative des ressources (R0, R1), (R1, R2), (R2, R3), (R'0, R'1), (R'1, R'2) et (R'2, R'3) est faite pour suivre les évolutions des ressources R et R'. Ensuite, nous avons étudié et comparé les ressources (R0, R'0) ; (R1, R'1), (R2, R'2), (R3, R'3) (figure 36). Cette étude nous a permis de dégager des invariants liés au travail en groupe ou au travail individuel sur les ressources.

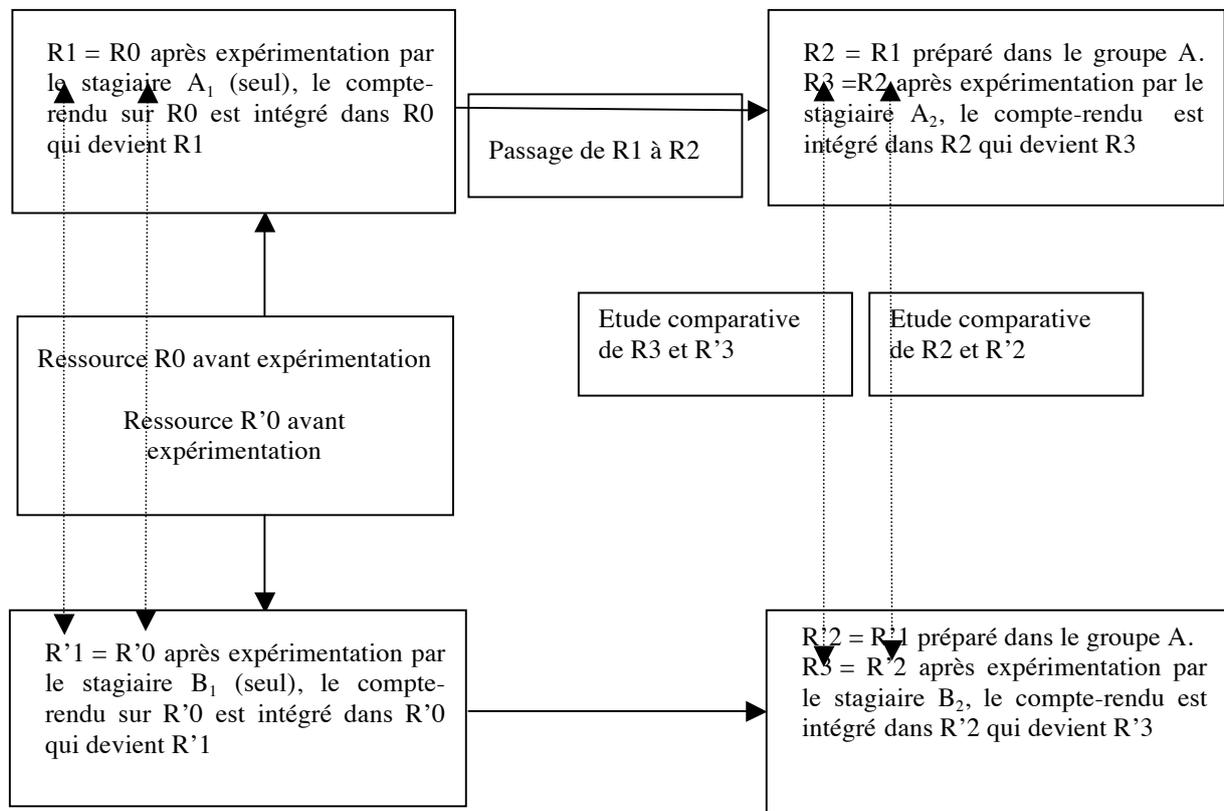


figure 36 : Description du dispositif expérimentale sur l'étude de l'évolution des ressources.

IV ETUDE DE L'EVOLUTION DES PRATIQUES ENSEIGNANTES ET DES RESSOURCES PEDAGOGIQUES

INTRODUCTION

IV-1 ETUDE DE L'EVOLUTION DES PRATIQUES ENSEIGNANTES

IV-1-1 Analyse de pratiques enseignantes

IV-1-2 Repérage des invariants dans des pratiques enseignantes

IV-2 ANALYSE DES RESSOURCES PEDAGOGIQUES

IV-2-1 Evolution des ressources étudiées par les professeurs vacataires

IV-2-2 Evolution des ressources étudiées par les professeurs titulaires

IV-2-3 Repérage des invariants au niveau de l'évolution des ressources

IV-3 MISE EN EVIDENCE DES RAPPORTS ENTRE LES PRATIQUES ENSEIGNANTES ET LES RESSOURCES PEDAGOGIQUES

IV-3-1 Repérage de schèmes de gestion d'une situation didactique

IV-3-2 Les effets des ressources pédagogiques sur l'évolution des pratiques enseignantes

IV-3-3 Les effets des pratiques enseignantes sur l'évolution des ressources pédagogiques

INTRODUCTION

Ce chapitre est l'une des parties les plus importantes de notre étude. Nous essayons d'y faire l'analyse des données pour vérifier l'impact du travail collaboratif d'enseignants autour de la conception de ressources structurées sur le développement des *genèses instrumentales*. Pour cela, nous avons subdivisé cette étude en trois parties :

- la première partie de l'étude est plus orientée vers l'analyse des pratiques de l'enseignant dans le processus de genèse instrumentale. Nous avons suivi un stagiaire pendant quatre séances pour étudier et analyser l'impact des ressources et du travail collaboratif sur ses pratiques enseignantes ;
- la deuxième partie est une étude des évolutions des ressources au cours des usages. Nous avons tenté, dans un processus de genèse, de repérer les évolutions de deux ressources pédagogiques en essayant d'analyser les impacts du travail collaboratif et du travail individuel sur les ressources ;
- la troisième partie est une synthèse des deux premières parties. Nous avons étudié l'impact des paramètres de qualités de ressources pédagogiques sur les pratiques des enseignants puis l'impact des pratiques enseignantes sur les ressources pédagogiques.

Nous avons tenté, dans la troisième partie de notre étude, d'identifier les schèmes qui ont émergé, chez le stagiaire S_1 , pour observer sous un autre angle son développement. Rappelons que notre objectif est de mettre en œuvre un dispositif de formation qui favorise le développement professionnel des professeurs vacataires.

IV-1 ETUDE DE L'EVOLUTION DE PRATIQUES ENSEIGNANTES

Cette analyse de pratiques enseignantes se fait à partir de données recueillies de quatre expérimentations faites avec un enseignant vacataire S_1 (§III-3-1). L'outil d'analyse sera, principalement, les paramètres de qualité d'orchestration déjà étudiée (§III-2-1b). A partir des protocoles (Annexe 6 ; $P(S_1, \mathfrak{R}_1)$, $P(S_1, \mathfrak{R}_2)$, $P(S_1, \mathfrak{R}_3)$ et $P(S_1, \mathfrak{R}_4)$), nous avons analysé les quatre expérimentations faites par S_1 avant de faire une étude comparative des pratiques et essayer de dégager les invariants.

IV-1-1 Analyse de pratiques enseignantes

a) *Analyse de la première expérimentation*

Cette première expérimentation a permis d'observer la pratique habituelle du stagiaire. Le stagiaire prépare seul, à partir d'un germe de ressource, la séquence (contenu et organisation matérielle), en fonction de sa progression et du niveau de sa classe.

Le germe \mathfrak{R}_1 (Encadré 37) est un ensemble d'exercices que le professeur a choisi dans le manuel de sixième de la Collection Inter-Africaine de Mathématiques (CIAM). Ce manuel, fruit d'une collaboration de mathématiciens des pays francophones d'Afrique, a été conçu pour mettre à la disposition des élèves et des enseignants de l'Afrique francophone des manuels à un coût abordable. L'activité choisie est un travail sur la comparaison de décimaux arithmétiques. Elle se présente sous forme de *moments du travail de techniques* (§II-1-2-d) relatives à la comparaison de décimaux. Elle présente des faiblesses à plusieurs niveaux :

- le corpus de tâches n'est pas adéquate, tant sur le plan quantitatif, que qualitatif. L'activité choisie ne favorise pas la mise à l'épreuve de technique ;
- l'activité ne favorise pas un travail sur la coordination des registres de représentation (§II-2-3) alors que les élèves devraient pouvoir placer des points sur une droites graduée connaissant leur abscisse.
- le milieu ne rétroagit pas. Les solutions proposées et certaines conceptions que les élèves se font des décimaux, mêmes mauvaises, peuvent ne pas entrer en conflit avec le « bon » déroulement de l'activité.

Lors cette première expérimentation, nous avons essayé de faire un enregistrement audio de la séance mais le dispositif n'a pas fonctionné, la classe étant trop grande avec plus de 70 élèves. L'enregistrement était inexploitable car la plupart des voix étant inaudibles. Ainsi, le protocole sur lequel nous avons fait l'analyse de la séance est le déroulement de la séance que j'ai relevé avec mes notes, suivie de mes commentaires relus et discutés par le stagiaire.

L'analyse de $P(S_1, \mathfrak{R}_1)$ permet d'étudier les qualités de pratiques qui vont émerger à travers l'usage de cette ressource pédagogique. Elle permet d'examiner le niveau de maîtrise des contenus de la ressource par le stagiaire, sa capacité à l'utiliser en classe et les organisations mathématique et didactique qui sont mises en place. Cette analyse fait également le point sur le processus de genèse instrumentale.

CIAM, exercice n° 60 page 146

Voici une liste de nombres décimaux :

3 ; 1,75 ; 9 ; 3,7 ; 6 ; 4,022 ; 5,5 ; 0,001 ; 5 ; 1,5.

Range ces nombres dans l'ordre croissant.

Ecris l'ensemble A des nombres décimaux de cette liste qui sont plus grands que 4.

Ecris l'ensemble B des nombres décimaux de cette liste qui sont plus petits que 1.

Ecris l'ensemble C des nombres décimaux de cette liste qui sont plus grands que 3 et plus petits que 6.

CIAM, exercice n° 55 page 146

A partir du 853, on veut écrire un nouveau nombre en plaçant un chiffre supplémentaire dans l'une des quatre positions suivantes :

...853 ; 8...53 ; 85...3 ; 853....

Le chiffre choisit est 9. Où faut-il placer ce chiffre 9 pour obtenir le plus grand nombre ?

Range les nombres obtenus dans l'ordre croissant.

CIAM, exercice n° 56 page 146

Reprend l'énoncé de l'exercice 55

Le chiffre choisit est 0. Où faut-il placer ce chiffre 0 pour obtenir le plus grand nombre ?

Range les nombres obtenus dans l'ordre décroissant.

Encadré 37 : Germe de ressource \mathfrak{R}_1

a1) Paramètre de qualité d'organisation des phases de dénomination et de détermination des tâches des élèves

Le professeur a des difficultés quant à la gestion de cette phase. Rappelons que l'émergence de cette qualité suppose que l'enseignant vérifie d'abord que les élèves ont tous les outils nécessaires avant de commencer. Le professeur, au début de la séance, demande aux élèves de prendre leur livre et de lire le texte ; ce qui pour lui, suffit pour préciser le type de tâches « 5) P »).

- 1) P : Prenez vos livres et faites l'exercice n° 60 page 146.
- 2) P : Quelqu'un pour lire le texte.
- 3) Es : Monsieur, monsieur ...
- 4) P : Toi (le professeur désigne un élève)
- 5) P : Maintenant allez-y. (Il demande aux élèves de commencer le travail ; **va au bureau et remplit son cahier le texte**).

Mais, la phase de vérification est complètement absente de l'activité de l'enseignant : il n'a pas observé si les élèves ont tous le problème sous les yeux, ni s'ils comprennent bien ce qu'on leur demande. Le fait de demander à un élève de lire le texte peut être en soi une bonne idée dans le sens de la clarification des buts de l'activité, mais cela ne saurait suffire pour une bonne *détermination des tâches des élèves*. De plus, au Sénégal, où le français n'est pas la langue maternelle des élèves, pour des élèves de sixième, la lecture d'un texte pourrait constituer en soi une séance. En demandant aux élèves de lire, bon nombre d'entre eux sont restés au niveau « d'une séance de lecture » : prononciation, articulation, liaison, intonations, pauses, etc. Or, le travail sur lequel sont attendus les élèves comme le professeur est surtout celui du sens. Il ne s'agit pas de savoir répéter mais de savoir expliquer le sens des interrogations. Le travail du professeur ne semble pas aller dans ce sens. L'une des questions de l'exercice est : « *Ecris l'ensemble A des nombres décimaux de cette liste qui sont plus grands que 4* ». Mais, que signifie plus grand en mathématiques ? 4 est-il plus grand que 4 ? Voilà un exemple de question que le professeur peut traiter avec les élèves pour débiter la formation des concepts qu'il veut enseigner, sans influencer le travail sur le traitement de l'exercice. Il faudrait alors expliquer aux élèves que 4 n'est pas plus grand que 4 car plus grand signifie strictement plus grand. Les enseignants doivent savoir que, lors de ces séances de lecture, la principale difficulté est la *non congruence* (§II-2-3) de la langue naturelle et du langage mathématique. Dans le langage ordinaire, par exemple, le groupe de mots du langage mathématique « supérieur ou égal » n'est pas utilisé pour comparer. Ainsi, l'important dans ce

travail ce n'est pas le mot mais le sens qu'on lui donne. Le mot est juste un artefact et le professeur doit en être conscient pour son travail. C'est à travers l'usage des séquences de lecture, d'explications et de commentaires que les élèves s'approprient le mot et construisent son véritable sens. D'ailleurs, pour Rabardel (2002, p. 269) :

« Le mot pris isolément dans le dictionnaire n'a qu'une seule signification. Mais cette signification n'a rien de plus qu'une potentialité qui se réalise dans le langage vivant où elle n'est qu'une pierre dans l'édifice du sens. Le sens d'un mot représente l'ensemble de tous les faits psychologiques que ce mot fait apparaître dans la conscience. C'est une formation toujours dynamique complexe fluctuante. La signification n'est qu'une des zones du sens : la plus stable. Le mot change aisément de sens selon les contextes tandis que la signification est un point immobile, immuable qui reste stable en dépit de toutes les modifications qui affectent le sens du mot selon les contextes [...]. La signification constitue autour de l'artefact qu'est le mot, une zone de stabilité qui est notamment identifiée et exprimée dans les dictionnaires. De même les artefacts matériels ont une valeur fonctionnelle stable, qui s'exprime à la fois dans les fonctions pour lesquelles ils sont créés, dans la prescription des usages mais aussi dans la stabilité de leur forme sociale ».

Lorsque l'on fait faire des mathématiques où le travail est surtout une exploration du sens, le professeur doit éviter de se laisser piéger par la facilité apparente que les élèves ont pour lire les mots d'un texte. Cette facilité ne peut signifier une compréhension du sens qu'il a voulu donner au texte.

a2) Paramètre de qualité d'observation

Le professeur est absent lors de cette phase d'observation : de 12 heures à 12 heures 37, le professeur est en retrait complet par rapport aux élèves. Il reste au bureau pour remplir son cahier de texte. Il ne sait pas ce que font les élèves.

12h00

- 1) P : Prenez vos livres et faites l'exercice n° 60 page 146.
- 2) P : Quelqu'un pour lire le texte ?
- 3) Es : Monsieur, monsieur ...
- 4) P : Toi (le professeur désigne un élève).
- 5) P : Maintenant allez-y. (Il demande aux élèves de commencer le travail ; **va au bureau et remplit son cahier le texte**).
- 6) P : On peut corriger ? (**de son bureau, le professeur demande aux élèves s'ils ont fini de corriger l'exercice, ces derniers ne répondent pas**).
- 7) P : On corrige.
- 8) Es : Monsieur, monsieur ...
- 9) P : Toi (**le professeur de son bureau désigne un élève qui a levé la main**).

[:]

12h37 (Le professeur commence à circuler à travers les rangées et se dirige vers un élève).

On peut penser que le professeur sait ce qu'il veut enseigner mais qu'il ignore, certainement, comment faire pour que les élèves apprennent. En organisant son enseignement de cette façon, il ignore ce que les élèves construisent comme connaissances. Il croit pouvoir bâtir

l'édifice pour eux mais sans eux. Il ne pense pas être concerné par ce que font les élèves dans cette phase de recherche. Or, pour Bloch, « *ce moment ne peut être un moment passif pour le professeur* ». Le professeur doit essayer de faciliter l'interaction de l'élève avec le milieu : circuler à travers les rangées, encourager les élèves qui sont sur la bonne piste, faire des commentaires sur les chemins qui mènent vers des impasses, etc... Par sa passivité, l'enseignant ne dispose pas de moyen pour *recenser les connaissances et les procédures* que les élèves mettent en œuvre pour élaborer des techniques mathématiques. Cette méconnaissance de la situation des élèves fait que le professeur ne peut extraire des informations pertinentes qui lui permettront de se préparer aux interventions qu'il devra faire lors de la phase de bilan et de validation. C'est le seul moment dont il dispose pour repenser les erreurs des élèves, à leurs causes et se préparer aux remédiations à apporter. Le fait de circuler dans la classe lui aurait permis de se rendre compte que la notion de décimal n'est pas acquise, puisque des élèves pensent encore que 5 n'est pas un décimal, et de réfléchir à une remédiation adaptée. Cela lui éviterait d'avoir comme seul argument " \mathbb{N} est inclus dans \mathbb{D} " pour prouver que 5 est décimal.

- 34) E : Non monsieur, on a dit des nombres décimaux, 5 par exemple n'est pas un décimal (un élève de la classe lève la main pour dire que 5 n'est pas un décimal).
- 35) P : 5 est bien un décimal, rappelez-vous, on a dit que l'ensemble \mathbb{N} est inclus dans l'ensemble \mathbb{D} (**le professeur écrit au tableau $\mathbb{N} \subset \mathbb{D}$**).

a3) Paramètre de qualité d'organisation de situation pour l'action

Lors de cette expérimentation, le stagiaire, de son bureau, demande au fur et à mesure à des élèves volontaires d'aller au tableau. Ne voyant pas toujours ce qu'écrivent les élèves interrogés, il demande à la classe si ce que l'élève a écrit est bon ou pas. Il se satisfait apparemment des réponses des élèves, si celle-ci est oui on continue, sinon on reprend.

- 11) P : **C'est comme ça (le professeur de son bureau demande à la classe si la réponse donnée par l'élève qui est tableau est bonne) ?**
- 12) Es : **Oui.**
- 13) P : Le suivant (le professeur demande à l'élève de regagner sa place et demande à un volontaire de venir corriger la seconde question).
- 14) E : L'ensemble $A = \{5 ; 5,5 ; 6 ; 9\}$.
- 15) P : **C'est exact ?**
- 16) Es : **Non.**
- L'élève qui est au tableau reprend en mettant le signe \leq
 $A = \{5 \leq 5,5 \leq 6 \leq 9\}$.
- 17) P : **C'est ça ?**
- 18) Es : **Non, il faut mettre point virgule (à la place de l'inégalité).**
- 19) E : $A = \{5 ; 5,5 ; 6 ; 9\}$.
- 20) P : **C'est ça ?**
- 21) Es : **Non.**
- 22) P : Va au tableau (le professeur, toujours de son bureau, demande à un élève d'aller corriger la question).
- 23) P : Souligne les nombres qui sont plus grands que 4 (le professeur demande à un élève de souligner au niveau de la première question les nombres qui sont plus grands que 4).
- 24) E : L'élève souligne de 5 à 9. ($0,001 \leq 1,5 \leq 1,75 \leq 3 \leq 3,7 \leq 4,022 \leq 5 \leq 5,5 \leq 6 \leq 9$).

25) P : C'est ça ?

26) Es : Non.

Ce paramètre de qualité apparaît ainsi comme étant celui qui est le moins bien construit par le stagiaire : les phases de reformulation et la validation sont escamotées. Le professeur, dans cette situation, doit prendre position sur les déclarations des élèves, pas forcément pour proposer une solution mais pour favoriser leur interaction avec le milieu. Les élèves ne débattent pas. Le simple fait de demander à la classe si la production de l'élève est correcte ne suffit pas pour valider. Il ne s'agit pas d'un jeu démocratique où la loi de la majorité doit s'appliquer. A plusieurs reprises, les questions posées par le professeur sont des questions fermées où les élèves répondent par oui ou par non. Personne ne peut expliquer dans la classe les raisons d'un oui ou d'un non. Or, le travail qui est demandé à la classe est de prouver, de justifier et de démontrer en quoi une proposition est vraie. Au-delà des techniques proposées par les élèves, le travail du professeur est de construire avec eux un environnement de technologico-théorique (§II-1-1) viable dans l'institution pour permettre à l'élève de se convaincre de son « oui » juste. L'autre aspect de cette forme de validation *référendaire* c'est l'absence de transparence. Les oui comme les non des élèves n'ont pas les mêmes significations. Des élèves pensent que A n'est pas égal à $\{5 ; 5,5 ; 6 ; 9\}$ car, pour eux, 5, 6 et 9 ne sont pas des décimaux, d'autres pensent qu'il manque le décimal 4,022. Le pourquoi permet à l'enseignant de déceler les erreurs et les incohérences diffuses dans les déclarations vraies, les propositions fausses de bon sens qu'il est nécessaire de corriger. La question du pourquoi est également nécessaire pour l'élève. Car, en essayant de justifier, il interagit et avec l'objet mathématique et avec ses pairs. Nous estimons que c'est à travers cette interaction sociale que l'élève construit ses connaissances.

Dans le texte, ci-dessous, le professeur apporte des connaissances dans le milieu. Il propose des indications : *souligner les nombres plus grands que 4 ; écris 4, 022 et 4 et compare-les.*

13) P : Le suivant (le professeur demande à l'élève de regagner sa place et demande à un volontaire de venir corriger la seconde question).

14) E : L'ensemble $A = \{5 ; 5,5 ; 6 ; 9\}$.

15) P : C'est exact ?

16) Es : Non.

L'élève qui est au tableau reprend en mettant le signe \leq

$A = \{5 \leq 5, 5 \leq 6 \leq 9\}$.

17) P : C'est ça ?

18) Es : Non, il faut mettre point virgule (à la place de l'inégalité).

19) E : $A = \{5 ; 5, 5 ; 6 ; 9\}$.

20) P : C'est ça ?

21) Es : Non.

22) P : Va au tableau (le professeur, toujours de son bureau, demande à un élève d'aller corriger la question).

23) P : Souligne les nombres qui sont plus grands que 4 (le professeur demande à un élève de souligner au niveau de la première question les nombres qui sont plus grands que 4).

24) E : L'élève souligne de 5 à 9.

$0,001 \leq 1, 5 \leq 1, 75 \leq 3 \leq 3, 7 \leq 4, 022 \leq \underline{5 \leq 5}, \underline{5 \leq 6 \leq 9}$.

25) P : C'est ça ?

26) Es : Non.

- 27) P : Qu'est ce qui manque ?
 28) Es : Monsieur...
 29) P : Toi (le professeur désigne un élève).
 30) P : Ecrit 4,022 et 4 et compare-les.
 31) E : $4 \leq 4,022$

La question que l'on peut se poser est celle du statut de ces indications. Le professeur peut avoir l'impression qu'elles favorisent l'apprentissage, parce qu'à l'issue de ce dialogue, l'élève a dit ce qu'il voulait entendre : **31) E : $4 \leq 4,022$** . Mais, à y regarder de près, ces indications ressemblent plus à un effet topaze qu'à un travail favorisant chez l'enfant la construction de savoir scientifique. Ce travail ne peut se faire sans la contingence, il est donc important de la créer et non de l'éviter. En effet, pour Vergnaud (2002) « *On se développe parce qu'on rencontre la contingence* ». Une façon simple de favoriser la rencontre de la contingence est de demander à l'élève d'expliquer sa production.

a4) Paramètre de qualité d'institutionnalisation

Lors de cette étude, les difficultés liées à l'émergence de ce paramètre de qualité sont le résultat de deux phénomènes :

- la non prise en compte par l'enseignant de la complexité des objets mathématiques qu'il manipule. Le professeur ne statue pas sur la validité des énoncés produits par les élèves car, pour lui, cela va de soi : c'est évident ! Souvent, les professeurs se laissent piéger par la « simplicité » des types de tâches, ignorant complètement que le problème est moins les mots que les concepts à construire. Or, la construction des décimaux demande un travail important sur l'analyse des algorithmes sur les entiers. Le professeur qui ne fait pas ce travail ne doit pas s'étonner de voir ses élèves écrire « $5,7 < 5,12$ » parce que 12 est plus grand que 7. Selon la CREM (2003) :

« L'analyse des algorithmes des opérations sur les entiers, de leur pertinence et de leur caractère relatif est toujours une découverte pour les étudiants de quelque origine qu'ils soient ; elle les amène à prendre conscience des choix culturels et scientifiques qui régissent aussi le "calcul". L'étude épistémologique des décimaux ancre une habitude culturelle dans un champ mathématique et social, lie mathématiques, physique et astronomie via pratiques et instruments de mesure ; elle relativise la simplicité d'un codage et invite à questionner son apprentissage. Les algorithmes opératoires sur les décimaux prolongent formellement les algorithmes opératoires des entiers, mais leur utilisation adéquate nécessite la compréhension du principe de notation décimale et des propriétés algébriques des opérations : sinon apparaissent les erreurs du type $4,6 + 2,7 = 6,13$ ou encore $4,3 \times 4,3 = 16,9$ ».

- le second phénomène est lié à l'absence de moment d'institutionnalisation. Les élèves ont besoin de savoir, pour chaque organisation mathématique, ce qu'ils doivent conserver, ce qui est à retenir. Ils veulent savoir si leurs déclarations sont vraies ou fausses ou s'ils doivent continuer à chercher. Ils ont besoin d'un moment d'institutionnalisation pour chaque organisation mathématique. Il est difficile pour eux d'attendre la fin de la séance pour résumer ce qu'il faut retenir de la séance.

- 47) P : Toi au tableau (le professeur demande à un élève d'aller au tableau).

- 48) E : (l'élève remplit les cases, il écrit : 9853 ; 8953 ; 8593 ; 8539).
- 49) P : Bien, range les nombres dans l'ordre croissant.
- 50) E : $8539 \leq 8593 \leq 8953 \leq 9853$
- 51) P : C'est comme ça (le professeur demande à la classe si le résultat est bon) ?
- 52) Es : Oui.
- 53) P : Un autre élève au tableau pour l'exercice suivant.

12h42

- 54) P : Bon, toi au tableau et lis le texte (le professeur demande à un élève d'aller au tableau et de lire le texte de l'exercice 56 de la même page).
- 55) P : Remplace par zéro.
- 56) E : 0853 ; 8053 ; 8503 ; 8530
- P : Quel est le plus grand nombre ?
- 57) E : L'élève qui au tableau désigne du doigt le nombre 853 0 puis l'encadre.
- 58) P : Maintenant on te demande de ranger les nombres par ordre croissant.
- 59) Es : Décroissant (les élèves rectifient, il est écrit décroissant dans le texte et non croissant).
- 60) P : Décroissant (le professeur corrige).
- 61) E : Après quelques hésitations l'élève écrit 853 0 ³ 8503 ³ 8053 ³ 0853.
- 62) P : Maintenant prenez (le professeur retourne à son bureau).**

Mais qu'est ce « qu'on prend » dans tout ce qu'on a écrit au tableau depuis une heure ? Le professeur serait certainement horrifié si les élèves le lui demandaient. Et pourtant, rien dans son discours ne permet à l'élève de noter ce qui fait l'objet de son enseignement. Or, il est nécessaire, surtout dans ces petites classes, *de préciser ce qu'il faut retenir*, de le mettre au clair, par rapport à tout ce qui a été utilisé, pour le construire.

a5) *Le processus de genèse instrumentale*

La genèse instrumentale est le processus de construction de l'instrument par l'utilisateur au cours de l'activité. Pour Contamines et al (2003) :

« Les genèses instrumentales peuvent prendre de quelques minutes à plusieurs années. Cela ne dépend pas de la nature de l'activité mais de la nature de l'artefact (de la nouvelle souris aux instruments de bord d'un avion) et du degré de compétence de l'individu utilisateur ».

On peut penser qu'une expérimentation d'une heure est insuffisante pour révéler un bon niveau d'instrumentation et faire émerger un processus d'instrumentalisation. Mais, ce qui apparaît comme une constante, dans cette première expérimentation, c'est un niveau d'instrumentation très faible et la non manifestation du processus d'instrumentalisation. La gestion du milieu de l'élève a annihilé toutes les initiatives que l'on pouvait attendre des élèves. Le professeur ne fait rien pour enrichir le milieu et pour provoquer des interactions élèves-milieu. Par un apport de savoir, qui écrase plus l'élève qu'il ne l'aide à s'interroger sur le sens ses déclarations, on peut penser que le professeur évite plus les interactions qu'il ne les crée. Une construction faite avec les élèves qui leur permettrait d'écrire que « $5 = 5,0$ » serait plus indiquée que la déclaration sans appel et d'autorité de « 35 P : 5 est bien un décimal, rappelez-vous, on a dit que l'ensemble IN est inclus dans l'ensemble ID ». Justement, pourquoi dit-on que tous les éléments de IN sont dans ID ? Il serait aussi intéressant de savoir

comment les élèves traiteraient l'exercice n° 60 si 4 faisait parti des nombres de la liste. Sauraient-ils que plus grand signifie strictement plus grand ? Plusieurs de ces modifications que le professeur pourrait opérer sur certaines questions enrichiraient le milieu de l'élève et, par la même occasion, le milieu du professeur. Le professeur pourrait, par exemple, proposer à ses élèves les modifications (Encadré 38) de l'exercice n° 55 ; il témoignerait ainsi d'un bon niveau d'instrumentalisation du *milieu de l'élève* et donc du sien : les modifications changeraient le milieu de l'élève donc les interactions de l'élève avec son milieu et, par voie de conséquence, la nature des échanges professeur-élève. Comme dans la structuration du milieu, chaque niveau est méta par rapport à celui qui le précède, le passage de l'élève d'un milieu M_i vers un milieu M_{i+1} oblige le professeur à intégrer la genèse instrumentale de l'élève de son milieu M_i dans son milieu M_{i+1} .

A partir du 853, on veut écrire un nouveau nombre en plaçant un chiffre supplémentaire dans l'une des quatre positions suivantes : ...853 ; 8...53 ; 85...3 ; 853....

Le chiffre choisi est n compris entre 0 et 9, discuter suivant la valeur de n , la place où il faut le placer pour obtenir le plus grand nombre ?

Ranger les nombres obtenus dans l'ordre croissant.

Encadré 38 : modifications de l'exercice : n° 55 de l'Encadré 37.

Ce travail est tout à fait à la portée des élèves de 6^{ème} et, de plus, il enrichirait en terme de raisonnement mathématique le milieu de l'élève.

Conclusion

Nous n'avons pas observé lors de cette expérimentation l'émergence de qualité d'orchestration. Cette première expérimentation a permis de voir le professeur dans sa pratique habituelle et était le résultat d'un travail individuel à l'aide d'un germe de ressource. Elle a révélé des organisations mathématiques et des organisations didactiques (§II-1) peu construites. On ne peut pas non plus dire que le stagiaire a eu un bon niveau d'instrumentation du milieu (§II-4-5). Il n'y a pas eu non plus de modification de germes de ressources pour l'adapter à son enseignement (insuffisance du processus d'instrumentalisation).

b) Analyse de la deuxième expérimentation

Lors de cette deuxième expérimentation, nous commençons par l'analyse de la ressource et l'étude des paramètres des qualités d'intendance qui se sont construits par le stagiaire S_1 . Puis, à travers $P(S_1, \mathfrak{R}_2)$, nous faisons l'analyse de la séance et étudions les qualités qui se sont construites à travers l'usage de \mathfrak{R}_2 . Cette analyse nous permettra d'examiner le niveau de maîtrise des contenues de la ressource par le stagiaire, sa capacité à l'utiliser en classe et les organisations mathématiques et didactiques qui seront mises en place. Nous étudions, au fur et à mesure, le lien entre les paramètres de qualité d'intendance et ceux d'orchestration. Cette analyse fera le point également sur le processus de genèse instrumentale.

Lors de la première expérimentation, l'enregistrement audio n'ayant pas fonctionné, nous avons décidé de filmer cette séance. Nous avons fait appel à un spécialiste du service audiovisuel de l'Ecole Normale Supérieure à qui nous avons demandé de filmer par ordre de priorité, le professeur, les réactions des élèves et les traces écrites du tableau et nous avons suivi le modèle de recueil de données (figure 34).

b1) Les paramètres de qualité d'intendance

Lors de cette expérimentation, la préparation de la séance est faite en groupe. Les stagiaires S_1 , S_2 et S_3 produisent le germe de ressource \mathfrak{R}_2 que S_1 expérimente seul dans sa classe. \mathfrak{R}_2 est un exercice choisi dans un manuel que le groupe a modifié pour l'adapter à la classe. Le groupe a fait le choix de ne pas perturber la progression du stagiaire : le germe de ressource a pris en compte les pré-requis des élèves et s'intègre dans les objectifs d'enseignement du stagiaire.

Le travail de groupe s'est fait en deux étapes : une première où le groupe fait une étude critique de la séance passée avec des propositions pour y remédier et une seconde où il produit une ressource qui sera expérimentée par S_1 .

La première étape :

S_2 et S_3 n'ont pas assisté à la séance, mais ils ont reçu le protocole P (S_1 , \mathfrak{R}_1) 48 heures avant la séance de travail. S_2 et S_3 sollicitent quelques éclaircissements auprès de S_1 sur certains points du protocole. Chacun d'eux fait son appréciation de la séance en relevant ce qui leur paraît être des erreurs mathématiques ou pédagogiques (Annexe 6, Re S_2 ; Re S_3) :

S_3 estime, par exemple, que le fait de demander aux élèves de lire l'énoncé est une bonne chose, cela permet à la classe de suivre. Après, il faut passer dans les rangées pour vérifier ce que font les élèves, à ce moment, vous saurez s'ils ont terminé ou non. Pour S_2 , S_1 doit « recenser d'un coup toutes les erreurs pour gagner du temps ».

S_2 estime, également, que la réponse de E34 « *bien qu'elle soit fausse est pertinente et révélatrice. Est-il le seul à penser ainsi ? Ce serait très intéressant de renvoyer la question aux autres élèves pour mieux expliquer* » (Annexe 6, Re S_2) .

34) E : Non monsieur, on a dit des nombres décimaux, 5 par exemple n'est pas un décimal (l'élève pense que 5 n'est pas un décimal).

S_2 pense que le professeur « *doit suivre la correction : étape très importante du cours car elle permet d'enrayer, définitivement, certaines erreurs graves de la part des élèves* » (Annexe 6, Re S_2). Ce que confirme S_3 , en disant que pendant la correction au tableau « *le professeur ne peut pas se mettre à remplir le cahier de texte [...] Il doit se déplacer derrière les élèves et suivre avec eux d'éventuelles erreurs* » (Annexe 6, Re S_3).

La deuxième étape :

La seconde phase de travail du groupe est un travail de conception de ressource : le stagiaire S_1 énonce ses objectifs pour sa prochaine séance et propose le germe de ressource. Il explique les raisons de son choix : avoir des exercices sur la médiatrice d'un segment. Les stagiaires S_2 et S_3 avec S_1 modifient le germe en ajoutant la question b) de l'exercice (Encadré 40) pour « amener les élèves à imaginer une médiatrice sans sa construction ».

Le travail de groupe s'est limité à la conception de types de tâches. Le groupe a ajouté une question à la celle proposée dans le manuel. L'idée est intéressante car les enseignants ne se sont pas contentés de l'activité du manuel CIAM, ils ont essayé de l'adapter à leur besoin. Dans bien des cas, des professeurs de mathématiques considèrent les exercices proposés dans ce manuel comme des activités clé en main. Or, au Sénégal, ce manuel n'est pas conforme au programme de mathématiques. Ainsi, un exercice même bien structuré, choisi dans ce livre, peut être en marge de l'esprit du programme. De plus, au collège, une proposition de progression est faite par les concepteurs du programme. Une activité choisie au hasard dans un manuel, peut se révéler inadaptée par rapport à la classe. Les pré-requis exigés par le concepteur du manuel ne sont pas forcément ceux acquis par les élèves. Concernant le thème sur les médiatrices, le programme sénégalais et le livre CIAM ont, non seulement, des objectifs différents, mais ils sont conçus sur des pré-requis différents : le programme

sénégalais fixe comme objectif la construction de la médiatrice par la règle graduée et l'équerre et par la règle et le compas (Encadré 39), alors que le manuel CIAM 6^{ème} fait de la vérification avec la règle graduée et l'équerre son objectif. Dans le programme sénégalais, la construction d'une perpendiculaire avec la règle et le compas est un pré-requis alors que cela n'est pas le cas pour le manuel CIAM.

III - ORTHOGONALITE ET PARALLELISME

Contenus	Commentaires	Compétences exigibles
<p>1) Orthogonalité</p> <ul style="list-style-type: none"> - Droites perpendiculaires : présentation, notation, codage. - Droite perpendiculaire à une droite, passant par un point donné (unicité). - Pied d'une perpendiculaire à une droite. - Médiatrice d'un segment [AB] : <ul style="list-style-type: none"> a) Définition : La médiatrice d'un segment [AB] est la droite perpendiculaire à (AB) et passant par le milieu du segment [AB]. b) Propriétés : <ul style="list-style-type: none"> • Tout point de la médiatrice d'un segment [AB] est à égale distance de A et B. • Tout point situé à égale distance de A et B appartient à la médiatrice de [AB]. 	<ul style="list-style-type: none"> • On pourra utiliser le double pliage pour introduire et présenter des droites perpendiculaires, en particulier en utilisant les lignes de feuilles quadrillées et pour faire constater la coïncidence avec les côtés appropriés d'une équerre. • Par pliage ou avec l'usage du compas, on fera constater l'égalité des longueurs. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construire avec la règle et l'équerre, avec la règle et le compas la droite perpendiculaire à une droite donnée, passant par un point donné. • Vérifier à l'aide de la règle et de l'équerre que deux droites sont perpendiculaires • Coder des droites perpendiculaires • Reconnaître deux droites perpendiculaires dans des configurations géométriques. • Connaître et utiliser la notation : \perp • Connaître la définition de la médiatrice d'un segment. • Reconnaître dans une figure codée la médiatrice d'un segment. • Construire la médiatrice d'un segment: <ul style="list-style-type: none"> - à la règle graduée et à l'équerre, - à la règle et au compas.

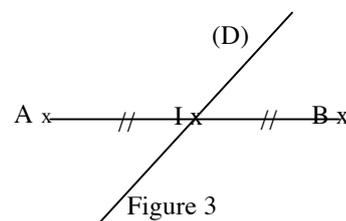
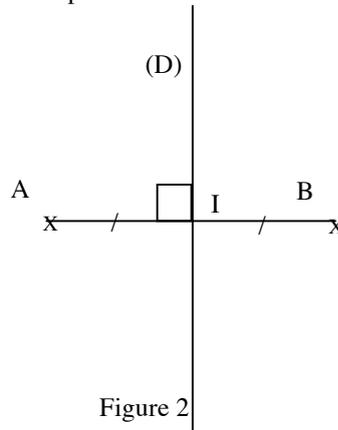
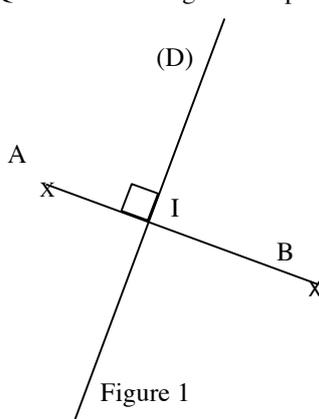
Encadré 39 : extrait du programme de mathématiques de 6^{ème} en vigueur au Sénégal.

Bien que travaillant en groupe, la place importante du manuel CIAM dans le travail des enseignants du Sénégal n'a pas facilité l'émergence des paramètres de qualités noosphériques : l'exercice conçu par le groupe (Encadré 40), ne prend pas en compte la construction d'une médiatrice ; il n'y a aucune technique, ni une justification ou explication de la méthode de résolution. Il n'y a pas eu d'indication sur la manière dont le stagiaire traitera la fiche dans la classe. On peut, par conséquent, dire qu'il n'y a pas eu émergence des paramètres de qualité de construction de projet d'enseignement.

CIAM, exercice n° 19 page 39 modifié.

L'une des figures ci-dessous indique que la droite (D) est la médiatrice du segment [AB].

a) Quelle est cette figure ? Explique ta réponse.



b) Considérons la figure 3)

1) Que représente le point I ? Explique ta réponse.

2) Soit une droite (D1) passant par I et perpendiculaire à [AB]. Que peux-tu dire de la droite (D1) ?

Encadré 40 : Germe de ressource \mathfrak{R}_2 .

b2) Le paramètre de qualité d'organisation des phases de dénomination et de détermination des tâches

L'organisation de cette phase s'est déroulée, progressivement, en trois phases différentes : d'abord une énonciation du lieu où une partie de l'activité se trouve, ensuite une lecture du texte de l'activité et enfin une reformulation de l'activité :

- Pendant 5 minutes (de 12h00 à 12h05), le professeur agit comme s'il pouvait déléguer au manuel la tâche d'organisation. Puis, il vérifie comment les élèves vont commencer le travail.

12h00

- 1) P : Pape Yassine Touré est là ? (un élève qui était absent la séance précédente).
- 2) E : Oui.
- 3) P : Tu as un billet d'entrée ? (le billet d'entrée est une autorisation d'entrée en classe délivrée par les surveillants chargés de la discipline dans l'établissement, pour les élèves disposant d'un justificatif d'absence).
- 4) E : Non.
- 5) P : Vas en chercher.
- 6) P : Toi, crache ce que tu as dans ta bouche.
- 7) E : Comment ?
- 8) P : Craches ce que tu as dans ta bouche.
- 9) **P : Vous préparez l'exercice 19 page 39 (il s'agit d'un exercice de la collection CIAM).**
- 10) E : Qu'est ce qu'on fait ? (un élève pose la question au professeur).
- 11) P : Activité géométrique.
- 12) P : Toi au tableau (**le professeur circule à travers les rangées**, regarde les productions des élèves et demande à un élève d'aller au tableau. Pendant presque 3 mn, celui-ci reste au tableau, ne sachant que faire, il recopie l'exercice. Le professeur, pendant ce temps, continue son tour de classe, regarde les productions des élèves, vérifie les résultats, etc.).
- 13) P : Il y a trop de bruit dans la classe, soit vous vous taisez, soit vous sortez (le professeur continue de regarder les productions des élèves).

12h05

- L'organisation de cette phase de dénomination et de détermination des tâches est très évolutive lors de cette séance. Après l'échec constaté au niveau de la première étape, l'enseignant passe par une lecture expliquée de l'énoncé pour réorganiser ce moment. Le professeur a fait lire le texte de l'activité comme l'avait précisé S lors de la préparation de la séance.
- 14) P : **Tu lis l'exercice**, arrête d'écrire et tu lis l'exercice (le professeur s'adresse enfin à l'élève qu'il a envoyé au tableau).
 - 15) P : Lis l'exercice (l'élève lit l'énoncé).
 - 16) P : Efface ce que tu as écrit.
 - 17) P : Quelle est la question qui t'est posée?
 - 18) E : C'est la figure N° 3
 - 19) P : Quelle est la question, qu'est ce qu'on te demande?
 - 20) L'élève relit la première question.

- 21) P : Qu'est qu'on te demande ?
- 22) E : Explique la figure.
- 23) P : Quelle figure, explique-nous ce qu'on te demande ?
- Le professeur propose un autre type de tâches. Il sait qu'une simple lecture de l'énoncé ne suffit pas pour comprendre le sens du texte mathématique. Son travail est plus qu'une séance de lecture, il pousse les élèves à expliquer, à donner le sens des questions de l'énoncé. Il se rend compte que l'activité ne répond pas à ses objectifs. Il reformule la question, il la modifie. Il ne s'agit plus de nommer la figure mais d'expliquer, pour chaque figure, si une droite est médiatrice ou pas :
- 24) E : Que la droite est la droite médiatrice du segment [AB].
- 25) P : On te demande d'identifier la figure où la droite (D) médiatrice du segment [AB] (parmi 3 figures) ?

Après quelques secondes d'hésitation, l'élève qui est au tableau dit :

- 26) E : C'est la figure n° 2.
- 27) P : On commence par la première figure.**

L'élève ne comprend pas la réaction du professeur, qui reprécise sa question

- 28) P : Est-ce que (D) est la médiatrice (elle désigne la première figure)?**

En modifiant de cette façon l'exercice, le professeur a rendu le milieu de l'élève plus riche, plus à même de lui permettre de s'approprier la notion de médiatrice. Il ne s'agit plus pour l'enseignant, d'une activité de restitution mais d'un travail de construction : les élèves ne choisissent plus la figure où la droite (D) est la médiatrice du segment [AB] mais, ils doivent, pour chacune des 3 figures, expliquer si la droite (D) est médiatrice ou pas. Ils sauront que chacune des deux conditions, l'orthogonalité et le passage par le milieu du segment sont nécessaires pour caractériser la médiatrice. Ils sauront, aussi, que les deux conditions sont suffisantes pour caractériser une médiatrice. Nous estimons que ce type de tâches n'était pas intelligible, au début de la séance, pour la plupart des élèves. Le professeur, lui-même, a mis du temps pour préciser ce qui fait l'objet de son étude. Il y a émergence en partie du *paramètre de qualité d'orchestration* relatif à l'organisation *des phases de dénomination et de détermination des tâches*.

b3) Le paramètre de qualité d'observation

On peut noter lors de cette deuxième expérimentation le déplacement du professeur, le choix qu'il fait de regarder les productions des élèves et de discuter avec eux de leur travail. On peut faire l'hypothèse que le travail de groupe a produit au moins cet effet là. S2 et S3 avait insisté sur le déplacement nécessaire de S1. Cependant, ce travail de groupe n'a pas permis à l'enseignant d'organiser ses observations. On peut penser qu'un scénario d'usage bien élaboré avec, à chaque étape, des précisions des tâches du professeur et des élèves, faciliterait l'émergence de cette qualité d'observation.

- 9) P : Vous préparez l'exercice 19 page 39 (il s'agit d'un exercice de la collection CIAM).
- 10) E : Qu'est ce qu'on fait (un élève pose la question au professeur) ?
- 11) P : Activité géométrique.
- 12) P : Toi au tableau. **Le professeur circule à travers les rangées**, regarde les productions des élèves et demande à un élève d'aller au tableau. Pendant presque 3 mn, celui-ci reste au tableau, ne sachant que faire, il recopie l'exercice. Le professeur, pendant ce temps, continue son tour de classe, regarde les productions des élèves, vérifie les résultats, etc.

- 13) P : Il y a trop de bruit dans la classe, soit vous vous taisez, soit vous sortez (le professeur continue de regarder les productions des élèves).
- 14) P : Tu lis l'exercice, arrête d'écrire et tu lis l'exercice (le professeur s'adresse enfin à l'élève qu'il avait interrogé au tableau).
- 15) P : Lis l'exercice (l'élève lit l'énoncé).
- 16) P : Efface ce que tu as écrit.

Un pas important vers l'émergence de ce paramètre est le déplacement du professeur dans la classe pour observer les réactions des élèves. Cette observation pourrait lui permettre de recenser les connaissances et les procédures des élèves. Cette activité semble nécessaire pour un enseignant et pour une bonne organisation de ses observations. Le professeur doit éviter d'envoyer un élève au tableau au moment où il fait le tour de la classe. Car, justement un des intérêts de ces déplacements est le choix judicieux de l'élève qu'il faut envoyer au tableau. Mais le stagiaire semblait ignorer cela. Pour Bloch (2000) :

« Il est essentiel que l'enseignant puisse trier les procédures, adapter ses arguments, décider des informations qu'il livrera, à qui il devra donner la parole au bon moment ».

Seulement il peut apparaître, comme cela semblait être le cas lors de cette expérimentation, que les premiers élèves rencontrés pendant le recueil des connaissances et procédures des élèves, présentent des idées intéressantes sur lesquelles on souhaite organiser un débat. Si cette situation se produit, l'enseignant doit éviter de se précipiter sur le premier cas rencontré, il doit continuer son travail de recensement pour pouvoir vérifier si le cas est marginal ou fréquent dans la classe. Suivant les cas, il étudiera les moyens adéquats pour les traiter pendant la situation d'enseignement.

b4) Le paramètre de qualité d'organisation de situation pour l'action

Le professeur travaille pour la construction et d'organisation de situation pour l'action de ses élèves. Il essaye de faire interagir les élèves et le milieu qu'il a construit pour eux. Obligé qu'il est d'organiser et d'engager le débat avec les élèves, le professeur se met également dans une situation de construction de sa propre situation d'action. Dans cette situation, le professeur a besoin de connaissances mathématiques et didactiques pour permettre aux élèves de donner le maximum d'eux-mêmes mais aussi, et surtout, pour les aider à construire de façon durable les connaissances en jeu. Les connaissances mathématiques lui permettraient d'engager un débat de façon sereine et de disposer des outils pour anticiper les réactions des élèves. Les connaissances didactiques permettraient de situer les blocages éventuels, les conséquences de certains types de formulations sur le savoir à construire et les effets de certaines façons de faire, qui peuvent altérer l'étude d'une notion. Ces connaissances didactiques sont également essentielles dans la gestion du temps dans la classe.

N'ayant pas de formation professionnelle, le professeur se place seulement sur le terrain du savoir mathématique ignorant que le problème est, aussi, une activité de construction du savoir : ce travail de justification devrait être accompagné, pour chacune des trois figures, de représentation du segment $[AB]$ et de la droite (D) ce qui lui permettrait de faire interagir au moins deux registres différents : celui du langage et celui du graphique, or il n'utilise que celui du langage :

« 90) P : Donc prenez la correction (jusque-là aucune figure n'est construite au tableau) ».

Le travail de traitement dans un registre donné n'est pas suffisant, le professeur pouvait amener les élèves à représenter les segments et les médiatrices dans le but d'obtenir une meilleure coordination des registres utilisés.

Une analyse du discours de l'élève envoyé au tableau pourrait, également, aider l'enseignant à comprendre que l'élève tentait d'utiliser la négation de la proposition de « 34) P : » pour répondre à la question « 49) P : ». En essayant de construire la négation de la proposition de « 34) P : », l'élève a construit **une définition de la médiatrice** « *la droite qui passe le milieu d'un segment* ».

- 28) P : Est-ce que (D) est la médiatrice ?
- 29) E : Non,
- 30) P : Pourquoi ?
- 31) E : Parce que les distances ne sont pas égales.
- 32) P : Quelles distances ?
- 33) E : AI et IB (I est le point d'intersection de la droite (D) avec le segment [AB]).
- 34) P : C'est parce que la distance AI n'est pas égale à la distance IB.**
- 35) P : Ecris ça au tableau.
- [:]
- 45) P : Maintenant on passe à la figure 2.
- 46) L'élève commence à écrire la réponse.
- 47) P : Tu donnes la réponse d'abord.
- 48) E : (D) est la médiatrice**
- 49) P : Pourquoi ?**
- 50) E : C'est parce que la distance IA = IB.**
- 51) P : Distance IA égale distance de IB, est ce que c'est suffisant ?

En écrivant que : « (D) n'est pas médiatrice du segment [AB] parce que la distance AI n'est égale à la distance IB ». « 34) P : » l'élève était en train de construire la négation en se disant : « si la distance AI est égale à la distance IB alors (D) n'est pas la médiatrice du segment [AB] ». Le professeur ne se rend pas compte de l'erreur. Il renforce cette formulation chez l'élève « 59) P : » et « 60) E : ». Lorsqu'il demande si la condition est suffisante, l'élève l'interprète comme si sa réponse est bonne et qu'il faut juste ajouter une condition supplémentaire. Ce type de dialogue ne permet à un élève de s'interroger sur la validité de ses propositions.

- 52) P : Pour que (D) soit la médiatrice, est-ce que cette condition est suffisante ?
- 53) Es : Monsieur (des élèves lèvent leurs mains pour répondre).
- 54) Es : Monsieur.
- 55) P : Il y a combien de conditions ?
- 56) E : (D) coupe [AB] par son milieu et (D) est perpendiculaire [AB].
- 57) P : On a (D) qui coupe [AB] à son milieu et qui est perpendiculaire à (AB), donc (D) est la médiatrice de [AB].
- 58) L'élève écrit au tableau (le même élève) : ((D) est la médiatrice de [AB] parce que (D) coupe [AB] à son milieu et est perpendiculaire à [AB].
- 59) P : Là qu'est ce qu'on peut dire de la distance IA et de IB? (Il fait toujours allusion à la figure 2).**

60) E : La distance AI est égale à la distance IB.

En revenant sur l'égalité des distances, l'élève estime que sa définition est validée et répète la même erreur à « 69) E : » puis à « 79) E : ».

61) P : Passons à la figure 3.

(L'élève commence à écrire.)

62) P : Tu donnes la réponse d'abord (oralement).

63) E : (D) est la médiatrice du segment [AB].

64) P : Pourquoi ? Tu donnes la justification.

65) E : Parce que (D) est le milieu du segment [AB] et perpendiculaire à [AB].

66) P : Non (D) est une droite. Est ce que (D) peut être un milieu ?

67) E : Parce que (D) est la médiatrice du segment [AB] et perpendiculaire à [AB].

68) P : Tu dis que (D) est la médiatrice du segment [AB], pour que (D) soit la médiatrice quelles sont les conditions ?

69) E : C'est parce que AI est égale à IB.

70) P : AI est égale à IB, on a là une première condition, la deuxième condition c'est quoi ?

71) E : La droite (D) est perpendiculaire au segment [AB].

72) P : La droite (D) est perpendiculaire au segment [AB]. Quand dit-on que deux droites sont perpendiculaires ?

73) E : Deux droites sont perpendiculaires quand elles forment un angle droit.

74) P : Regarde la figure 3 est-ce que tu as effectivement un angle droit ?

75) E : Non ;

76) P : Est qu'elles sont perpendiculaires alors ?

77) E : Non.

78) P : Alors qu'est ce qu'on dit ?

79) E : AI est égale à IB.

80) P : AI est égale à IB, mais est-ce que (D) est la médiatrice ?

La persistance de l'erreur de l'élève est certainement due à une erreur de logique, très fréquente, qui est liée à la formulation de la négation d'une proposition. La proposition ($p \Rightarrow q$) est, pour nombre d'élèves, équivalente à ($\neg p \Rightarrow \neg q$). Ainsi, pour l'élève, « la droite (D) ne passe pas par le milieu de [AB] donc elle n'est pas médiatrice » est équivalente à la proposition « si une droite passe par le milieu d'un segment alors c'est une médiatrice ». Pour surmonter cette erreur, le professeur devrait provoquer les interactions entre élèves que S_2 lui avait proposées pendant la préparation de la séance (voir première étape des paramètres de qualité d'intendance de cette séance). Il ne s'agira pas de revenir sur la différence entre la négation d'une proposition et sa contraposée, mais d'organiser un débat dans la classe sur le raisonnement fait par l'élève et les contradictions qu'il soulève.

b5) Le paramètre de qualité d'institutionnalisation

On peut constater une absence de synthèse de l'activité, ce qui aurait pourtant permis au professeur de répondre à la question qui a été posée au début de l'activité. Quelle est la figure où la droite (D) est médiatrice du segment [AB] et pourquoi ? Le travail qu'il a organisé a bien montré que c'est seulement la figure 2 où les deux conditions sont réunies pour parler de la médiatrice d'un segment.

87) P : C'est bon ?

88) E : Oui.

89) P : Donc prenez la correction (jusque-là aucune figure n'est tracée).

Bien qu'aucune synthèse de l'activité n'ait été faite, on ne peut pas dire qu'il y ait absence totale d'institutionnalisation. En effet :

Régulièrement le professeur a renvoyé les élèves au milieu :

48) E : (D) est la médiatrice.

49) P : Pourquoi ?

50) E : C'est parce que la distance $IA = IB$

51) P : Distance IA égale distance de IB, est ce que c'est suffisant ?

52) P : Pour que (D) soit la médiatrice, est-ce que cette condition est suffisante ?

Il statue sur la validité de certains énoncés et précise ce qui fait l'objet de son enseignement :

57) P : On a (D) qui coupe [AB] à son milieu et qui est perpendiculaire à (AB), donc (D) est la médiatrice de [AB].

58) L'élève écrit au tableau (le même élève) :

(D) est la médiatrice de [AB] parce que (D) coupe [AB] à son milieu et est perpendiculaire à [AB].

Plusieurs fois, le professeur fait préciser ce qui fait l'objet de son enseignement. Parfois, il va même au-delà : il sollicite des élèves une formulation correcte des propositions. On peut considérer que sur ce plan, par rapport au niveau de sa classe, son attitude est encourageante : l'exercice de grammaire est important pour ces élèves de sixième car, au-delà de l'étude de la langue, il participe à la construction des concepts scientifiques.

34) P : C'est parce que la distance AI n'est pas égale à la distance IB.

35) P : Ecris ça au tableau.

36) E : L'élève écrit « exercice 19 page 39 » ; figure 1. (D) n'est pas la médiatrice de [AB] parce que la distance AI ne t'égale pas à la distance de IB.

37) P : Ne ? (Il demande à l'élève de répéter).

38) P : qu'est ce qu'il doit dire ?

39) Es : N'est pas égale...

40) P : Je n'ai pas entendu, tu répètes.

41) P : Tu peux continuer ta phrase : la distance n'est pas égale ...

42) E : n'est pas égale que la distance de IB (l'élève efface et écrit « n'est pas égale que la distance de IB »).

43) P : C'est correct ? Il dit que la distance AI n'est pas égale que la distance de IB.

44) E : Non, on dit « la distance AI n'est pas égale à la distance IB » (l'élève rectifie et écrit « exercice 19, page 39 » ; figure 1. (D) n'est pas la médiatrice de [AB] parce que la distance AI ne pas égale à la distance IB).

b6) Le processus de genèse instrumentale

Cette expérimentation révèle une évolution du niveau d'instrumentation de l'enseignant quant à l'organisation et à la gestion du milieu. Le professeur propose des indications et fait aussi l'effort de préciser les buts et sous buts de son activité.

On constate, également, un niveau d'instrumentalisation appréciable pour la gestion du milieu de l'élève. Le problème proposé par le groupe fait travailler les élèves sur une activité de reconnaissance de la médiatrice. Le professeur a choisi de travailler sur deux activités

différentes : avec la question a) il tente de construire une représentation mentale de la médiatrice et essaye, ensuite, avec la deuxième b) de faire construire aux élèves, au compas et la règle, la médiatrice d'un segment.

Seulement, le professeur ignore l'intérêt de faire travailler les élèves sur plusieurs représentations (§II-2-3). Ainsi, à la question a) il n'accorde pas d'importance à la représentation graphique de la médiatrice.

Le professeur ignore aussi que les outils ne sont pas neutres dans la construction du savoir : la règle et l'équerre permettent de construire la médiatrice comme une droite passant par le milieu d'un segment et perpendiculaire à ce segment. L'utilisation du compas et de la règle pour construire une médiatrice est une autre activité mathématique car elle utilise la propriété de l'équidistance des points de la médiatrice par rapport aux extrémités du segment. Ainsi, le professeur en modifiant l'activité change le milieu de l'élève et le type de connaissance qu'il construit avec ses élèves. Il change donc son propre milieu :

« Il faut préciser ce que nous entendons par milieu de l'enseignant : nous considérons que les connaissances du professeur s'exercent et se construisent sur le milieu que lui renvoie :

- 1) la situation (celle qu'il a mise en œuvre pour l'élève)
- 2) les élèves (leur procédure, leurs erreurs...) » (Bloch 2000).

Le processus d'instrumentalisation du milieu apparaît dans la gestion de chacune des questions a et b.

- Avec la question a) ce processus s'est bien déroulé avec des modifications que le professeur a faites.

9) P : Vous préparez l'exercice 19, page 39 (Il s'agit d'un exercice de la collection CIAM).



14) P : **Tu lis l'exercice, arrête d'écrire et tu lis l'exercice (le professeur s'adresse enfin à l'élève qu'il a envoyé au tableau).**

15) P : **Lis l'exercice (l'élève lit l'énoncé).**



24) E : Que la droite est médiatrice du segment [AB].

25) P : **On te demande d'identifier la figure où la droite (D) médiatrice du segment [AB].**

26) E : **C'est la figure n°2.**

27) P : **On commence par la première figure.**

L'élève ne comprend pas la réaction du professeur, qui précise sa question.

28) P : **Est-ce que (D) est la médiatrice (elle désigne la première figure)?**

Pourtant la réponse « 26) E : » était bonne, mais le professeur veut amener l'élève à expliquer et justifier ses réponses. Il ne s'agit plus de désigner la bonne figure mais de la justifier.

28) P : Est-ce que (D) est la médiatrice (Il désigne la première figure)?

29) E : Non,

30) P : **Pourquoi ?**

- 31) E : Parce que les distances ne sont pas égales.
 32) P : **Quelles distances ?**
 [N]
 45) P : Maintenant on passe à la figure deux.
 46) E : (D) est la médiatrice ... (L'élève commence à écrire la réponse).
 47) P : **Tu donnes la réponse d'abord.**
 48) E : (D) est la médiatrice.
 49) P : **Pourquoi ?**
 50) E : C'est parce que la distance $IA = IB$.

51) P : Distance IA égale distance de IB, est ce que c'est suffisant ?

[N]

- 61) P : Passons à la figure 3.
 (L'élève commence à écrire.)
 62) P : **Tu donnes la réponse d'abord** (oralement).
 63) E : (D) est la médiatrice du segment [AB].
 64) P : Pourquoi ? **Tu donnes la justification.**
- Avec la question b) l'instrumentalisation du milieu (§II-4-5) a complètement modifiée l'activité.

Ce travail d'organisation, de réorganisation du milieu est plus intéressant quand le professeur détourne le débat pour en provoquer un autre qui permet de mieux construire les objets mathématiques voulus. L'activité proposée aux élèves (Encadré 41) est d'expliquer, d'une part que I est milieu du segment et, d'autre part, que (D1) est la médiatrice du segment.

Considérons la figure 3 :

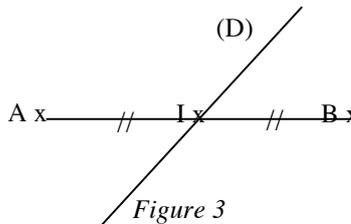


Figure 3

1) *Que représente le point I ? Explique ta réponse.*
 2) *Soit une droite (D1) passant par I et perpendiculaire à [AB]. Que peux-tu dire de la droite (D1).*

Encadré 41 : extrait de la fiche élève de la ressource de \mathfrak{R}_3 .

Le professeur modifie l'activité. Il ne s'agit plus pour la classe de raisonner à partir d'une figure mais :

- de placer le milieu d'un segment « 104) P : » ;
 - d'expliquer, justifier sa construction « 113) P : » ; « 119) P : » ; « 123) P : » ;
 - de construire le milieu avec la règle et le compas « 130) P : » ; « 131) P : » ; « 133) P : ».
- 98) P : Toi au tableau.
 99) **P : Prend la règle et reprend la figure 3 au tableau (elle s'adresse à un élève qu'elle vient d'envoyer au tableau).**
 100) L'élève trace le segment [AB].

- 101) P : Tu reprends la figure 3 au tableau (il s'adresse encore à l'élève qui est au tableau).
- 102) P : Tu regardes dans le livre la figure 3, c'est ça que tu dois reprendre exactement au tableau.
- 103) P : Mademoiselle pose le livre sur la table et reprend la figure 3 au tableau (elle s'adresse à l'élève qui est au tableau, celle-ci voulait prendre le livre et faire la figure).**
- 104) P : Dépêche toi, tu as vu la figure 3 ? Tu places le point I (I est le milieu du segment [AB]).**
- 105) L'élève place le point I quelque part sur le segment [AB].
- 106) P : Comment tu as fait pour placer le point I ?**
- 107) P : Est ce qu'on place le point I par Hasard ?**
- [M]**
- 113) P : Comment on fait (il s'adresse à l'élève qui est au tableau)?**
- 114) E : Je compare (l'élève compare les mesures avec l'écartement du compas). (Les longueurs ne sont pas égales). Il prend la règle et mesure les longueurs.
- [M]**
- 119) P : Tu vérifies avec le compas si tu as le milieu.**
L'élève vérifie et ça ne marche pas.
- 120) Es : Monsieur, Monsieur... (des élèves se lèvent pour être interrogés).
 L'élève qui est au tableau reprend sa construction et constate avec le compas que le point n'est pas au milieu.
- 121) Es : Monsieur, Monsieur... (des élèves se lèvent pour être interrogés).
- 122) P : Toi au tableau (un autre élève est envoyé de nouveau au tableau).
 L'élève mesure le segment et essaye de prendre la moitié.
- 123) P : Tu vérifies avec le compas si tu as le milieu.**
L'élève vérifie et ça ne marche pas.
- 130) P : On va utiliser le compas. (un autre élève est envoyé au tableau).**
- 131) P : Avec le compas, comment placer le milieu ?**
- 132) Es : Monsieur, monsieur...
 L'élève envoyé au tableau place le point et la mesure est juste.
- 133) P : Maintenant avec le compas tout simplement comment peut-on placer le point I ?**
- 134) Quatre élèves sont passés sans pouvoir utiliser le compas pour placer le point I

Ce détournement d'objectif et de milieu est intéressant. Le professeur, lui-même, est obligé de réorganiser ses connaissances et ses stratégies d'enseignement. C'est d'ailleurs toute la difficulté que rencontrent les enseignants en formation, cette capacité à réorganiser le jeu, à le détourner et à revenir sur son objectif d'enseignement : intégrer la genèse instrumentale des élèves par rapport à leur milieu dans une situation d'apprentissage.

Conclusion

Si le stagiaire n'avait pas eu de difficultés de gestion du choix de l'élève à envoyer au tableau, on pourrait conclure qu'il a eu l'émergence de qualités d'observation. On peut faire l'hypothèse qu'une fiche professeur bien structurée pourrait l'aider à surmonter ces difficultés. On constate des efforts faits au niveau de l'organisation de situation pour l'action sans, toutefois, sous-estimer les difficultés relatives à la gestion des problèmes de logiques et à la coordination des registres de représentation. Les paramètres de qualités d'orchestration du milieu sont apparus au niveau de l'orchestration du milieu. Ces difficultés sont liées à

l'émergence de qualités *d'organisation des phases de dénomination et de détermination des tâches* et à l'émergence de qualités d'institutionnalisation. Le professeur a fait des efforts au niveau de l'institutionnalisation. On note l'émergence d'un bon niveau d'instrumentalisation du milieu qui apparaît comme une poursuite de l'activité de construction de projet qu'il avait entamé avec les S_2 et S_3 . Le travail de groupe apparaît ainsi comme une aide à un travail réflexif au cours de la séance : il peut favoriser l'articulation entre les qualités d'intendance et les qualités d'orchestration. Il reste cependant insuffisant pour organiser son enseignement. Nous pensons qu'un scénario d'usage pourrait faciliter l'articulation des différentes étapes de la séance.

c) *Analyse de la troisième expérimentation*

La troisième expérimentation a été préparée par le stagiaire, seul, à l'aide d'une ressource structurée (Annexe 6 ; \mathfrak{R}_3). Cette ressource est conçue sous le modèle 2 (figure 23). Elle comporte donc une fiche d'identification, une fiche élève (Encadré 42), un scénario d'usage, une fiche professeur, une fiche de formation et un compte-rendu d'expérimentation. Le professeur avait déjà donné à ses élèves un exercice à chercher. Pour élaborer la fiche élève nous avons pris en compte cet exercice et nous l'avons modifié pour le rendre plus proche des besoins de la classe. Cette activité, devrait faciliter, pour les élèves :

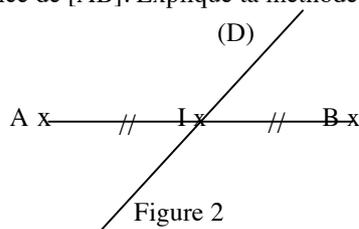
- la mise à mot des faits et gestes permettant la représentation graphique de la médiatrice d'un segment (organiser l'activité pour la coordination de registres de représentation) ;
- la prise en compte de conditions nécessaires ou suffisantes pour la construction de la médiatrice (travailler les conceptions sur les notions de logique apparues lors de la 2^{ème} expérimentation) ;
- le travail sur le sens qu'il faut donner à l'objet médiatrice en tant que objet mathématique mais également en tant que outil de construction d'objet mathématique (construction du centre du cercle circonscrit à un triangle).

Lors de la deuxième expérimentation, le professeur a eu des difficultés à gérer les interactions, nous avons conçu une fiche de formation pour lui faciliter la prise en charge ces difficultés.

Le protocole $P(S_1, \mathfrak{R}_3)$ de cette séance est conçu suivant le modèle décrit (§III-3-1b).

CIAM, exercice n° 19 page 39 modifié

Sur la figure, ci-dessous, trace la médiatrice de [AB]. Explique ta méthode de construction.



CIAM, exercice n° 21 page 39 modifié.

- 1) Trace un quadrilatère NGOM.
- 2) Construis la médiatrice de chaque côté de ce quadrilatère NGOM.
- 3) Construis la médiatrice de la diagonale [NO].
- 4) Soit I le point commun aux trois médiatrices des segments du triangle NGO, trace le cercle de centre I et de rayon IO. Explique pourquoi ce cercle passe par les sommets du triangle KLO.

Encadré 42 : fiche élève de la ressource \mathfrak{R}_3 .

c1) *Le paramètre de qualité d'organisation des phases de dénomination et de détermination des tâches des élèves*

On peut soutenir lors de cette expérimentation qu'il y'a eu émergence de cette qualité relative à l'organisation des phases de dénomination et de détermination des tâches des élèves.

En effet, un moment important lors de cette organisation est la vérification des outils nécessaires aux élèves pour démarrer leurs activités.

L'enseignant a compris les enjeux liés cette vérification. Avant de démarrer l'activité le professeur a remis à chaque élève une fiche, commenté quelques éléments de la fiche puis vérifié le travail des élèves. Ce travail de vérification est important dans ces classes où les effectifs sont importants. Sans cette présence physique, qui ne signifie nullement une substitution à l'élève dans ses activités, le professeur risque de perdre le contrôle de son enseignement.

12h00

- 1) P : Sortez l'exercice.
- 2) P : Sortez l'exercice que je vous ai donné la dernière fois.
- 3) P : Efface le tableau (le professeur demande à un élève d'effacer le tableau).

Le professeur sort un instant et revient. **Le professeur distribue les feuilles (la fiche élève de la ressource).**

12h06

- 4) P : C'est l'exercice que l'on faisait la dernière fois, vous l'avez ici en haut. Le professeur désigne du doigt la première partie de la fiche élève, lit la question « **Trace la médiatrice du segment [AB]. Explique ta méthode de construction** ».
- 5) P : Vous l'avez terminé ?
- 6) E : Oui.
- 7) P : Ouvrez vos cahiers (le professeur fait le tour pour voir ce qui est fait).
- 8) P : Je vous avais demandé de terminer ça à la maison. Hé ? (Le professeur continue de faire le tour pour voir les productions des élèves).

Il faut, également, noter que l'enseignant a fait un travail d'explicitation des types de tâches qu'il propose aux élèves et un effort pour les rendre intelligibles. On peut constater que ce travail de clarification n'est pas synonyme, chez l'enseignant, de proposition de solutions. Il

vérifie si les élèves savent bien ce qu'on leur demande, il essaye de clarifier les parties délicates et le sens de certaines questions. Aucun de ses propos ne peut être assimilé à une proposition de piste de solutions. L'autre effort fait par le professeur est la gestion de la transition entre l'activité antérieure et l'activité du jour.

28) P : L'exercice qui est là (le professeur montre la fiche), c'est l'exercice 21 page 39, ce n'est pas la peine de le reprendre parce que vous l'avez déjà fait, on a juste ajouté quelques questions (le professeur avait déjà demandé aux élèves de chercher l'exercice). Il vous suffit, tout simplement, de regarder le quadrilatère que vous avez fait. Au lieu de mettre KLOI, vous changez K par N, L par G, le point I vous le changez par le M. Est ce que vous comprenez ? C'est le même exercice qu'on a dans le livre mais ce sont les points simplement qu'on a changés. On avait KLOI et là on a NGOM. Donc, je suppose que la première et la deuxième question, vous les avez déjà faites à la maison. Il reste la troisième question (le professeur lit la 3^{ème} question qui a été ajoutée sur l'énoncé, cette question et la question 4 ne sont pas dans le livre des élèves).

29) P : Quelqu'un pour lire l'exercice ?

Un élève lit le texte, il interroge un autre élève qui lit le texte à nouveau.

30) P : Un autre.

31) Es : Monsieur, monsieur...

32) P : Un garçon (les deux premières étaient des filles).

Le garçon lit « kadrilatère » au lieu de « kuadrilatère » (rire dans la classe).

33) P : Qu'est-ce qu'on dit ?

34) Es : Quadrilatère.

35) P : On dit « kuadrilatère » (le professeur rectifie).

c2) *Le paramètre de qualité d'observation*

Ce travail d'observation n'est pas chose aisée. En effet, les élèves fonctionnent avec des conceptions qui, pour certaines, sont induites par l'enseignement qu'ils ont reçu, d'autres, par une intrusion du langage naturel dans le travail mathématique. Lorsque ces deux types de conceptions surgissent, en même temps, dans l'activité mathématique, l'enseignant qui n'a pas une bonne formation didactique et mathématique peut se perdre dans les propos confus des élèves. Pour recenser les connaissances et les procédures, le professeur doit être armé d'une grille de lecture. Cette grille fonctionnerait avec au moins trois indicateurs dont la complexité a fait qu'il est difficile de les prendre en compte dans une seule ressource :

- d'abord les conceptions, celles-ci qui peuvent être à l'origine de constructions cohérentes mais fausses, si on y prête un peu attention, comme démarche mathématique. Identifier les conceptions demande au professeur d'étudier les difficultés des élèves en dehors des mathématiques, le langage par exemple ;
- un autre indicateur est fourni par l'étude épistémologique des concepts. En effet, les erreurs commises par les élèves apparaissent souvent comme une répétition de celles qui ont été commises au cours du développement historique des concepts. Pour prendre en charge cet indicateur le professeur doit d'étudier le développement historique des concepts qu'il enseigne. Mais, les tâches des enseignants sont tellement complexes que livrés à eux-mêmes, beaucoup d'enseignants ont des difficultés pour faire, seul, ce travail ;
- le dernier indicateur est la maîtrise les connaissances mathématiques ; la maîtrise des organisations mathématiques. Etant donné un type de tâches, l'enseignant, selon l'institution, doit être capable de déterminer un ensemble de techniques viables dans

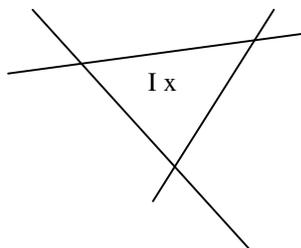
l'environnement qu'il a créé. Il doit aussi avoir une maîtrise de l'environnement technologico-théorique relatif à chaque technique. Cette connaissance approfondie de l'environnement technologico-théorique est nécessaire pour pouvoir anticiper sur les types de validation que les élèves en situation seront amenés à produire. L'ignorance de cet environnement amène l'enseignant à fonctionner avec des techniques « clé en main » : il rejette des conjectures audacieuses et mathématiquement très intéressantes, admet comme outil démonstratif des propos tautologiques qui n'ont aucun avenir mathématique.

Lors de cette expérimentation, deux types de conceptions étaient à l'origine des difficultés rencontrées par les élèves :

- d'abord les élèves pensent que les trois médiatrices sont sécantes deux à deux et que le point commun à ces trois médiatrices est celui qui est équidistant de ces trois médiatrices ;
- ensuite, pour eux, le point I est équidistant de ces trois médiatrices signifie que le point se situe dans le domaine délimité par les droites « au centre ».

La première conception est *peut-être* liée au sens du mot « **commun** ». Des élèves ne sachant pas que les médiatrices sont concourantes, ils estiment que les 3 médiatrices sont sécantes deux à deux. Le point commun à ces trois médiatrices est donc, pour eux, celui qui est équidistant de ces trois médiatrices ;

Par ailleurs, il faut noter aussi que pour la plupart des élèves, équidistant des trois droites implique que le point se situe dans le domaine délimité par les droites. Ainsi les élèves pensent que les trois médiatrices sont sécantes deux à deux et que I est au « centre ».



- 37) P : *Qu'est-ce qu'on demande ? On vous demande de placer le point I qui est commun aux trois médiatrices du triangle NGO. Vous tracez le triangle NGO avec une autre couleur.*
- 38) P : Pour placer le point I que faut-il faire ?
- 39) E : Il faut chercher le **milieu** de la diagonale [NO].
- 40) P : Donc pour toi I est le milieu de [NO]. Et toi ? (le professeur interroge un autre élève).
- 41) E : On doit construire le **milieu** de la médiatrice de [NO].
- 42) P : Une droite, on construit le milieu d'une droite. Cette droite-là, ce côté là est illimité et ce côté là également est illimité et on construit le milieu de la droite ?
- 43) P : *Vous posez vos crayons et vous suivez.*
- 44) P : *Pour avoir le point I qu'est ce qu'il nous faut ?*
- 45) E : Monsieur (un élève lève sa main et souhaite être interrogé).
- 46) P : Oui.
- 47) E : Il faut chercher la médiatrice de [NO].
- 48) P : Si on a médiatrice de [NO], comment on fait pour avoir I ?
- 49) P : *Comment on fait pour avoir I ? Que représente I ?*

50) E : Le milieu.

51) P : Ce n'est pas le milieu. Lit l'énoncé (le professeur ne doute pas que les élèves n'ont pas réalisé que ces droites peuvent être concourantes ; ils pensent que les droites se coupent deux à deux, ils sont loin d'imaginer que ces droites se coupent en un point). Les élèves partent de leur conception de droites sécantes deux à deux pour donner du sens à la phrase « I est le point commun aux trois droites » ; le professeur doit se poser des questions sur les conceptions des élèves qui font que ces derniers n'arrivent pas à expliquer la phrase).

52) E : Soit...(l'élève lit l'énoncé : soit I le point commun aux trois médiatrices des segments du triangle NGO, trace le cercle de centre I et de rayon IO).

53) P : Qui est-ce qui peut expliquer ça, on dit que I est le point commun aux trois médiatrices des segments du triangle NGO.

54) P : Quelqu'un pour nous expliquer ça d'une autre manière.

55) E : I se trouve au milieu des trois médiatrices.

56) P : Toi (il interroge un autre élève).

57) E : I se trouve au milieu du triangle NGO.

58) P : Toi (il interroge un autre élève).

On peut voir que la construction de cette qualité d'observation est très difficile. Elle suppose une bonne formation mathématique et surtout didactique. Or, cela ne peut avoir lieu que progressivement. On constate cependant, dans la démarche du professeur, le début de l'émergence de cette qualité. En effet, le premier geste du professeur après avoir posé une question est d'aller voir comment les élèves l'ont traitée. En observant les productions des élèves, on peut constater qu'il reprend certaines questions. On peut considérer que c'est une méthode, pour lui, d'aider les élèves à extraire des informations pertinentes contenues dans la fiche et traiter l'activité. Cela peut faciliter également l'interaction des élèves avec leur milieu a-didactique. Ce travail d'observation lui permet de recenser les méthodes utilisées par les élèves qui permettraient de cibler ses décisions pendant la situation d'enseignement. Ainsi, il peut extraire des informations pertinentes contenues dans les productions des élèves pour organiser leur milieu. Ce qui facilitera certainement l'interaction des élèves avec le milieu.

2) P : C'est l'exercice que l'on faisait la dernière fois, vous l'avez ici en haut. Le professeur désigne du doigt la première partie de la fiche élève, lit la question « trace la médiatrice du segment [AB]. Explique ta méthode de construction ».

3) P : Vous l'avez terminé ?

4) E : Oui

5) P : Ouvrez vos cahiers (le professeur fait le tour pour voir ce qui est fait).

27) P : Quelqu'un pour lire l'exercice.

Un élève lit le texte, il interroge un autre élève qui lit le texte de nouveau.

34) P : Vous terminez ça rapidement.

Le professeur remplit le cahier de texte et fait l'appel, il arrête de faire l'appel **puis il fait le tour de la classe et discute avec quelques élèves de leur solution.**

37) P : Qu'est ce qu'on demande ? On vous demande de placer le point I qui est commun aux trois médiatrices du triangle NGO. **Vous tracez le triangle NGO avec une autre couleur.**

53) P : Qui est-ce qui peut expliquer ça, on dit que I est le point commun aux trois médiatrices des segments du triangle NGO ?

54) P : Quelqu'un pour nous expliquer ça d'une autre manière ?

c3) *Le paramètre de qualité d'organisation de situation pour l'action*

Il est intéressant de noter que la technique utilisée par l'élève pour construire la médiatrice est tout à fait adéquate au problème : « Etant donné un segment [AB] et son milieu I, tracer la médiatrice ». L'élève a utilisé l'équerre pour tracer la perpendiculaire passant par I. L'activité de l'élève est d'autant plus intéressante qu'il devait d'abord choisir l'outil avant de construire la médiatrice. Le professeur avait mis à sa disposition une équerre, un compas et une règle. Si on considère, comme Rabardel (1999), que « *L'utilisation d'un instrument accroît les capacités assimilatrices du sujet et contribue à l'ouverture du champ des actions possibles* », on peut mesurer l'importance du choix d'un outil pour l'élaboration d'une technique.

Le professeur de mathématiques doit prendre conscience que l'outil n'est pas neutre dans le processus de construction d'une technique relative à un type de tâches mathématique. Réciproquement, il doit aussi comprendre que l'élaboration d'une technique mathématique commande un choix judicieux des outils à utiliser pour sa construction. S'agissant des outils matériels, dans le programme sénégalais, où la médiatrice d'un segment est définie comme une droite passant par le milieu du segment et perpendiculaire au support de ce segment et où l'équidistance est une propriété caractéristique, l'utilisation d'un compas ou d'une équerre pour construire une médiatrice n'est pas neutre par rapport au temps didactique. La construction d'une médiatrice d'un segment avec le compas s'appuie sur la propriété d'équidistance alors que la règle et l'équerre permettent de construire l'objet à partir de la définition. Ainsi, au cours de son activité, où l'élève devra utiliser des outils pour réaliser des techniques mathématiques, le professeur doit intégrer la genèse instrumentale des outils mathématiques dans le processus d'instrumentation des élèves avec les techniques mathématiques. Nous estimons que ce travail du professeur sur le processus d'instrumentalisation de l'élève, par rapport aux techniques mathématiques, favorise chez lui l'émergence de ses qualités *d'organisation de situation pour l'action*

Dans bien des cas, les enseignants ont tendance à se laisser convaincre par la qualité d'utilisation d'un outil. Ils se satisfont souvent d'une belle figure. Or, des questions sur la façon dont une figure est construite et les outils utilisés pour la construction sont autant de d'interrogations qui peuvent aider les élèves à extérioriser leur manière de faire et à accompagner leurs gestes par la parole et les rendent plus transparents. Nous estimons que ce travail sur la congruence entre le langage comme outil, la représentation graphique et l'objet mental construit par l'élève, doit être fait par l'enseignant pour aider une bonne conceptualisation. Le professeur, en organisant un débat dans ce sens, pousse les élèves à mettre un mot sur cette représentation et il peut ainsi s'interroger sur la fidélité des représentations par rapport à leur conception mentale. D'ailleurs, pour Drijvers (2002) :

« Afin d'établir cette relation complexe entre technique machine, conception mentale et travail papier/crayon, il est important que les élèves perçoivent une congruence entre les trois aspects. Il faut qu'ils soient capables de lier l'image mentale, la façon traditionnelle de résoudre et l'approche du SCF (Système de Calcul Formel). En même temps, ces trois composantes différentes peuvent se compléter et ainsi stimuler leurs développements respectifs. Il faut donc nous assurer que les conceptions mentales, le SCF et le travail papier/crayon se soutiennent et fusionnent dans une conception complète. Pour atteindre cet objectif, une stratégie commode pour les enseignants peut être de demander aux élèves qui travaillent dans un environnement SCF comment ils pourraient continuer s'ils n'avaient que le papier/crayon, ou l'inverse ».

11) P : Ca y est ?

- 12) E : Oui
- 13) **P : Comment tu as fait pour tracer la médiatrice (l'élève ne parle pas fort) ?**
- 14) **P : Vous vous adressez à la classe. Comment tu as fait ?**
- 15) E : J'ai tracé avec l'équerre, je pose l'équerre sur le point I et je trace.
- 16) **P : Pourquoi tu as placé l'équerre dans cette position-là ?**
- 17) E : Pour qu'elle forme un angle droit.
- 18) **P : Qu'est ce qui forme un angle droit ?**
- 19) E : le point I,
- 20) Es : Monsieur (les élèves ne sont pas satisfaits de la réponse de leur camarade).
- 21) P : Toi (le professeur envoie un autre élève au tableau).
- 22) E : La médiatrice doit être perpendiculaire avec le segment.

Le professeur pouvait compléter son travail d'organisation du moment d'élaboration d'une technique. Il pouvait, par exemple, revenir sur la construction de la médiatrice en utilisant le compas et organiser un débat sur l'explication et peut-être même la justification de la méthode. La constitution d'un milieu a-didactique pouvait également se faire avec les figures particulières choisies par certains élèves : le professeur dans ce cas, au lieu de demander aux élèves d'exclure le carré, le rectangle ou le parallélogramme laisserait les élèves travailler avec de telles figures et leur ferait utiliser leurs propriétés pour construire des médiatrices. Il pouvait demander, par exemple, pourquoi la médiatrice d'une diagonale d'un losange est une diagonale.

- 72) P : Lorsqu'on vous demande de construire un quadrilatère en général, vous prenez une figure quelconque, de fait, vous allez exclure le carré car les 4 cotés sont égaux.

c4) Le paramètre de qualité d'institutionnalisation

Au cours de cette séance, le phénomène qui est apparu et que l'on retrouve souvent dans des activités d'études mathématiques est la difficulté liée à l'institutionnalisation lors d'une séance « de construction géométrique ». En effet, si les professeurs réussissent bien le travail sur les interactions didactiques et la validation des énoncés produits par les élèves, ils rencontrent souvent des problèmes au niveau de la précision de ce qui fait l'objet leur enseignement.

Pour nombre de professeurs, une représentation géométrique est juste un outil pour construire une représentation mentale. Or, en matière d'enseignement, la réalité est tout autre : le travail sur les registres est un moyen et non une fin pour une bonne conceptualisation. Selon Duval (1993), les représentations sémiotiques permettent de développer l'activité mathématique et d'accéder à la variété des objets et des démarches mathématiques. Elles jouent également le rôle de productrices de connaissances dans la mesure où c'est grâce à la présence de plusieurs représentations qu'une personne peut expliquer de différentes façons un même concept. Ainsi, nous estimons que le fait de demander à des élèves de reprendre une figure n'est pas un étiquetage mais un travail de construction de savoirs. Par ailleurs, on sait que, pour Chevallard (1999), le moment d'institutionnalisation a pour objet de préciser ce qui est, « exactement », l'organisation mathématique élaborée. Dans cette perspective, on est surpris de constater que, lors des séances de constructions de figure, les enseignants n'accompagnent pas les figures de textes expliquant et justifiant les méthodes de construction. Ainsi, ils demandent aux élèves de prendre les figures, sans un mot sur les méthodes de construction et les objets représentés.

- 11) P : Ca y est ?

- 12) E : Oui.
- 13) P : Comment tu as fait pour tracer la médiatrice (l'élève ne parle pas fort) ?
- 14) P : Vous vous adressez à la classe. Comment tu as fait ?
- 15) E : J'ai tracé avec l'équerre, je pose l'équerre sur le point I et je trace.**
- 16) P : Pourquoi tu as placé l'équerre dans cette position -à ?**
- 17) E : Pour qu'elle forme un angle droit.**
- 18) P : Qu'est ce qui forme un angle droit ?**
- 19) E : Le point I,
- 20) Es : Monsieur (les élèves ne sont pas satisfaits de la réponse de leur camarade).
- 21) P : Toi (le professeur envoie un autre élève au tableau).
- 22) E : La médiatrice doit être perpendiculaire avec le segment.
- 23) P : La médiatrice doit être perpendiculaire avec le support du segment [AB], avec la règle et l'équerre, on va donc poser l'équerre de telle sorte que la médiatrice et le segment forment un angle droit. C'est pas le point I mais c'est la médiatrice et le segment qui forment un angle droit.**
- 24) P : Donc on va passer à l'exercice 2 (la question 2).
- 25) P : Vous corrigez d'abord.**

Les conséquences d'une telle manière de faire sont les difficultés des élèves à revisiter leur apprentissage hors classe et le professeur de constater que l'édifice qui était fait pour durer ne l'est pas car il manquait le plan de construction pour des remédiations éventuelles.

- 73) P : Mais trace la médiatrice avec le compas.
L'élève ne parvient pas à bien utiliser le compas.
- 74) P : Mais qu'est-ce qu'il faut faire ?
- 75) P : Quelqu'un peut venir pour nous montrer comment on cherche le milieu rapidement.
- 76) Es : Monsieur, monsieur ...
L'élève ne parvient pas à tracer la médiatrice.
- 77) P : Donc, tout ce qu'on a fait la dernière fois, on va être obligé de revenir dessus.

c5) *Le processus de genèse instrumental*

L'artefact étudié ici est la ressource pédagogique. Le niveau d'instrumentation renvoie à la capacité d'utilisation des fonctionnalités de la ressource telles qu'elles ont été prévues par le concepteur. Quant au niveau d'instrumentalisation, il relève de l'aptitude à une utilisation autre de la ressource qui dépasse, parfois, les espoirs du concepteur et ses objectifs. La fiche d'identification de la ressource (Encadré 43) propose une description de l'activité à mettre en œuvre en classe avec les objectifs d'enseignement et les objectifs d'apprentissage et de formation.

Objectifs d'apprentissage :	A la fin de ce cours, les élèves doivent être capables de construire la médiatrice d'un segment avec la règle et le compas.
Description de l'activité:	Les élèves travaillent, individuellement, le professeur enverra quelques élèves au tableau et fera une synthèse de leurs travaux.
Objectif de la formation :	Aptitude à gérer les activités des élèves individuellement puis collectivement.

Encadré 43 : *extrait de la fiche d'identification de la ressource de \mathfrak{R}_3 .*

- Niveau d'instrumentation

Le niveau d'instrumentation du stagiaire, par rapport à la ressource, peut se mesurer de plusieurs façons :

- d'abord, le stagiaire a fait sien le rôle qui est dévolu au professeur sur le scénario d'usage de la ressource (Encadré 44) tout en essayant de prendre en compte les éléments de la fiche de formation. Le scénario demande à ce que le professeur fasse le tour de la classe et qu'il regarde les travaux des élèves. Le professeur a essayé de suivre le scénario : « 7) P : » ;
- ensuite il a essayé de prendre en compte les éléments de la fiche formation relatifs à la gestion de l'activité de l'élève au tableau ; « 7) P : ». Cette fiche explique que le professeur doit demander à l'élève qui est au tableau d'expliquer à toute la classe ce qu'il fait.

Cette première étape est visiblement bien comprise par le stagiaire. D'ailleurs, sur son compte-rendu (Annexe 6 ; cr \mathfrak{R}_3), il estime que la ressource lui *a permis d'améliorer les techniques de conduite de TD et de gestion des élèves*.

12h00

- 1) P : Sortez l'exercice.
- 2) P : Sortez l'exercice que je vous ai donné la dernière fois.
- 3) P : Efface le tableau (le professeur demande à un élève d'effacer le tableau).

Le professeur sort un instant et revient. Le professeur distribue les feuilles (la fiche élève de la ressource).

12h06

- 4) P : C'est l'exercice que l'on faisait la dernière fois, vous l'avez ici en haut. Le professeur désigne du doigt la première partie de la fiche élève, lit la question « trace la médiatrice du segment [AB]. Explique ta méthode de construction ».
- 5) P : Vous l'avez terminé ?
- 6) E : Oui.
- 7) **P : Ouvrez vos cahiers (le professeur fait le tour pour voir ce qui est fait).**
- 8) P : Je vous avais demandé de terminer ça à la maison. Hé ? (Le professeur continue de faire le tour pour voir les productions des élèves).
- 9) P : Donc on va le terminer rapidement. Le professeur fait la figure au tableau et rappelle la question.
- 10) P : Quelqu'un au tableau pour faire ça rapidement (le professeur envoie un élève au tableau).
- 11) P : Tu as la règle, le compas et l'équerre ?
L'élève commence par tracer une autre figure.
- 12) P : Tu as le segment déjà tracé, c'est cette figure qu'on avait, on te demande de tracer la médiatrice du segment [AB].

(Le professeur sort pour quelques minutes, une surveillante est à la porte). L'élève qui est au tableau continue sans la présence du professeur. Elle utilise l'équerre pour tracer la médiatrice.

- 13) P : Ca y est ?
- 14) E : Oui.
- 15) P : Comment tu as fait pour tracer la médiatrice ?

L'élève ne parle pas fort.

- 16) **P : Vous vous adressez à la classe. Comment tu as fait ?**

Les étapes de la séance	La durée de chaque étape	L'organisation de l'espace classe	L'objectif visé	Le rôle de l'enseignant	Le rôle des élèves
1 ^{ère}	2 mn	Aucune organisation spéciale, Chaque élève reste à sa place habituelle.	Permettre aux élèves de reprendre l'étude qui a été entamée	Le professeur fait le tour de la classe. Il vérifie si l'exercice est fait ou pas. Il notera les idées (solutions comme erreurs) qui lui paraissent intéressantes. Il se gardera d'intervenir, sauf pour les élèves qui n'ont pas compris.	Les élèves doivent montrer leur solution au professeur.

Encadré 44 : extrait du scénario d'usage de la ressource de \mathfrak{R}_3 .

- Niveau d'instrumentalisation

Dans une ressource, le scénario d'usage décrit les modalités de mise en œuvre de la ressource dans la classe dont l'organisation de l'espace, du temps et du matériel et explicite le rôle des différents acteurs. La modification d'une partie du scénario peut bouleverser l'organisation de la ressource et peut être même l'organisation didactique que la ressource permet de mettre en œuvre. Lors de cette expérimentation, le professeur a réussi à modifier le scénario sans avoir de difficultés au niveau de l'organisation didactique. Il a fondu la troisième étape du scénario dans la première étape, ce qui lui a permis de mieux organiser la continuité de son activité par rapport à sa précédente. Cette modification lui a aussi permis de concevoir son activité du jour comme moment important du travail de la technique de construction d'une médiatrice. Si le professeur avait suivi le scénario, la troisième étape de celui-ci l'obligerait à provoquer une rupture dans l'organisation de sa classe. La non modification du scénario l'obligerait à concevoir sa séance d'une heure comme une juxtaposition de deux activités différentes. Pour lui, cette modification du scénario lui a permis de mieux gérer le temps *qu'il estime insuffisant pour l'activité* (Annexe 6 ; cr \mathfrak{R}_3).

Conclusion

Cette expérimentation a révélé une genèse instrumentale avancée et l'émergence de qualités d'orchestration. Nous avons constaté un rapprochement entre l'organisation mathématique et l'organisation didactique proposées dans la ressource et celles réalisées par l'enseignant dans sa classe. Ce qui dénote un bon niveau d'instrumentation.

Il faut noter que cette expérimentation révèle des difficultés liées à la gestion des paramètres de qualités d'observation et *d'organisation de situation pour l'action*. L'émergence de ces qualités nécessite un travail qui ne peut se faire que dans la durée par une transposition de savoirs didactiques.

d) Analyse de la quatrième expérimentation

Cette quatrième expérimentation est faite à partir d'une ressource structurée élaborée en groupe.

Pour faire l'analyse de cette expérimentation, nous avons commencé par l'étude de la ressource \mathfrak{R}_4 et des paramètres des qualités d'intendance. Ensuite, à travers $P(S_1, \mathfrak{R}_4)$, nous avons fait l'analyse de la séance et avons étudié les paramètres de qualités d'orchestration qui se sont construites à travers l'usage de \mathfrak{R}_4 .

d1) Les paramètres de qualité d'intendance

Lors de cette expérimentation, la préparation de la séance est faite en groupe. Les stagiaires S_1 , S_2 et S_3 en groupe ont repris la ressource \mathfrak{R}_3 . S_1 n'avait pas achevé l'activité prévue par \mathfrak{R}_3 lors de sa dernière séance. Le groupe a transformé la ressource \mathfrak{R}_3 en ressource \mathfrak{R}_4 . \mathfrak{R}_4 est donc une ressource structurée conçue dans le prolongement de \mathfrak{R}_3 et qui doit aider S_1 à poursuivre sa progression dans sa classe.

Contrairement à la préparation de la deuxième séance, le groupe n'a pas fait, cette fois-ci, une étude critique de la séance précédente avant de se pencher sur la préparation de la quatrième séance. S_2 et S_3 estiment qu'ils n'ont pas eu suffisamment de temps pour visionner le film de la séance.

S_1 a fait un exposé sur les difficultés qu'il a rencontrées lors de cette troisième séance : *difficultés à suivre le timing proposé par le scénario et à suivre l'élève interrogé* ; discours qu'il a repris dans le compte-rendu d'expérimentation (Annexe 6, cr \mathfrak{R}_3). Le groupe a estimé qu'il y avait suffisamment d'éléments dans la fiche de formation pour organiser les échanges entre élèves dans la classe. Pour le groupe, le scénario pourrait être simplifié pour mieux organiser les différentes phases de la séance. Le groupe a modifié le scénario et la fiche professeur. Le scénario est conçu avec 3 étapes, seulement, avec une durée de 30 minutes pour la construction et le débat (Annexe 6 ; \mathfrak{R}_4). Le travail sur la fiche professeur était un prolongement de l'activité, relatif à la construction du cercle circonscrit au triangle NOM. Cet ajout était, pour eux, un moyen pour vérifier si les élèves ont compris ce qui a été fait dans la ressource et s'ils sont capables de faire le transfert sur un autre triangle (un moment de travail de la technique pour l'organisation didactique). Ainsi, le groupe a surtout travaillé pour la restructuration de la ressource, autour de l'organisation didactique.

La ressource \mathfrak{R}_4 est conçue en gardant le même objectif pédagogique que la ressource \mathfrak{R}_3 c'est-à-dire *construire la médiatrice d'un segment avec la règle et le compas*. Comme avec \mathfrak{R}_3 , la ressource relie, dans un même thème, deux parties du programme de 6^{ème} : la construction de médiatrice et la construction de cercle. Ce qui fait que le cercle est, à la fois, un outil pour la construction de la médiatrice avec le compas et la règle, et un outil pour la justification de cette méthode de construction. Ce travail, qui pourrait être utile pour l'organisation mathématique, est complètement absent de la ressource.

On peut conclure que ce travail de groupe n'a pas permis l'émergence de paramètres de qualités noosphériques et que les paramètres de qualité de construction de projet d'enseignement sont juste émergents.

d2) Le paramètre de qualité d'organisation des phases de dénomination et de détermination des tâches des élèves

L'activité du professeur dans cette phase est une reprise de la technique de construction d'une médiatrice suivie d'une utilisation de la propriété d'équidistance. On peut noter lors de cette expérimentation l'émergence de cette qualité d'orchestration relative à l'organisation *des phases de dénomination et de détermination des tâches des élèves*. En effet le professeur a commencé par vérifier les travaux des élèves, il a également repréciser la question posée afin de mieux clarifier, pour certains élèves, le type de tâches : le professeur corrige les erreurs contenues dans l'exercice et rappelle les questions sur lesquelles les élèves doivent travailler.

12h00

- 1) P : L'exercice qu'on faisait la dernière fois, on va le continuer (le professeur envoie un élève effacer le tableau).

Le professeur fait le tour de la classe, regarde si les élèves ont bien traité l'exercice. Des élèves continuent d'arriver).

- 2) P : Cessez de bavarder, on reprend l'exercice (la fiche) qu'on faisait la dernière fois. Vous faites comme si vous étiez des enfants !
- 3) **P : Donc pour l'exercice, pour la quatrième question, on a dit que le point I est commun aux trois médiatrices des segments du triangle NGO et on vous demande de tracer le cercle de centre I et de rayon IO et d'expliquer pourquoi ce cercle passe par les points du triangle NGO.**
- 4) **P : Vous rectifiez c'est le triangle NGO au lieu de KLO (il était écrit sur la fiche le triangle KLO).**

d3) Le paramètre de qualité d'observation

L'exercice que les élèves doivent traiter est la suite de la fiche qu'ils ont commencée lors de la troisième expérimentation. Ils ont déjà placé I, le point d'intersection des médiatrices des segments du triangle NGO. Le type de tâches auquel ils sont invités à réfléchir est de montrer que le cercle de centre I et passant par le O du triangle passe par les deux autres sommets. Les élèves ont repris la construction des médiatrices pour placer le point I avant de faire la démonstration. Le professeur circule dans la classe pour observer les figures construites et les démonstrations produites « 7) P : ».

12h00

- 1) P : L'exercice qu'on faisait la dernière fois, on va le continuer (le professeur envoie un élève effacer le tableau).

Le professeur fait le tour de la classe, regarde si les élèves ont bien traité l'exercice. Des élèves continuent d'arriver.

- 2) P : Cessez de bavarder, on reprend l'exercice (la fiche) qu'on faisait la dernière fois. Vous faites comme si vous étiez des enfants !
- 3) P : Donc pour l'exercice, pour la quatrième question, on a dit que le point I est commun aux trois médiatrices des segments du triangle NGO et on vous demande de tracer le cercle de centre I et de rayon IO et d'expliquer pourquoi ce cercle passe par les points du triangle NGO.
- 4) P : Vous rectifiez c'est le triangle NGO au lieu de KLO (il était écrit sur la fiche le triangle KLO).
- 5) P : Le quadrilatère est NGOM (le professeur trace, lui-même, le quadrilatère NGOM - un trapèze -, mais ne place pas le point I commun aux trois médiatrices des segments du triangle NGO).
- 6) P : Vous travaillez en silence,
- 7) P : Tu es en train de jouer mademoiselle, ça doit se faire rapidement (cette question) (le professeur continue de faire le tour de la classe. Il discute avec les élèves sur leur production. Il commence à faire l'appel).
- 8) P : Hé ! Vous cessez de bavarder !

12h18

A partir de cette phase d'observation, le professeur est souvent amené à modifier ce qui fait l'objet de son enseignement. Ayant constaté que des élèves ont encore des difficultés à construire les médiatrices, le type de tâches est modifié. Il ne s'agit plus de répondre directement à la quatrième question mais, d'abord, de traiter la question 3. Il faut tracer les trois médiatrices des segments du triangle NGO puis placer le point I. Même sans le dire, le

fait de construire au tableau le quadrilatère NGOM sans placer le point pousse également les élèves à reprendre cette partie de l'exercice. En plus, le travail demandé par le professeur aux premiers élèves interrogés laisse penser que son objectif était le travail de la technique relative à la construction d'une médiatrice « 9) P : » ; « 14) P : » ; « 16) P : » ; « 17) P : »... Pendant presque un quart d'heure, le professeur fait travailler les élèves sur la construction de médiatrices.

12h18

Le professeur continue à faire le tour de la classe. Il regarde les productions des élèves.

Un élève est envoyé au tableau pour tracer les médiatrices des côtes du triangle NGO. L'élève trace la médiatrice de [NG] et celle de [GO], met le codage.

9) P : Un autre qui continue ?

L'élève, visiblement, a des difficultés pour tracer la médiatrice.

10) E : Elle doit tracer des arcs de cercle sans perdre de la mesure.

11) P : Qu'est-ce que cela veut dire, sans perdre de la mesure ?

12) E : Sans changer l'écartement.

13) P : Elle doit garder le même écartement. Dépêche toi. Le professeur finit par aider l'élève à tracer la médiatrice de [OM].

14) P : Trace la médiatrice de [MN].

L'élève réussit à tracer la médiatrice de [MN].

15) P : Efface tout ce qui est inutile. On te demande de tracer la médiatrice de [NO].

L'élève commence par tracer le segment [NO], mais ne parvient pas à tracer la médiatrice de [NO].

16) P : Quelqu'un pour tracer la médiatrice de [NO].

17) P : Comment on fait pour tracer la médiatrice ?

Un élève lève la main et il est interrogé.

18) P : Regardez au tableau comment on fait. On vient de tracer quatre médiatrices (le professeur s'adresse à l'élève qui n'a pas réussi sa construction).

19) P : Fais doucement (l'élève qui est envoyé au tableau est allé très vite).

12h34.

d4) Paramètre de qualité d'organisation de situation pour l'action

Pour étudier le niveau en mathématiques de l'enseignant, les conditions d'émergence des qualités *d'organisation de situation pour l'action* constituent un outil tout à fait efficace. L'enseignant est ici confronté à la dure réalité « du direct » : il est obligé de prendre position. Il doit, à travers des contre-exemples, faire accepter à l'élève son erreur, le pousser à préciser son choix ou simplement à abandonner une piste infructueuse. Il doit pouvoir aider l'élève qui élabore une solution pertinente à partager son idée et en faire un objet d'étude. Cette expérimentation témoigne encore une fois de la nécessité de donner une formation théorique suffisante pour leur permettre de mener à bien leur enseignement. L'absence d'une base théorique prive le professeur d'une prise en main de la situation. Certaines validations peuvent être fausses et, parfois même, tout à fait erronées. Lors de cette expérimentation, le professeur ayant des difficultés à apprécier correctement la réponse d'un élève, lui fait répéter sa réponse pour finir par l'accepter de façon très molle par : « 44) P : Qui a une autre réponse, tu peux aller t'asseoir ? ». Un silence qui en dit long sur son incapacité à répondre à la proposition de l'élève. A la question, pourquoi le cercle passe par les points N, G et O, la réponse de « 34) E : » qui consiste à dire que les points sont à égale distance du point I ne peut être considérée comme satisfaisante, car c'est justement la question. Qu'est ce qui permet

d'affirmer que les points sont à égale distance du point I ? L'absence d'une réponse affirmée a fait revenir cette proposition par d'autres élèves « 37) E : », « 45) E : », « 49) E : ».

- 31) P : Donc vous avez le cercle de centre I et de rayon IO qui passe par les points N et G.
- 32) **P : On vous demande d'expliquer pourquoi ce cercle passe par les points N, G et O.**
- 33) P : Pourquoi le cercle passe par les points N, G et O ?
- 34) E : Parce que N ... (la voix est à peine audible).
- 35) P : Vous avez entendu ?
- 36) Es : Non.
- 37) **E : Parce que les points N, G et O sont à égale distance au point I.**
- 38) P : Hou ?
- 39) **E : Parce que les points N, G et O sont à égale distance au centre I.**
- 40) P : Moi, j'entends rien.
- 41) P : Des points qui sont égaux ?
- 42) E : Ils sont à égale distance du point I.
- 43) **P : Les points N, G et O sont à égale distance du point I. Les points N, G et O sont à égale distance du centre I, donc ils se trouvent sur le cercle.**
- 44) *P : Qui a une autre réponse ? Tu peux aller t'asseoir.*
- 45) **E : Le cercle passe par les points du triangle N, G et O parce que les trois médiatrices des segments du triangle NGO sont sécantes en I.**
- 46) P : Les trois médiatrices des segments (le professeur n'a pas bien entendu) ?
- 47) E : Les trois médiatrices des segments du triangle NGO sont sécantes en I.
- 48) P : Pourquoi, maintenant, ce cercle-là passe par ces points ?
- 49) **E : Parce que les trois médiatrices des segments du triangle NGO sont sécantes en I.**
- 50) P : Si on considère ce cercle, et on commence par ce point, comment tu vas expliquer que ce cercle là passe par les deux points (il désigne les points G et O).
- 51) **E : Les points N, G et O sont à égale distance par rapport au point I.**
- 52) *P : Les points N, G et O sont à égale distance par rapport au point I, si on raisonne par rapport aux médiatrices, comme il vient de le souligner comment on va faire ?*
- 53) P : On a dit que IO est le rayon, on a la médiatrice de ce segment-là qui passe par le point I, comment on va expliquer le fait que le point là soit sur le cercle ?

L'organisation de situation pour l'action est difficile à organiser par les enseignants qui ont une formation insuffisante. En effet, l'élève avec qui le professeur interagit dans cette situation est un élève apprenant qui s'est engagé dans une phase de recherche des critères de validité. Le professeur pour engager un débat avec les élèves et les aider à proposer des formulations correctes de connaissances acquises doit disposer d'outils théoriques suffisants sur le domaine. Cela lui permettrait de savoir si un élève est sur une fausse piste ou pas. Ces outils théoriques lui permettraient également d'encourager les élèves à d'extraire les informations pertinentes d'une preuve adéquate mais proposée de façon confuse par un élève.

d5) Paramètre de qualité d'institutionnalisation

Le paramètre de qualité d'institutionnalisation s'est construit en trois étapes :

- d'abord le renvoie aux interactions didactiques. Nous pouvons noter le travail appréciable du professeur sur le renvoi des élèves aux interactions didactiques avant de

statuer sur la validité de leurs énoncés. Car l'élève, dans cette situation, est un élève qui apprend et qui interagit avec son milieu a-didactique $\{(M-3 \leftrightarrow E-3) \leftrightarrow E-2\} \leftrightarrow E-1\} \leftrightarrow E0$ (§II-3-1). Le professeur doit le pousser à réfléchir à son apprentissage. Le professeur interagit avec l'élève mais, également, avec le milieu de l'élève $\{(M-3 \leftrightarrow E-3) \leftrightarrow E-2\} \leftrightarrow E-1\} \leftrightarrow P0$;

53) P : On a dit que [IO] est le rayon, on a la médiatrice de ce segment-là qui passe par le point I. Comment va t-on expliquer le fait que le point I soit sur le cercle ?

54) E : Parce que IO égale IG.

55) P : Parce que IO égale IG, pourquoi IO égale IG ?

56) E : Parce que IO est à la même distance que IG.

- ensuite le fait de statuer sur la validité de certains énoncés. Le professeur doit être capable de dire si un énoncé est vrai ou faux. Son incapacité à se prononcer est très déstabilisant pour la classe car, dans cette phase d'institutionnalisation, les réactions du professeur ne doivent pas être ambiguës. Il ne faut pas laisser penser qu'une proposition fautive pourrait être vraie. L'explication qui consiste à dire le point N appartient au cercle de centre I et de rayon OI parce que ces points N, G et O sont à égale distance du point I n'est pas bonne. Le professeur ne doit pas laisser croire qu'elle l'est et en sollicitant une autre explication, il laisse penser que la première est acceptable ;

32) P : On vous demande d'expliquer pourquoi ce cercle passe par les points N, G et O.

33) P : Pourquoi le cercle passe par les points N, G et O ?

34) E : Parce que N ... (la voix est à peine audible).

35) P : Vous avez entendu ?

36) Es : Non.

37) E : Parce que les points N, G et O sont à égale distance au point I

38) P : Hou ?

39) E : Parce que les points N, G et O sont à égale distance au centre I.

40) P : Moi, j'entends rien (la voix est bien audible, peut-être souhaite-il que toute la classe puisse bien entendre).

41) P : Des points qui sont égaux ?

42) E : Ils sont à égale distance du point I.

43) P : Les points N, G et O sont à égale distance du point I. Les points N, G et O sont à égale distance du centre I, donc ils se trouvent sur le cercle.

44) P : Qui a une autre réponse, tu peux aller t'asseoir (le professeur ne donne aucune appréciation de cette réponse, le problème justement c'est pourquoi les points sont à égale distance du point I) ?

- enfin, la précision de ce qui fait l'objet de son enseignement. A part quelques difficultés à statuer sur certains énoncés (quelques phases d'évaluation), le professeur a bien conduit les interactions jusqu'à l'aboutissement de son activité. Or, c'est cela l'essentiel du travail du professeur en situation d'institutionnalisation. On peut donc supposer qu'il y a eu émergence du paramètre de qualité d'institutionnalisation. Le professeur voulait faire utiliser à ses élèves la propriété de la médiatrice pour montrer que les points N et G appartiennent à la médiatrice. On peut penser qu'il a en partie atteint ses objectifs : faire travailler les élèves sur la propriété d'équidistance de la médiatrice.

- 53) P : On a dit que [IO] est le rayon, on a la médiatrice de ce segment-là qui passe par le point I. Comment va-t-on expliquer le fait que le point I soit sur le cercle ?
- 54) E : Parce que IO égale IG.
- 55) P : Parce que IO égale IG, pourquoi IO égale IG ?
- 56) E : Parce que IO est à la même distance que IG.
- 57) P : On a la distance IO qui est égale à la distance IG, pourquoi on dit ça, qu'est ce qui me permet de dire que IO est égale à IG ?
- 67) E : Parce que le cercle passe par le point G.
- 68) P : (Rires) On veut montrer que le cercle passe par le point G. On ne va pas commencer par la conclusion, c'est ça qu'on va prouver.
- 69) Es : Monsieur, monsieur.
- 70) P : Oui (il interroge un autre élève).
- 71) E : Parce que I est le point commun aux trois médiatrices des segments du triangle I, O et G.
- 72) P : I est le point commun aux 3 médiatrices donc si I...
- 73) E : Monsieur,
- 74) P : Oui.
- 75) E : C'est parce que I est sur la médiatrice du segment [GO].
- 76) P : Exactement ! On a dit que si on a un point qui se trouve sur la médiatrice, ce point-là est à égale distance des extrémités du segment. On a là un segment, le segment [GO], on a la médiatrice, sur la médiatrice, on a le point I, donc cette distance-là de I à G, elle est égale distance de I à O.
- 96) P : Donc vous allez résumer ça dans vos cahiers. Dire tout simplement que I se trouve sur la médiatrice du segment [OG]. Vous prenez ça dans vos cahiers. Vous mettez que I se trouve sur la médiatrice du segment [OG], donc IO égale à IG. C'est bon ?

d6) *Le processus de genèse instrumentale*

L'artefact étudié ici est la ressource pédagogique \mathfrak{R}_4 . L'utilisateur est le stagiaire S_1 .

L'étude de son niveau d'instrumentation suppose que l'utilisateur connaît les fonctions constituantes de l'artefact et qu'il peut les utiliser. \mathfrak{R}_4 ressemble beaucoup à \mathfrak{R}_3 mais elles sont différentes. Aussi bien pour les élèves que pour le professeur, les types de tâches sont différentes. La fiche élève de \mathfrak{R}_4 est surtout liée à la 4^{ème} question et elle invite plus à construire une preuve que les trois premières questions, qui étaient relatives à la construction de figure. Le scénario d'usage apparaît plus simple, en apparence, parce qu'il ne comportant que trois étapes, mais il exige plus de présence intellectuelle. Il demande une bonne préparation de la part de l'utilisateur, non pas au niveau de l'agencement des étapes mais en termes de faisabilité de chaque étape. Le professeur a failli réussir l'enchaînement chronologique des différentes étapes et l'organisation de chaque étape. Le professeur a fait 18 minutes d'observation au lieu des 20 proposées dans le scénario (Encadré 45) pour reprendre son travail sur la construction de médiatrice.

12h00 :

- 1) P : L'exercice qu'on faisait la dernière fois, on va le continuer (le professeur envoie un élève effacer le tableau).

[M]

Le professeur continue de faire le tour de la classe. Il regarde les productions des élèves.

12h18

Un élève est envoyé au tableau pour reprendre les médiatrices des côtes du triangle NGO. L'élève trace la médiatrice de [NG] et celle de [GO], met le codage.

9) P : Un autre qui continue.

L'élève visiblement a des difficultés pour tracer la médiatrice.

10) E : Elle doit tracer des arcs de cercle sans perdre de la mesure.

Les étapes de la séance	La durée de chaque étape	L'organisation de l'espace classe	L'objectif visé	Le rôle de l'enseignant	Le rôle des élèves
1 ^{ère}	20 mn	Aucune organisation spéciale, Chaque élève reste à sa place habituelle.	Permettre aux élèves de reprendre l'étude qui a été entamée	Le professeur fait le tour de la classe. Il vérifie si l'exercice est fait ou pas. Il notera les idées (solutions comme erreurs) qui lui paraissent intéressantes. Il se gardera d'intervenir, sauf pour les élèves qui n'ont pas compris.	Les élèves doivent montrer leur solution au professeur.
2 ^{ème}	30 mn	Un élève est envoyé au tableau pour présenter sa solution.	Susciter le débat autour de certaine question et préciser certaines notions.	Professeur interroge l'élève qui a produit des résultats intéressants. Il essaye de susciter chez lui une explicitation des résultats et chez ses camarades des questions relatives solutions proposées. Il fait une synthèse, précise ce « qu'il faut retenir » et vérifie si la solution est bien prise.	L'élève qui est au tableau doit parler fort, doit écrire lisiblement et doit répondre aux questions de ces camarades. Les élèves doivent prendre la solution dans leur cahier.
3 ^{ème}	10 mn	Les élèves restent à leur place habituelle.	Permettre aux élèves de prendre la synthèse dans leur cahier d'exercices.	Le professeur peut faire l'appel, remplir le cahier de texte et, de temps en temps, peut vérifier si les élèves ont pris des notes.	Les élèves prennent les solutions dans leur cahier.

Encadré 45 : extrait du scénario d'usage \mathfrak{R}_4 .

L'artefact ressource ce n'est pas seulement ces fiches en tant qu'artefact matériel c'est, également, le contenu de chaque fiche. On ne peut s'empêcher de noter quelques corrélations intéressantes entre des éléments de la fiche de formation et la manière dont le professeur tient sa classe. Pour le concepteur de la fiche de formation « *l'élève qui est au tableau doit parler distinctement et fort. Il doit expliquer clairement ce qu'il fait. Il doit écrire lisiblement, il prend la place du professeur* ». En observant de près le travail du stagiaire, on retrouve ce besoin de favoriser l'interaction sociale:

19) P : Fais doucement (l'élève qui est envoyé au tableau est allé très vite).

[N]

33) P : Pourquoi le cercle passe par les points N, G et O ?

34) E : Parce que N ... (la voix est à peine audible).

- 35) P : Vous avez entendu ? (Le professeur demande à l'élève de parler plus fort car ses camarades ne l'entendent pas).

Le niveau d'instrumentalisation renvoie à la capacité du stagiaire à utiliser la ressource dans des conditions qui n'étaient pas prévues dans la conception. Un point important de cette expérimentation est l'organisation de l'environnement technologico-théorique. Pour démontrer que G appartient au cercle de centre I et de rayon [IO], le professeur amène les élèves à la démonstration proposée dans la fiche professeur « 50) P : ; 53) P : ; 64) P : et 76) P : » mais, pour le point N, il utilise la transitivité de l'égalité, qui n'était pas prévue par la fiche professeur.

- 50) P : Si on considère ce cercle, et on commence par ce point (Il désigne le point O), comment tu vas expliquer que ce cercle là passe par les deux points (il désigne les points G et N) ?**
- 51) E : Les points N, G, O sont à égale distance par rapport au point I.
- 52) P : Les points N, G, O sont à égale distance par rapport au point I. Si on raisonne par rapport aux médiatrices, comme il vient de le souligner comment on va faire ?
- 53) P : On a dit que IO est le rayon, on a la médiatrice de ce segment là qui passe par le point I. Comment va on expliquer le fait que le point là soit sur le cercle (Il désigne le point G)?**
- 54) E : Parce que IO égale IG.
- 55) P : Parce que IO égale IG, pourquoi IO égale IG ?**
- 56) E : Parce que IO est la même distance que IG.
- 57) P : On a la distance IO qui est égale à la distance IG, pourquoi on dit ça, qu'est ce qui me permet de dire que IO est égale à IG ?
- 58) Es : Monsieur, monsieur ...
- 59) E : I, O et G sont alignés.
- 60) Es : Houhou, (chahut !)
- 61) Es : Monsieur
- 62) P : Les points I, O et G ont même support ?
- 63) E : IO égale IG parce qu'ils ont la même distance.
- 64) P : Qu'est ce qui nous dit là que IO égale à IG.**
- 65) Es : Monsieur, monsieur
- 66) P : Oui (Il désigne du doigt un élève pour l'interroger)
- 67) E : Parce que le cercle passe par le point G.
- 68) P : (Rires) On veut montrer que le cercle passe par le point G. On ne va pas commencer par la conclusion, c'est ça qu'on va prouver.
- 69) Es : Monsieur, monsieur
- 70) P : Oui (Il interroge un autre élève)
- 71) E : Parce que I est le point commun aux trois médiatrices des segments du triangle IOG.
- 72) P : I est le point commun aux 3 médiatrices donc si I...
- 73) E : Monsieur.
- 74) P : Oui.
- 75) E : C'est parce que I est sur la médiatrice du segment [GO].
- 76) P : Exactement ! On a dit que si on a un point qui se trouve sur la médiatrice, ce point là est à égale distance des extrémités du segment. On a là un segment, le segment [GO], on a la médiatrice, sur la médiatrice on a le point I, donc cette distance là de I à G, elle est égale à la distance de I à O.**

La fiche professeur propose le même type de démonstration que précédemment : étant donné que I appartient à la médiatrice de [NO], la distance IN est égale à la distance IO et, donc, N est sur le cercle de centre I et de rayon IO mais le professeur utilise une autre démonstration : « 89) P : ; 96) P : et 97) P : ». Ce changement de méthode témoigne d'une certaine assurance que le professeur a en lui.

- 77) P : Maintenant pour ce segment, qu'est ce qu'on dira ? Pour ce segment-là, on va faire le même raisonnement qu'on vient de faire avec ce segment.
- 78) P : Vous avez compris ce qu'on a dit ici, oui ou non ?
- 79) Es : Oui.
- 80) Es : Non.
- 81) P : Vous allez reprendre le même raisonnement avec ce segment.
- 82) P : Ca ne vient pas, regardez là, on a là la médiatrice de ce segment (Il désigne le segment [OG]), tout point qui se trouve sur cette médiatrice est à égale distance des deux extrémités, donc IO égale IG, on va faire la même chose ici, on a un segment [NG], on a la médiatrice ici, on a le point I qui se trouve sur la..
- 83) Es : Médiatrice.
- 84) P : Médiatrice (Il désigne le segment [NG]).
- 85) P : Qu'est ce qu'on va conclure alors ?
- 86) E : Monsieur.
- 87) P : Oui.
- 88) E : $IN = IG$.
- 89) P : IN égale à IG et on a dit que IG est égale à IO, donc IO égale IG égale IN
- 90) P : Et que représente IO pour le cercle ?
- 91) E : C'est le rayon.
- 92) P : C'est le... ?
- 93) Es : Le rayon.
- 94) P : C'est le rayon.
- 95) P : Donc on a tous ces segments là qui représentent le rayon du cercle.
- 96) P : Donc vous allez résumer ça dans vos cahiers. Dire tout simplement que I se trouve sur la médiatrice du segment OG. Vous prenez ça dans vos cahiers. Vous mettez que I se trouve sur la médiatrice du segment OG, donc IO égale à IG. C'est bon ?**
- 97) P : Maintenant vous suivez au tableau, vous allez continuer ça à la maison, vous direz que I se trouve sur la médiatrice , vous suivez au tableau, I se trouve sur la médiatrice de [NG] donc IN égale IG, on a dit tout à l'heure que IO égale à IG donc IO égale IG égale à IN qui égale au rayon donc le cercle passe par les trois points.**

Explique pourquoi ce cercle passe par les points du triangle NGO.

Réponse à la question 4)

I appartient à la médiatrice de [NO] donc $IN = IO$.

$IN = IO$ donc N appartient au cercle de centre I et de rayon IO.

I appartient à la médiatrice de [GO] donc $IG = IO$.

$IG = IO$ donc G appartient au cercle de centre I et de rayon IO.

Le cercle de centre I et de rayon IO passe par les points N, G et O.

Encadré 46 : extrait de la fiche professeur \mathfrak{R}_4 .

Conclusion

Cette expérimentation a révélé un niveau d'instrumentation et d'instrumentalisation appréciable. On peut noter l'émergence de qualités d'orchestration. Les élèves et le professeur sont devenus plus actifs. On peut supposer que le travail préalable de groupe et la ressource structurée n'ont pas été étrangers à cela. L'insuffisance de la formation en mathématiques et en didactique des mathématiques a tout de même provoqué quelques dysfonctionnements au niveau de la gestion de la classe. A la question « *pourquoi le cercle passe par les points N, G, et O ?* » l'attitude du professeur face à la réponse de « 34) E : » qui pense que c'est parce que les points sont à égales distances du point I, montre les limites de notre travail. Ainsi, suite à cette erreur, force est de reconnaître que, cette formation des vacataires doit s'inscrire dans la durée avec des moments d'étude, entre pairs, sur des outils théoriques en mathématiques et en didactique des mathématiques.

IV-1-2 Repérage d'invariants dans des pratiques enseignantes

Dans (§IV-1-1) nous avons analysé chacun des quatre protocoles en essayant de dégager, pour chacun deux, les qualités de pratiques qui ont émergé et celles qui ne sont pas apparues. Le travail que nous allons faire maintenant est une étude comparative des pratiques afin de déterminer des invariants. Nous allons étudier et comparer les OM et les OD proposées dans les ressources et celles réalisées par les enseignants dans leur classe. L'étude comparative des pratiques nous conduit aussi à essayer de cerner les liens entre le type de préparation des ressources et leur mise en œuvre en classe. Nous allons, enfin, essayer de dégager l'évolution de l'utilisation, par les enseignants, des ressources pédagogiques.

a) Etude des invariants : expérimentation germes de ressource/ressources structurées

Le premier constat est relatif à l'émergence de la qualité *d'organisation des phases de dénomination et de détermination des tâches des élèves*. Cette qualité n'apparaît pas ou émerge peu lors des séances utilisant des germes de ressources (§IV-1-1a et §IV-1-1b) et paraît, plus présente, avec les ressources structurées (§IV-1-1c et §IV-1-1d).

En étudiant cette qualité, on est surpris de la part importante de l'implicite dans les expérimentations avec les germes : en demandant aux élèves de faire tel ou tel exercice du manuel, le professeur fait comme si tous ses élèves avaient le manuel de la collection CIAM.

La première expérimentation :

1) P : Prenez vos livres et faites l'exercice n° 60 page 146.

La deuxième expérimentation :

9) P : Vous préparez l'exercice 19 page 39.

Or, bon nombre des élèves de la classe ne disposent pas de livres. De plus, ce manuel, auquel le professeur fait référence, n'est pas conforme au programme sénégalais. Cette fidélité à ce manuel n'est pas sans danger, les traces écrites dans les cahiers des élèves font plus référence au manuel CIAM qu'au programme de mathématiques du Sénégal. Par exemple, pour la première expérimentation, le programme sénégalais propose une utilisation des symboles " $>$; $<$; \geq ; \leq " alors que dans le programme harmonisé, l'utilisation de ces symboles n'est pas exigible.

Pour les ressources structurées, étant donné que chaque élève disposait d'une fiche, l'organisation *des phases de dénomination et de détermination des tâches des élèves* a été facilitée par le scénario qui précisait en plus à l'enseignant la tâche à faire.

Le second constat est relatif à l'émergence de la qualité d'*organisation de situation pour l'action*

Lors de la première expérimentation (§IV-1-1a), le professeur n'ayant pas organisé des échanges ni avec ses élèves, ni entre élèves : il n'y a pas eu de débat favorisant la co-construction de savoirs mathématiques. Or, le problème est surtout de permettre aux élèves de construire leurs propres solutions : de tester des outils, d'en construire d'autres, de formuler des conjectures et d'en discuter entre eux, de chercher des exemples ou des contre-exemples. Les élèves n'apparaissent pas comme des créateurs qui peinent à produire des œuvres de qualité et leurs modes de validation apparaissent simples et, parfois, simplistes. Pourtant, pour Chevallard (1998) :

« Le moment d'**exploration de tâche t_i et de l'élaboration d'une technique relative à t_i** doit être au cœur de l'activité mathématique. L'élève, sous la conduite avisée du professeur, doit être un artisan laborieux qui élabore patiemment ses techniques mathématiques ».

11) P : C'est comme ça ?

12) Es : Oui.

13) P : Le suivant

14) E : L'ensemble $A = \{5 ; 5,5 ; 6 ; 9\}$.

15) P : C'est exact ?

16) Es : Non.

L'élève qui est au tableau reprend en mettant le signe \leq .

$A = \{5 \leq 5,5 \leq 6 \leq 9\}$.

17) P : C'est ça ?

18) Es : Non, il faut mettre point virgule (à la place de l'inégalité).

19) E : $A = \{5 ; 5,5 ; 6 ; 9\}$.

20) P : C'est ça ?

21) Es : Non.

22) P : Va au tableau (Le professeur demande à un élève d'aller corriger la question toujours de son bureau).

23) P : Souligne les nombres qui sont plus grands que 4 (Le professeur demande à un élève de souligner au niveau de la première question les nombres qui sont plus grands que 4).

24) E : L'élève souligne de 5 à 9.

$0,001 \leq 1,5 \leq 1,75 \leq 3 \leq 3,7 \leq 4,022 \leq 5 \leq 5,5 \leq 6 \leq 9$.

25) P : C'est ça ?

26) Es : Non.

27) P : Qu'est-ce qui manque ?

28) Es : Monsieur...

29) P : Toi (le professeur désigne un élève).

30) P : Ecrit 4,022 et 4 et compares-les.

31) E : $4 \leq 4,022$.

32) P : Donc vous corrigez.

Dans la seconde expérimentation (§IV-1-1b), le professeur, bien qu'ayant favorisé les échanges entre élèves sur les solutions proposées, a rencontré des difficultés à mettre en œuvre la situation de débat. Dès les premières minutes de la séance, on s'aperçoit qu'il a du mal à concilier une gestion collective de la classe avec son désir de discuter, individuellement, avec les élèves. Il envoie un élève au tableau, tout en continuant de discuter avec les autres de leurs solutions et cela durant 3 minutes.

12h00

1) P : Pape Yassine Touré est là (un élève qui était absent la séance précédente) ?

2) E : Oui.

3) P : Tu as un billet d'entrée ? (le billet d'entrée est une autorisation d'entrée en classe délivrée par les surveillants chargés de la discipline dans l'établissement, pour les élèves disposant de justificatif d'absence).

4) E : Non.

5) P : Vas en chercher.

6) P : Toi, craches ce que tu as dans ta bouche.

7) E : Comment ?

8) P : Craches ce que tu as dans ta bouche.

9) P : Vous préparez l'exercice 19 page 39 (il s'agit d'un exercice de la collection CIAM).

10) E : Qu'est ce qu'on fait (un élève pose la question au professeur).

11) P : Activité géométrique.

12) P : Toi au tableau. (Le professeur circule à travers les rangées, regarde les productions des élèves et demande à un élève d'aller au tableau. Pendant presque 3 mn celui-ci reste au tableau, ne sachant que faire, il recopie l'exercice. Le professeur, pendant ce temps, continue son tour de classe, regarde les productions des élèves, vérifie les résultats etc.).

13) P : Il y a trop de bruit dans la classe, soit vous vous taisez, soit vous sortez. (Le professeur continue de regarder les productions des élèves).

12h5mn

Le désir de faire débattre ses élèves et les difficultés qu'il a pour organiser le débat fait passer, parfois, le professeur à côté des points essentiels. Il est important, dans les petites classes, que le professeur corrige ou fasse corriger des fautes grammaticales mais cela ne doit pas lui faire oublier les objectifs de son enseignement. La proposition, « (D) n'est pas médiatrice de [AB] parce que la distance AI n'est pas égale à la distance IB », n'est vraie que si I est sur la droite (D). Cette condition méritait d'être soulignée tout autant que la formulation de la négation en français.

34) P : C'est parce que la distance AI n'est pas égale à la distance IB.

35) P : Ecris ça au tableau.

36) E : L'élève écrit « exercice 19 page 39 » ; figure 1. (D) n'est pas la médiatrice de [AB] parce que la distance AI ne t'égale pas à la distance de IB.

37) P : Ne (il demande à l'élève de répéter) ?

- 38) P : Qu'est ce qu'il doit dire ?
- 39) Es : N'est pas égale.
- 40) P : Je n'ai pas entendu, tu répètes.
- 41) P : Tu peux continuer ta phrase ? La distance n'est pas égale...
- 42) E : N'est pas égale que la distance de IB (l'élève efface et écrit « n'est pas égale que la distance de IB »).
- 43) P : C'est correct ? Il dit que la distance AI n'est pas égale que la distance de IB.
- 44) E : Non, on dit « la distance AI n'est pas égale à la distance IB » (l'élève rectifie et écrit « exercice 19 page 39 » ; figure 1. (D) n'est pas la médiatrice de [AB] parce que la distance AI n'est pas égale à la distance de IB).

Ces difficultés liées à la gestion des activités des élèves dans la classe peuvent être, en grande partie, prises en charge par des ressources structurées. Le scénario d'usage de chaque ressource est conçu avec des étapes et chaque étape avec des objectifs, les acteurs, leur rôle, le type d'organisation pour la classe et la durée. Au-delà de l'organisation du travail qu'il propose, le scénario permet à l'enseignant de disposer d'un baromètre qui lui donne des indications sur le temps nécessaire pour chaque étape.

b) Etude des invariants : préparation individuelle/préparation en groupe

La qualité qui apparaît, surtout après une préparation en groupe, est l'organisation de situation pour l'action. Les expérimentations que nous avons suivies semblent indiquer qu'avec une préparation en groupe, le professeur devient plus audacieux, il accepte de débattre avec ses élèves, il prend des risques. On note, d'ailleurs, que le niveau d'instrumentalisation devient plus intéressant après un travail en groupe. Dans la deuxième expérimentation, par exemple, (extrait ci-dessous) alors que le type de tâches était d'identifier une médiatrice, le professeur change l'activité en demandant aux élèves de placer le milieu d'un segment en utilisant la règle et le compas. Cette modification du type de tâches facilite pour les élèves la construction d'une nouvelle connaissance sur la médiatrice.

- 90) P : Cessez de bavarder et vous prenez la correction.
Le professeur écrit au tableau (il ajoute des questions au problème):
Considérons la figure 3 :
- a) Que représente le point I ? Explique ta réponse.
- b) Soit une droite (D1) passant par I et perpendiculaire à [AB]. Que peux-tu dire de la droite (D1) ?
- 91) P : Pour la première question, on vous demande d'expliquer votre réponse.
La seconde question vous dites : Que représente (D1) ?
- 92) P : Faites les questions et travaillez dans le silence.
[M]
- 101) P : Tu reprends la figure 3 au tableau (il s'adresse encore à l'élève qui est au tableau).
[M]
- 106) P : Comment tu as fait pour placer le point I ?
[M]
- 122) P : Toi, au tableau (un autre élève est envoyé de nouveau au tableau).
L'élève mesure le segment et essaye de prendre la moitié.
- 123) P : Tu vérifies avec le compas si tu as le milieu.
L'élève vérifie et ça ne marche pas.

[M]

125) P : Au lieu de prendre la règle et de mesurer, est-ce qu'il n'y a pas une autre méthode qui est plus rapide ?

[M]

130) P : On va utiliser le compas (un autre élève est envoyé au tableau).

131) P : Avec le compas, comment placer le milieu ?

Dans la quatrième expérimentation (§IV-1-1d), en phase d'institutionnalisation, une autre initiative est prise par le professeur : il utilise la transitivité de l'égalité pour montrer que N est un point du cercle alors que la fiche élève propose l'utilisation de la médiatrice du segment [ON].

Conclusion

La conclusion à tirer des quatre expérimentations pourrait être résumée par le mot « assurance ». Il faut attendre les deux dernières expérimentations et les comptes-rendus de S₁ (Annexe 6) pour comprendre les raisons du « retrait » de l'enseignant lors de la première séance.

A l'invite « indiquer les suggestions que vous avez à faire sur la ressource et sur la formation » que nous lui avons faite sur la fiche de compte rendu d'expérimentation, le professeur répond : « *la ressource m'a donné plus d'assurance pour aborder mon TD donc si je pouvais en disposer pour mes cours ce serait formidable* » (Annexe 6 ; cr \mathfrak{R} ₃ et cr \mathfrak{R} ₄).

Au début des expérimentations, le professeur n'était pas sûr de lui, il évitait les interactions avec les élèves, il se méfiait. On peut constater qu'il était en retrait pendant 37 minutes (§IV-1-1a). On aurait dit qu'il se réfugiait derrière son bureau pour se protéger des élèves, de leurs interrogations et de leurs sollicitations. C'était sa façon habituelle de faire son cours. Le danger, c'est que, « dos au mur », il réagit d'autorité « 5 est bien un décimal parce qu'on a dit que l'ensemble IN est inclus dans l'ensemble ID ». Il n'essaye pas de décrypter le message de l'élève ni de comprendre ses difficultés, il joue de jeu de la sécurité.

Le travail en groupe sur une ressource (§IV-1-1d), l'appropriation de la ressource qui en résulte, le fait d'être *accompagné* par cette ressource pendant la séance, a permis au professeur d'être actif dans la classe, *d'observer* ce que font les élèves, d'apprécier, discuter, de s'interroger sur leurs difficultés. Il prend plus « d'assurance », il réoriente son travail pendant la séance afin de mieux réorganiser la construction du savoir en jeu. Dans cette situation, on dirait que le professeur, prenant conscience des limites de son projet, provoque une bifurcation de la situation pour faciliter la construction du savoir en jeu. Le résultat au niveau des élèves est encourageant : ils sont actifs.

Si, l'assurance provoquée par un accompagnement avec une ressource pédagogique semble être une condition nécessaire pour que le professeur puisse interagir avec les élèves, l'organisation des apprentissages demande du professeur de nombreuses connaissances, devant être toujours disponibles. Or, ces connaissances ne se construisent que dans la durée. Les résultats des expérimentations montrent que deux types d'activités sont nécessaires pour les dispositifs de formation à construire : la formation autour de la conception de ressources structurées pour la classe et le travail collaboratif à la base de cette conception.

IV-2 ANALYSE DE L'EVOLUTION DES RESSOURCES PEDAGOGIQUES

Pour étudier l'évolution des ressources, nous avons choisi de limiter le nombre de ressources à deux (§III-3-2) :

- la ressource R sur le thème des équations, au collège, expérimentée par le groupe A composé de trois professeurs vacataires ;
- la ressource R', sur le thème de la continuité en terminale littéraire, expérimentée par le groupe B composé de trois professeurs titulaires.

Le choix de limiter le nombre à deux, inspiré par celui fait par le SFoDEM à ses débuts pour étudier les ressources (Guin 2003), permet de réduire la dispersion des travaux des enseignants sur les ressources mais, également, de renforcer les possibilités de communication sur leur contenu et sur leurs expérimentations dans les classes. Ce choix à permis :

- de suivre la vie de chaque ressource et de pouvoir l'étudier à chaque étape importante de son évolution, aussi bien au niveau de son contenu que de sa structuration ;
- de suivre les expérimentations en classe et d'observer les réactions des élèves et des professeurs qu'elles ont induites. Ainsi, nous disposons de moyens supplémentaires pour comprendre les motivations réelles des enseignants lorsque, sur leur fiche de compte-rendu d'expérimentation, ils proposaient des modifications ;
- d'étudier les similitudes éventuelles entre ces deux ressources. Les différences liées aux thèmes d'études abordés (algèbre et analyse), les différences liées aux statuts des professeurs expérimentateurs (professeurs vacataires et professeurs titulaires) et celles liées aux classes où ces expérimentations ont eu lieu (3^{ème} et terminale) sont suffisamment importantes pour que tout invariant sur les modifications des ressources pourrait être attribué aux modes d'organisation qui ont été adoptés avant les expérimentations.

Nous situant dans une perspective instrumentale, nous disposons d'outils théoriques pour analyser l'impact des usages sur les évolutions des ressources : les processus d'instrumentalisation (§II-4-3).

IV-2-1 Evolution des ressources étudiées par les professeurs vacataires

Les différentes étapes du cycle de vie de la ressource R sont repérées par R0, R1, R2 et R3 (Annexe 7). La ressource R0 est destinée à la classe de 3^{ème} de collège (15-16 ans). Elle porte sur la résolution des équations dans l'ensemble Q des nombres rationnels. Nous l'avons conçue en accord avec le programme de mathématiques du Sénégal. Comme nous l'avons expliqué (figure 36), un professeur vacataire, que nous avons nommé A₁ l'a expérimentée et a fait un compte-rendu d'expérimentation (Annexe 7 ; crA₁). Nous avons réécrit R0 à partir de ce compte-rendu d'expérimentation, en tenant compte des modifications que A₁ avait faites sur la ressource pendant la séance. R1 est la version de R après cette réécriture. Nous avons proposé aux professeurs vacataires, en groupe, de préparer la séance du professeur A₂. Cette séance de préparation a abouti à la modification de R1 avant l'expérimentation. Nous avons choisi de retenir cette version comme la version R2 de la ressource R. Après l'expérimentation que A₂ a réalisée, à l'aide de R2, nous avons transformé R2 en R3 à partir du compte-rendu d'expérimentation de A₂ et des modifications qu'il a faites pendant la séance.

a) **Caractéristiques de R0**

R0 est une ressource qui n'a pas encore été expérimentée (Annexe 7). Certains champs sont incomplets et elle ne comporte pas de fiche de formation. Les organisations mathématiques et didactiques ne sont pas très adaptées au type de formation auquel les professeurs vacataires peuvent s'attendre. Nous allons évaluer cette ressource en utilisant les paramètres internes de qualité (figure 32). Le (Tableau et la figure 47) font le résumé du niveau de qualité de R0.

Rappelons que le codage que nous avons utilisé est 0 lorsqu'il y a une faible adéquation, 1 si seulement quelques parties sont adéquates, 2 s'il existe une bonne adéquation et 3 lorsque l'adéquation est très bonne. Ce codage permet certes une lecture rapide du niveau de qualité de la ressource, mais il n'est, évidemment, pas un codage exact et les évolutions qu'il donne sont associées avec les analyses qui suivent :

Sections	Caractéristiques	0	1	2	3
Adéquation avec le modèle :	Adéquation entre les champs de la fiche d'identification (FI) de la ressource et ceux du modèle.		X		
	Adéquation entre champs de la fiche élève (FE) de la ressource et ceux du modèle.		X		
	Adéquation entre les champs du scénario (SU) de la ressource et ceux du modèle.	X			
	Adéquation entre les champs de la fiche professeur (FP) de la ressource et ceux du modèle.	X			
	Adéquation entre les champs de la fiche de formation (FF) de la ressource et ceux du modèle.	X			
Adéquation avec les objectifs :	Adéquation entre les organisations mathématiques (OM) et les objectifs de la formation.		X		
	Adéquation entre les organisations didactiques (OD) et les objectifs de la formation.		X		

	FI	FE	SU	FP	FF	OM	OD
R0	1	1	0	0	0	1	1

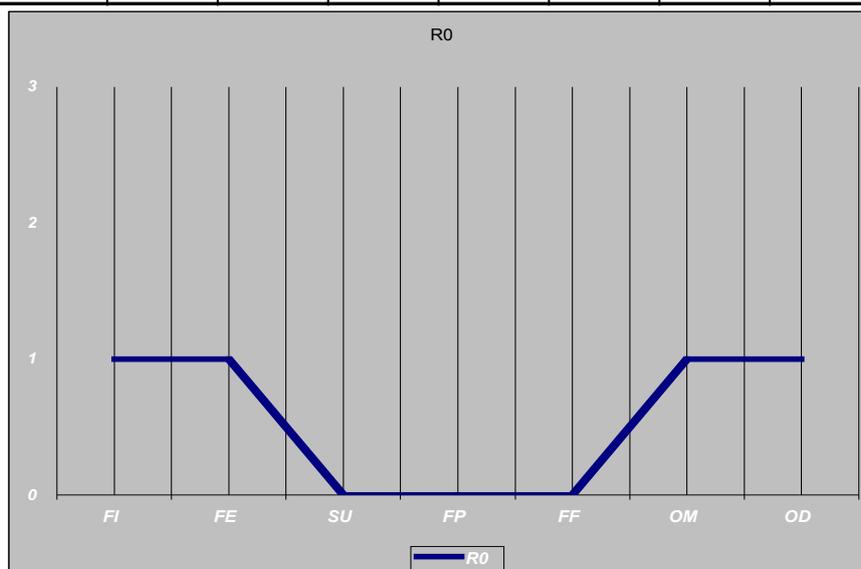


Tableau 47 : le niveau de qualité de R0.

a1) Adéquation de R0 avec le modèle de ressource

Cette ressource R0 peut être considérée comme une ressource inachevée. Elle n'a pas de fiche de formation. « La ressource mise à ma disposition était incomplète ; cela n'a pas eu d'incidence sur le contenu » (Annexe 5 ; crA1). Cette ressource présentait des insuffisances au niveau du scénario et de la fiche professeur. Le scénario ne précise pas le rôle du professeur et des élèves aux différentes étapes du déroulement de la séance avec des objectifs précis. La fiche professeur ne précise pas les difficultés éventuelles que les élèves peuvent rencontrer et ne propose pas de méthode pour gérer ces difficultés. Elle ne contient pas d'extrait du programme de mathématiques en rapport avec l'exercice proposé. L'activité ne serait, d'ailleurs, pas pour une bonne part, en adéquation avec le programme en vigueur « Les objectifs visés par cette ressource sont clairs mais pour coller à l'esprit du programme de mathématiques en vigueur au Sénégal, il serait intéressant de l'intituler EQUATIONS ET INEQUATIONS DU PREMIER DEGRE A UNE INCONNUE (Annexe 5 ; crA1). La ressource prend seulement en compte la partie introductive de ce programme de troisième mais pas son contenu complet (Tableau 48). Les équations du premier degré à une inconnue ne sont pas étudiées seules en troisième, il faut les relier soit à des équations comportant des valeurs absolues, soit à des équations du second degré. Mais ces aspects donnent une autre dimension aux ressources : comment prendre en compte dans une même ressource le morcellement des compétences exigibles dans les programmes et leur articulation pour construire de véritables savoirs mathématiques ? Le risque est grand de réduire l'enseignement des mathématiques en une énumération de techniques qui peuvent apparaître seulement comme des recettes pour certains problèmes.

Contenus	Commentaires	Compétences exigibles
III - EQUATION ET INEQUATION A UNE INCONNUE		
<ul style="list-style-type: none"> • Les acquis de la quatrième seront réactualisés. Aucune théorie générale sur les équations et inéquations n'est au programme. • On étudiera des problèmes concrets dont la résolution fait apparaître ces types d'équations ou d'inéquations 		
1) Equation du 1 ^{er} degré à une inconnue a) Equations des types : $ ax + b = c$ $ ax + b = cx + d $ b) Equation du type : $a x^2 + b = 0$ 2) Inéquation a) Inéquation produit du type : $(ax + b)(cx + d) \leq 0$ b) Inéquation du type : $ax^2 + b \leq 0$	<ul style="list-style-type: none"> • On utilisera les systèmes ou les tableaux de signes pour la résolution des inéquations à une inconnue. • On étudiera aussi les autres types d'inéquations utilisant les signes \geq, $<$, $>$. 	<ul style="list-style-type: none"> • Résoudre dans IR des équations des types : $ax + b = c$ et $ax + b = cx + d$ • Résoudre dans IR des équations se ramenant au type : $ax^2 + b = 0$. • Résoudre dans IR des inéquations du type : $(ax + b)(cx + d) \leq 0$ • Résoudre dans IR des inéquations se ramenant au type : $ax^2 + b \leq 0$ • Résoudre des problèmes en utilisant les équations et inéquations ci-dessus. • Vérifier qu'un nombre est solution ou non d'une équation, d'une inéquation.

Tableau 48 : extrait du programme de mathématiques sénégalais de la classe de 3^{ème}.

a2) *Adéquation entre les organisations mathématiques de R0 et les objectifs de la formation*

Cette ressource comporte une fiche élève (Encadré 49) qui précise les types de tâches sur lesquels les élèves doivent travailler. L'activité est un exercice qui devrait faire travailler les élèves à la mise en équation d'un « problème concret ».

Une entreprise compte 26 employés (un Directeur Général, 8 cadres supérieurs et 17 cadres moyens). Pour le partage des bénéfices, à la fin de l'année, le DG prend le huitième et remet à chaque cadre supérieur le double de la part d'un cadre moyen.

1) Sachant que le directeur a l'intention d'acheter une nouvelle voiture à 6 000 000 FCFA, que l'un des cadres supérieurs veut acheter un ordinateur d'une valeur de 2 100 000 FCFA pour sa famille et que l'un des cadres moyens veut investir pour 1 400 000 FCFA sur un projet personnel :

- a) Quel doit être le montant minimal que cette entreprise doit avoir comme bénéfice pour satisfaire les vœux de ces trois agents ?
- b) Quel est l'agent qui a le projet le moins coûteux par rapport à ses revenus ?

2) Quelques années auparavant, la part du Directeur Général était égale à la part du cadre supérieur. A ce moment-là, l'entreprise ne comptait que deux cadres supérieurs et quelques cadres moyens. Combien étaient-ils ?

Encadré 49 : la fiche élève de la ressource R0.

On peut dire que les types de tâches sont bien énoncés dans cette fiche. Cependant, cette fiche n'a pas manqué de présenter une difficulté mathématique certaine pour les élèves. Sur le compte-rendu d'expérimentation de A1, on relève :

- « **La fiche élève me semble difficile pour les élèves [...].**
- **La difficulté de la fiche élève a fait que les 20 minutes qui leur étaient octroyées étaient insuffisantes [...].**
- **Pour ce qui est de la ressource proprement dite, la fiche élève est difficile et n'a pas pris en compte les inéquations »** (Annexe 5 ; crA1).

Mise à part la difficulté de l'exercice qui peut présenter un intérêt pour les élèves, l'activité n'oblige pas les élèves à s'interroger sur la validité des solutions proposées. Elle permet peu de rétroactivité à l'élève. Par exemple, le groupe 1 de la classe de A1 (Annexe 5 ; crA1), pour obtenir le montant minimal du bénéfice de l'entreprise fait la somme des montants minimaux pour satisfaire les vœux de chaque catégorie d'agents. Rien dans l'activité ne leur permet de vérifier leur résultat. Le milieu ne rétroagit pas pour obliger l'élève à s'interroger sur la validité de sa solution et à produire une justification. Ainsi, on peut constater que la richesse d'un milieu n'est pas liée à sa complexité mais à la capacité de mettre l'apprenant dans une situation de doute, de remise en cause, d'amélioration et de justification de la qualité des outils mis en œuvre pour la maîtrise du jeu.

Cette ressource présente également de nombreuses insuffisances au niveau de la fiche professeur (fiche 50). Celle-ci doit permettre au professeur de mieux s'approprier la ressource en proposant des techniques mathématiques relatives aux types de tâches indiquées dans la fiche élève. En proposant une seule technique, la ressource ne permet pas au stagiaire de s'interroger sur différentes approches ce qui lui faciliterait la genèse de la ressource. De plus, il n'est pas certain que la technique proposée soit assez explicite pour des professeurs de niveau pas très élevé. En effet, à la question b) de la fiche élève, la réponse proposée par la fiche professeur peut paraître très incomplète. Qui plus est, elle présente une ambiguïté au niveau de la résolution. Pour connaître l'agent qui a le projet le moins coûteux par rapport à ses revenus, on ne peut pas se contenter du calcul du bénéfice que ferait l'entreprise pour satisfaire chaque agent.

a) **Il faut faire remarquer aux élèves que le cadre moyen gagne deux fois moins que le cadre supérieur et donc, si son vœu est réalisé, celui du cadre supérieur le sera également ($2 \times 1400000 > 2100000$).**

Comment déterminer le bénéfice x que doit faire l'entreprise pour que le directeur général et le cadre moyen soient satisfaits ?

Il faut calculer le bénéfice que doit faire l'entreprise pour que le directeur général soit satisfait. Sa part sera égale à $\frac{x}{8}$ donc $\frac{x}{8} = 6000000$, il en résulte $x = 48\ 000\ 000$ FCFA.

Il faut calculer le bénéfice que doit faire l'entreprise pour que le cadre moyen soit satisfait. Sa part sera égale à $\left(\frac{x - \frac{x}{8}}{2 * 8 + 17}\right)$ donc $\left(\frac{x - \frac{x}{8}}{2 * 8 + 17}\right) = 1400000$ d'où $x = 52\ 800\ 000$ FCFA.

La somme minimale pour qu'ils soient satisfaits est donc de 52 800 000 FCFA.

b) **Il faut calculer le bénéfice x** que doit faire l'entreprise pour que le cadre supérieur soit satisfait. Sa part

sera égale à $2 * \left(\frac{x - \frac{x}{8}}{2 * 8 + 17}\right)$ donc $2 * \left(\frac{x - \frac{x}{8}}{2 * 8 + 17}\right) = 2100000$, on en déduit alors que $x = 39\ 600\ 000$ FCFA.

Si l'on sait que pour le Directeur Général le bénéfice x doit être égal à 48 000 000 FCFA et que pour le cadre moyen le bénéfice doit être 52 800 000 FCFA, alors l'agent qui a le projet le moins coûteux, par rapport à ses revenus, est le cadre supérieur.

fiche 50 : extrait de la fiche professeur.

D'ailleurs, le professeur A1 estime que : « *la fiche professeur permet de maîtriser la classe mais elle a besoin d'être élucidée davantage avec un contenu mathématique qui concerne directement le stagiaire* » (Annexe 7 ; crA₁). Ce besoin, exprimé par le professeur A₁, de disposer davantage d'outils mathématiques montre l'acuité de faire disposer à ces enseignants non pas d'une technique mais d'un ensemble de techniques avec un environnement technologico-théorique qui sied à son étude.

Ce constat fait écho à celui de la CREM (2003) qui, à propos des professeurs d'écoles français ayant une licence et même, pour certains d'entre eux une licence en sciences, note :

« Ces professeurs des écoles éprouvent des difficultés particulières, par exemple à prendre du recul par rapport aux propositions des manuels, qui pour eux représentent souvent la référence absolue, à analyser des réactions d'élèves sur tel ou tel exercice ou activité, à évaluer la difficulté a priori de telle ou telle notion, à relativiser l'efficacité de telle ou telle présentation de la notion. Quelquefois même, ils manifestent des déficits criants en connaissances mathématiques élémentaires ».

Il reste évident que la proposition d'un ensemble de techniques, sans un environnement technologico-théorique adéquat, réduirait ces professeurs à une position de consommateurs. Les ressources doivent, donc, proposer en rapport avec les techniques, des technologies qui ont, à la fois, une valeur justificative et explicative.

a3) Adéquation entre l'organisation didactique de R0 et les objectifs de la formation

Dans R0 l'organisation didactique est, essentiellement, précisée par le scénario d'usage. Une organisation spéciale pour la première rencontre est prévue par la première étape du scénario « *Le professeur remet à chaque élève une fiche et les met par groupe de 4* ». Cette organisation en groupe, dès le début de la séance, permet aux élèves de participer activement à l'élaboration des techniques mathématiques. Ce moment d'exploration du type de tâches et d'élaboration de techniques occupe une place non négligeable dans le scénario. Dans la classe de A1, cette phase n'est pas réellement suivie de débat pendant les phases de mise en commun. La durée de la séance prévue par le scénario (Encadré 51) était inadaptée et le temps insuffisant. Au lieu d'organiser un débat comme prévu par le scénario, le professeur A₁ a fait une synthèse.

« *La difficulté de la fiche élève a fait que les 20 minutes qui leur étaient octroyées étaient insuffisantes et le timing n'a pas été respecté. C'est pourquoi trois élèves étaient envoyés simultanément au tableau pour gagner du temps. Cela fait que les élèves n'ont presque pas eu le temps de poser des questions* » (Annexe 7 ; crA₁).

La durée insuffisante a, également, eu pour effet la non mise en œuvre de la deuxième partie, de la seconde phase. Cette partie devrait permettre aux élèves, individuellement, de s'interroger sur la validité des solutions proposées par rapport à leur propre solution. Au-delà du travail d'introspection, cela permettait aux élèves de préparer individuellement la phase de débat.

L'activité sera réalisée en trois phases :

- Première phase (20 minutes)

Le professeur remet à chaque élève une fiche et les met par groupe de 4.

Les élèves travaillent durant 20mn. Le professeur, pendant ce temps, fait le tour des groupes, introduit d'autres éléments dans le *milieu* pour les groupes d'élèves chez qui il n'y a pas eu *dévolution* du problème. Chaque groupe doit désigner un rapporteur en son sein.

- Seconde phase (25 minutes)

Le professeur *envoie*, successivement, trois rapporteurs au tableau puis il laisse les élèves travailler individuellement pendant 10 minutes pour choisir la ou les meilleures solutions.

- Troisième phase

Pendant les 15 dernières minutes, le professeur instaure un débat dans la classe, fait une synthèse et institutionnalise.

Encadré 51 : Extrait du scénario d'usage de R0.

b) Caractéristiques de R1

R1 est la nouvelle version de R après expérimentation. Elle intègre le compte-rendu d'expérimentation de R0 fait par A₁ (Annexe 7 ; crA₁). Elle présente une légère amélioration au niveau de l'adéquation de ses champs et ceux du modèle. Les organisations mathématiques et didactiques ont été également améliorées. Le (Tableau 52) fait le résumé de l'évolution de R1, par rapport R0.

Sections	Caractéristiques	0	1	2	3
Adéquation avec le modèle :	Adéquation entre les champs de la fiche d'identification (FI) de la ressource et ceux du modèle.			X	
	Adéquation entre champs de la fiche élève (FE) de la ressource et ceux du modèle.		X		
	Adéquation entre les champs du scénario (SU) de la ressource et ceux du modèle.			X	
	Adéquation entre les champs de la fiche professeur (FP) de la ressource et ceux du modèle.		X		
	Adéquation entre les champs de la fiche de formation (FF) de la ressource et ceux du modèle.		X		
Adéquation avec les objectifs :	Adéquation entre les organisations mathématiques (OM) et les objectifs de la formation			X	
	Adéquation entre les organisations didactiques (OD) et les objectifs de la formation.		X		

	FI	FE	SU	FP	FF	OM	OD
R0	1	1	0	0	0	1	1
R1	2	1	2	1	1	2	1

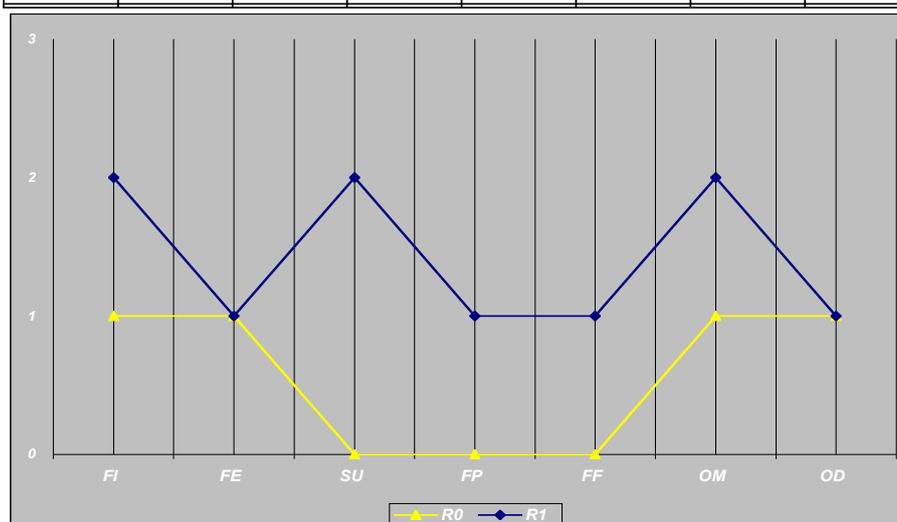


Tableau 52 : le niveau de qualité de R1 comparée à celui de R0.

b1) Adéquation de R1 avec le modèle de ressource

R1 est la version modifiée de R. Elle prend en compte les difficultés rencontrées par A₁ avec R0. R1 est une ressource que l'on peut dire complète. Toutes les fiches sont présentes et il y a eu une amélioration de l'adéquation des champs du modèle et de ceux de la ressource, sauf au niveau de la fiche de formation. La structure de la fiche de formation de cette ressource ressemble à ce que Perriault (2002, p.14) appelle l'effet diligence :

« Phénomène que connaît bien l'histoire des techniques : les premiers wagons ressemblaient aux diligences tout comme bien des cours mis en ligne ressemblent, aujourd'hui, à des manuels scolaires ».

On observe, tout de même, avec cette nouvelle ressource une forte amélioration en termes de spécification des champs du scénario d'usage de R1 (Encadré 53). Le nouveau scénario est

plus précis, il indique les objectifs de chaque étape et les rôles du professeur et des élèves sont bien séparés et bien explicités.

Les étapes de la séance	La durée de chaque étape	L'objectif visé	L'organisation de l'espace classe	Le rôle de l'enseignant	Le rôle des élèves
1 ^{ère}	5 mn	Permettre....	Aucune organisation....	Le professeur explique...	Seul l'élève interrogé....
2 ^{ème}	5 mn				
3 ^{ème}	50 mn				
4 ^{ème}	30 mn				
5 ^{ème}	30 mn				

Encadré 53 : extrait du scénario d'usage de R1.

b2) Adéquation entre les organisations mathématiques de R1 et les objectifs de formation

La fiche élève de R1 (fiche 54) est légèrement modifiée par rapport à celle de R0. Le type de tâches énoncé à la question a) de la fiche élève de la ressource R est devenue dans la ressource R1 les questions a), b), c) et d). Certes, les questions sont plus précises mais elles ne peuvent provoquer une rétroaction chez les élèves. Rien, dans les questions posées, ne permet aux élèves de s'interroger sur la validité de leur solution.

Une entreprise compte 21 employés (un Directeur général, 8 cadres supérieurs et 12 cadres moyens). Pour le partage des bénéfices cette entreprise à la fin de chaque année, le DG prend le huitième et remet à chaque cadre supérieur le double de la part d'un cadre moyen.

1) Sachant que le directeur a l'intention d'acheter une nouvelle voiture à 6 000 000 FCFA, un des cadres supérieurs veut acheter un ordinateur d'une valeur de 2 100 000 FCFA pour sa famille et l'un des cadres moyens veut investir pour 1 400 000 FCFA sur un projet personnel.

- Le cadre supérieur pense que si le projet du cadre moyen est réalisé le sien le sera. Penses-tu que son optimisme est justifié ? Explique ta réponse.
- Quel doit être le montant des bénéfices de cette entreprise pour que la part du cadre moyen soit juste à la hauteur de son projet ?
- Combien l'entreprise doit-il réaliser comme bénéfice pour que la part du DG lui permette juste d'acheter la voiture ?
- Quel doit être le montant minimal que cette entreprise doit avoir comme bénéfice pour satisfaire les vœux de chacun de ses trois agents ?
- Quel est l'agent qui a le projet le moins coûteux par rapport à ses revenus ?

2) Quelques années auparavant, la part du directeur général était égale à la part du cadre supérieur. En ce moment là, l'entreprise ne comptait que deux cadres supérieurs et quelques cadres moyens. Combien de personnes travaillaient dans cette entreprise ?

Fiche 54 : fiche élève de R1.

L'éclatement de la question a) de la fiche élève de R0 en trois questions, n'a pas seulement pour effet de simplifier les questions, elle propose une technique : celle proposée dans la fiche professeur de R0. En effet, cet éclatement suit les différentes étapes de la technique proposée dans la fiche professeur de R0 et les types de tâches de R1 sont conçus en fonction de cette technique. Ainsi, l'une des techniques proposées dans R1 est presque identique à celle proposée dans R0. Seulement, pour prendre en compte le compte-rendu du professeur A₁, deux types de modifications sur les propositions de techniques méritent d'être soulignés :

- le premier point est relatif aux propositions de **deux techniques**. Contrairement à la ressource R0, R1 propose deux techniques au lieu d'une pour le même type de tâches. R1 est une ressource pour la classe de troisième, le choix de la technique utilisant les

intersections de droite rend plus crédible le choix du type de tâches pour cette classe. En effet, la résolution des équations du premier degré à une inconnue n'apparaissant pas dans le programme de troisième comme une compétence exigible, le fait d'utiliser les représentations de droites, est une tentative de légitimer le choix par une l'utilisation d'une technique du programme (Tableau 55) :

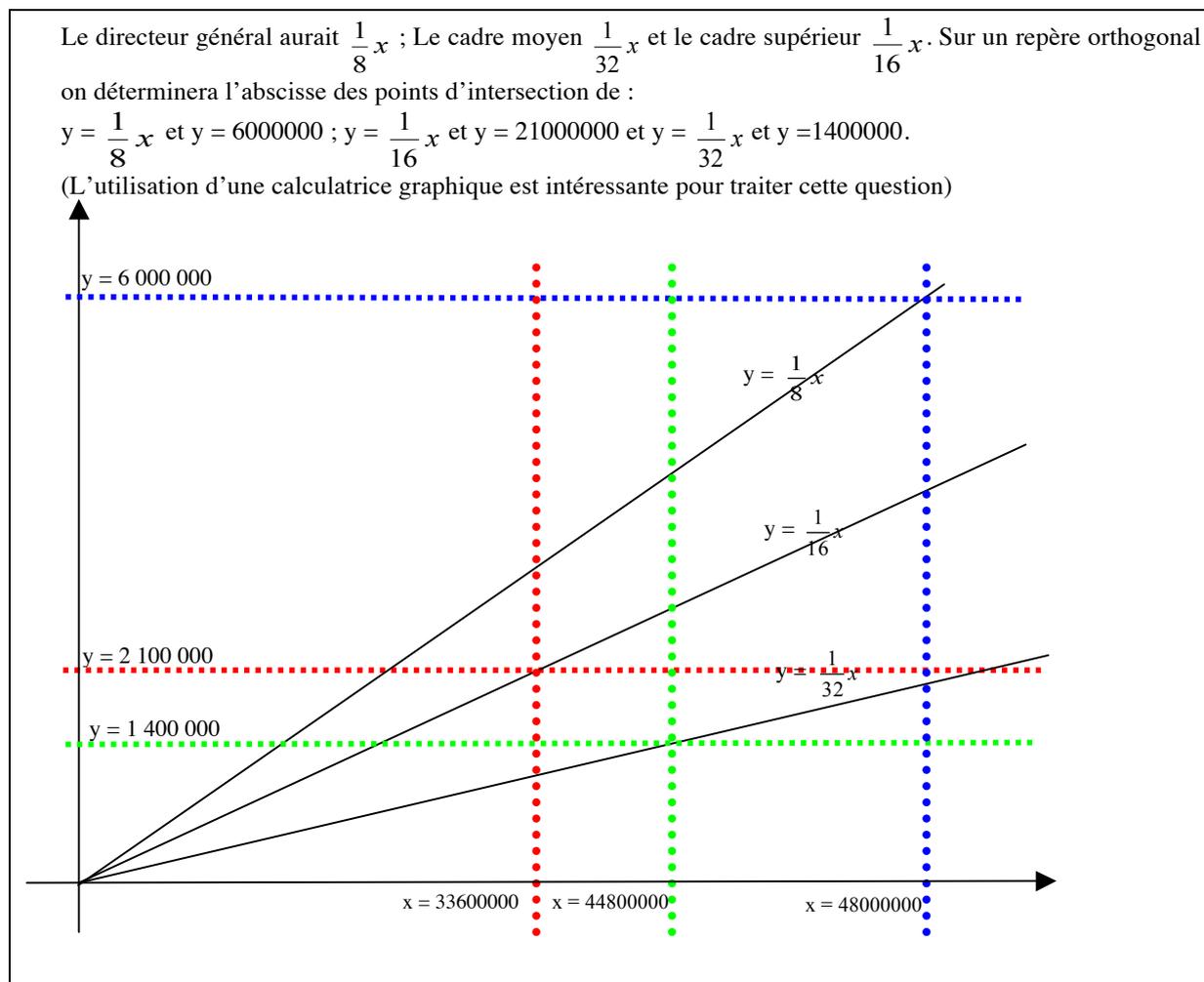
IV - EQUATIONS ET SYSTEME D'EQUATIONS DU 1ER DEGRE À DEUX INCONNUES		
Contenus	Commentaires	Compétences exigibles
1) Equation du premier degré à deux inconnues : $ax + by + c = 0$	• Résolution graphique.	• Résoudre graphiquement dans \mathbb{R}^2 une équation du premier degré à deux inconnues.
2) Systèmes d'équations du premier degré à deux inconnues a) Méthodes de résolution : substitution ; comparaison ; addition ; résolution graphique. b) Interprétation graphique.	• Le professeur traitera des exemples de système d'équations du premier degré à deux inconnues, comportant plus de deux équations de façon à mieux asseoir la notion de solution d'un système. On prendra soin dans le cours de distinguer les différentes méthodes. On assimilera la méthode d'addition à la méthode de la combinaison.	• Vérifier qu'un couple de réels est solution ou non d'une équation du premier degré à deux inconnues. • Résoudre dans \mathbb{R}^2 un système de deux équations du premier degré à deux inconnues par substitution, par addition, par comparaison. • Résoudre graphiquement dans \mathbb{R}^2 un système de deux équations du premier degré à deux inconnues.

VI - REPERAGE DANS LE PLAN		
• On rappellera qu'un repère orthonormal est un repère qui a ses axes perpendiculaires, la même unité de longueur étant choisie sur ces axes.		
Contenus	Commentaires	Compétences exigibles
3) Equation et représentation d'une droite. b) Equation réduite : $y = mx + p$		• Déterminer l'équation réduite d'une droite Passer de l'équation réduite à l'équation générale si possible et inversement.
c) Vecteur directeur et coefficient directeur d'une droite.	• On veillera à ce que les élèves maîtrisent la construction d'une droite connaissant un point et le coefficient directeur de cette droite, ou un point et un vecteur directeur. • Le repère sera orthonormal.	• Représenter une droite dans un repère orthonormal à partir : - de deux de ses points, - d'un point et de son coefficient directeur, - d'un point et d'un vecteur directeur ou d'une équation.

Tableau 55 : extrait du programme sénégalais de 3^{ème}.

- le second point est relatif au changement de registres. Les deux techniques proposées font appel à des registres différents. En effet, si la première technique proposée est algébrique et symbolique, la seconde technique permet une représentation graphique du problème et une lecture graphique de sa solution (Encadré 56). Cet effort fait au niveau du choix des solutions peut faciliter la coordination des registres de représentation (§II-2-3) et offre sur le plan cognitif un intérêt certain en terme d'apprentissage. Ce choix peut également être pertinent pour les professeurs vacataires. Il peut leur permettre d'accéder à une variété d'objets et de démarches mathématiques. Il peut leur permettre

également d'objectiver leur communication et de disposer de plusieurs représentations pour expliquer de différentes façons un même concept.



Encadré 56 : extrait de la « technique graphique » de la fiche professeur de R1.

Le choix de proposer deux techniques et de changer de registres introduit de nouveaux problèmes en ce qui concerne les objectifs d'accompagnement et de formation de la ressource. Ce programme de 3^{ème} de mathématiques ne permet pas de proposer aux élèves les deux techniques relatives à ce type de tâches. La résolution algébrique des équations du premier degré, sous cette forme, n'est pas du programme de troisième (Tableau 48). Mais cela ne doit pas être une contrainte lors de la conception d'une ressource pédagogique. En effet, il est utile pour un professeur de disposer d'autres techniques même si elles ne sont pas du niveau de sa classe pour avoir un autre regard du travail des élèves. L'enseignant en formation peut ainsi étudier les environnements technologico-théoriques de différentes techniques pour pouvoir faire le lien entre elles. En essayant cela avec la ressource R1, le travail de l'enseignant serait proche de l'étude d'organisations mathématiques décrite à la (figure 8).

Pour la ressource R1, le professeur pourrait prolonger ce travail sur les différentes techniques en recherchant, dans le programme de troisième, les types de tâches qui peuvent leur correspondre. Il pourrait aussi étudier l'environnement technologico-théorique de ces techniques. Ce travail théorique est complètement absent de la ressource.

b3) Adéquation entre les organisations didactiques de R1 et les objectifs de la formation

L'organisation didactique proposée dans la ressource ne se limite pas seulement au scénario d'usage. Elle est complétée, dans la fiche professeur, par des indications sur l'élaboration de techniques relatives au type de tâche proposé à la question b) de la fiche élève de R1. Cette réorganisation mathématique n'a pas produit les mêmes effets sur l'organisation didactique.

c) Caractéristiques de R2

La ressource R2 est la ressource R1 modifiée par le groupe des trois professeurs vacataires. Ce travail a entraîné des modifications importantes surtout en ce qui concerne la fiche élève. Le travail du groupe n'a pas seulement consisté à modifier le contenu de la ressource mais aussi à l'adapter au programme. L'adéquation entre les champs de la ressource et ceux prévus par le modèle a évolué. L'organisation mathématique prévue par la ressource a connu également une certaine évolution. Le (tableau 57) fait le résumé de l'évolution de R2 par rapport R1.

Sections	Caractéristiques	0	1	2	3
Adéquation avec le modèle :	Adéquation entre les champs de la fiche d'identification (FI) de la ressource et ceux du modèle.			X	
	Adéquation entre champs de la fiche élève (FE) de la ressource et ceux du modèle.				X
	Adéquation entre les champs du scénario (SU) de la ressource et ceux du modèle.			X	
	Adéquation entre les champs de la fiche professeur (FP) de la ressource et ceux du modèle.			X	
	Adéquation entre les champs de la fiche de formation (FF) de la ressource et ceux du modèle		X		
Adéquation avec les objectifs :	Adéquation entre les organisations mathématiques (OM) et les objectifs de la formation.			X	
	Adéquation entre les organisations didactiques (OD) et les objectifs de la formation.			X	

	FI	FE	SU	FP	FF	OM	OD
R1	2	1	2	1	1	2	1
R2	2	3	2	2	1	2	2

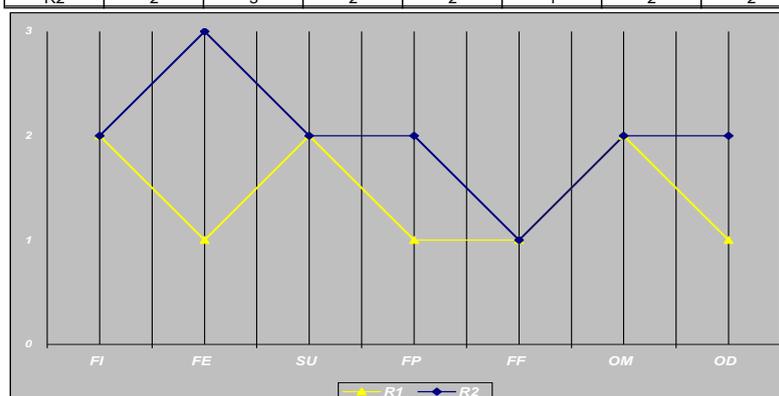


Tableau 57 : le niveau de qualité de R2 comparée à celui de R1.

c1) Adéquation de R2 avec le modèle de ressource

Le problème de l'adéquation de la ressource avec le modèle se pose uniquement pour la fiche de formation. Le contenu de cette fiche de formation a été légèrement amélioré, mais sa structure n'a pas beaucoup changé. La ressource R2 n'est plus une ressource de 3^{ème}, mais de 4^{ème} comme l'indique la fiche d'identification (Tableau 58) et elle est en adéquation avec les

références du programme de quatrième (Tableau 59) qui sont proposées dans la fiche professeur.

Type d'activité :	TD (Exercice d'approfondissement).
Niveau :	Classe de quatrième.
Mots-clés :	Inconnue, équation, ensemble Q.
Pré-requis :	Résolution dans ID des équations du type $a x + b = 0$.
Objectifs d'apprentissage :	L'activité doit aider les élèves à mettre en équations et à résoudre des équations du premier degré à une inconnue dans Q.
Description de l'activité :	Les élèves travaillent en groupe ; ils essayeront collectivement de faire l'exercice. Le professeur organisera une confrontation sur les résultats puis il fait une synthèse.
Objectif de la formation :	Aptitude à mettre en œuvre un travail de groupe de travail.

Tableau 58 : la fiche d'identification R2.

Contenus	Commentaires	Compétences exigibles
III - EQUATIONS A UNE INCONNUE		
<ul style="list-style-type: none"> On introduira les équations à travers des exemples concrets. Aucune théorie générale n'est au programme. On étudiera des problèmes concrets dont la résolution fait appel à des équations. 		
1) Equations se ramenant à la forme : $ax + b = 0$	<ul style="list-style-type: none"> On insistera sur l'utilisation de l'inverse pour trouver x lorsque $a \neq 0$. 	<ul style="list-style-type: none"> Savoir mettre en équation une situation simple. Utiliser l'inverse pour résoudre dans Q des équations du premier degré à une inconnue. Résoudre dans Q des équations du premier degré à une inconnue. Résoudre des problèmes utilisant les équations du premier.

Tableau 59 : extrait du programme de 4^{ème} qui figure sur R2.

Dans cette ressource R2, les champs du scénario et de la fiche professeur sont également respectés. A chaque étape du timing, les objectifs, le rôle de l'enseignant et de l'élève sont précisés.

Sur la fiche professeur des précisions sont faites sur les pré-requis et les objectifs (extrait de la fiche professeur (Tableau 60)).

<p>a) L'objectif de cette question est de mettre la vitesse sous la forme $\frac{q}{p}$ m/s avec p et q des entiers (q non nul).</p> <p>Il serait important de s'assurer que les élèves savent utiliser une situation de proportionnalité ; qu'ils soient en mesure de faire la différence entre un rationnel et une de ses valeurs approchées.</p> <p>b) L'objectif de cette question est de pousser les élèves à faire une mise en équation simple et de résoudre l'équation.</p> <p>Le professeur doit s'assurer que les élèves peuvent calculer la distance connaissant la vitesse et le temps mis. Au-delà de la mise en équation, les élèves peuvent aussi rencontrer des difficultés au niveau de la résolution : l'utilisation de l'inverse pour la résolution de l'équation $\frac{p}{q} x = r$ ($p \neq 0 \neq q$) est exigé par le programme, c'est-à-dire multiplier les deux membres de l'égalité par $\frac{q}{p}$ néanmoins, le professeur doit accepter les solutions des élèves qui commenceraient par multiplier les deux membres de l'expression par q pour les diviser ensuite p. La connaissance de la formule $vt = d$ ne suffit pas. Les élèves doivent savoir que si la vitesse est en m/s, la distance doit être exprimée en mètre et le temps obtenu sera en seconde.</p>
--

Tableau 60 : *extrait de la fiche professeur de R2.*

c2) *Adéquation entre les organisations mathématiques de R2 et les objectifs de la formation*

La fiche élève de la ressource R2 (Tableau 61) est proche du programme en essayant de poser « des problèmes concrets dont la résolution fait appel à des équations ».

Pour aller d'une ville A vers une ville B un bus roule à une vitesse moyenne de 60 km/h.

a) Calculer la vitesse moyenne du bus en mètre, par seconde.

b) Déterminer le temps que ce bus aura mis pour parcourir une distance de 33400m.

c) 7mn 20s après le départ du bus, un taxi quitte la ville A avec une vitesse moyenne de $\frac{425}{18}$ m/s, déterminer le temps que le taxi devra mettre pour rattraper le bus.

Tableau 61 : la fiche élève de R2.

Les types de tâches sont précis surtout pour les questions a) et c). La question b) peut être jugée incomplète car l'unité de temps n'est pas précisée. Par ailleurs, avec le calcul de la vitesse en mètre par seconde (question a), le groupe veut obliger les élèves à s'interroger sur la validité de leur résultat. Les mises en garde dans la fiche professeur permettent de mieux situer cet objectif de la ressource.

« Il serait important de s'assurer que les élèves **soient en mesure de faire la différence entre un rationnel et une de ses valeurs approchée...** Les élèves, en principe, connaissent l'ensemble Q ; **il est important qu'ils comprennent que la vitesse moyenne du car est $V = \frac{50}{3}$ m/s et non 16,66 m/s ou ... ».**

Les élèves auront à se prononcer sur l'utilisation des nombres $\frac{50}{3}$; 16 ; 16,6 ; 16,66 ; 16,666 ; 16,7 ; etc. Les questions b) et c) permettront aux élèves de vérifier si leur choix est pertinent ou pas.

Il est intéressant de constater que les précisions faites, au niveau des types de tâches, n'appauvrissent pas le *milieu*. Au contraire, elles ont obligé les élèves à s'interroger sur la validité de leur solution. Ainsi, certains élèves pour vérifier la proximité des résultats (16m/s et 60 km/h) ont fait appel à leur sens commun pour valider. « Une voiture qui fait **16 m en une seconde** ne serait-elle pas plus rapide qu'une autre qui fait 60 km/h ? » Dans cette situation, la proposition d'un environnement technologico-théorique n'a pas seulement pour effet de justifier une technique mais de pousser l'élève à interroger ses conceptions.

Il est également important de souligner que la ressource ne propose pas une technique mais deux techniques pour le type de tâches relatif à la question c) de la fiche élève. La première technique est bien au programme de 4^{ème}. Il est indiqué dans la fiche professeur que « *cette question aidera les élèves à travailler la technique de résolution des équations dans Q se ramenant à la forme : $ax + b = 0$ avec a et b dans Q et $a \neq 0$.*

La mise en équation peut poser problème aux élèves : si le taxi met un temps t pour rattraper le bus, le bus aura roulé un temps $t + 7$ mn 20 secondes soient 440 secondes de plus que le taxi. Et dire que le taxi a rattrapé le car signifie qu'ils ont parcouru la même distance à partir de la ville A. On aurait alors : $\frac{425}{18}t = \frac{100}{6}(t + 440)$; soit un temps de 17mn 36s. »

La seconde technique proposée (Encadré 62), bien qu'intéressante, n'est pas en adéquation avec le programme de 4^{ème}. Ce programme (Encadré 63) ne prévoit pas un travail sur les représentations graphiques de droites. Ces professeurs vacataires, en élaborant cette technique, ont montré qu'ils ont maîtrisé ce qui a été fait avec la ressource R1. Ils ont surtout

pensé à l'organisation mathématique. Or, cette réflexion sur l'OM devrait être suivie d'un travail sur l'OD pour prendre en charge l'activité réelle dans la classe.

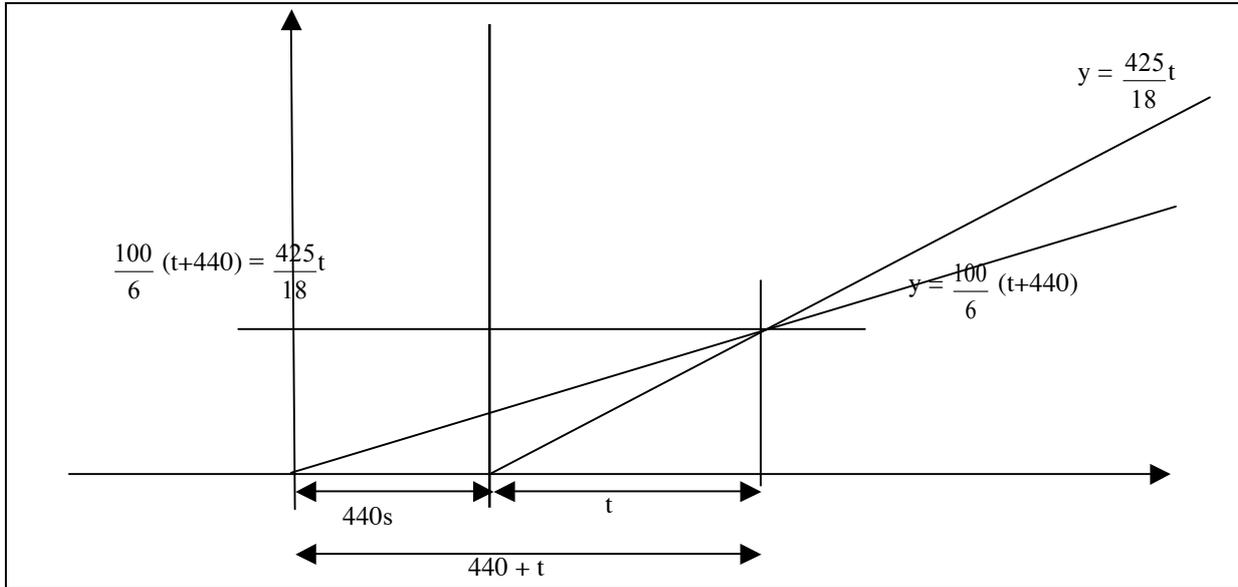


Tableau 62 : extrait de la fiche professeur de R2 sur la technique qui utilise les représentations graphiques de droites.

Contenus	Commentaires	Compétences exigibles
VII - PROJECTION ORTHOGONALE DANS LE PLAN		
3) Repérage dans le plan. a) Coordonnées du milieu d'un segment. b) Carré de la distance de deux points : $AB^2 = (X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2$	<ul style="list-style-type: none"> On ne choisira que des repères orthonormaux. On n'introduira pas le symbole "$\sqrt{\quad}$", en 4^{ème} On utilisera le théorème de Pythagore pour démontrer qu'un triangle est rectangle connaissant les coordonnées de ses trois sommets. 	<ul style="list-style-type: none"> Déterminer les coordonnées du milieu d'un segment connaissant celles de ses extrémités dans un repère orthonormal. Utiliser dans un repère orthonormal la formule : $AB^2 = (x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2$ pour : <ul style="list-style-type: none"> - calculer des carrés de longueurs, - démontrer qu'un triangle est rectangle.

Encadré 63 : extrait de programme de 4^{ème}.

c3) Adéquation entre les organisations didactiques de R2 et les objectifs de la formation

La modification de la fiche élève, a entraîné trois types modifications sur la fiche professeur aussi bien au niveau des OM que des OD.

- la proposition d'un extrait de programme en rapport avec la fiche élève, mais qui ne prend pas en compte les techniques proposées, en particulier la technique graphique ;
- la précision des objectifs et des pré-requis relatifs aux questions posées :
 - « a) L'objectif de cette question est de mettre la vitesse sous la forme $\frac{p}{q}$ m/s avec p et q entiers (q non nul) [...] Il serait important de s'assurer que les élèves

sachent utiliser une situation de proportionnalité ; qu'ils soient en mesure de faire la différence entre un rationnel et une de ses valeurs approchées.

- L'objectif de cette question est de pousser les élèves à faire une mise en équation simple et de la résoudre l'équation [...] Le professeur doit s'assurer que les élèves peuvent calculer la distance connaissant la vitesse et le temps mis.
 - L'objectif de cette question est également de pousser les élèves à faire une mise en équation, ils s'exerceront également à la résolution des équations dans Q . »
- des mises en garde pour permettre à l'enseignant de disposer de quelques outils pour analyser les procédures utilisées par les élèves dans les phases de recherches.
- « Au-delà de la mise en équation, les élèves peuvent aussi rencontrer des difficultés au niveau de la résolution [...] ;
 - l'utilisation de l'inverse pour la résolution de l'équation $\frac{p}{q}x = r$ ($p \neq 0 \neq q$) est exigée par le programme. Les élèves doivent savoir que si la vitesse est en m/s, la distance doit être exprimée en mètre et le temps obtenu sera en seconde [...].
 - La mise en équation peut poser problème aux élèves : si le taxi met un temps t pour rattraper le bus, le bus aura roulé un temps $t + 7\text{mn } 20\text{secondes}$ soient 440 secondes de plus que le taxi. Dire que le taxi a rattrapé le bus signifie qu'ils ont parcouru la même distance à partir de la ville A. On aurait alors : $\frac{425}{18}t = \frac{100}{6}(t+440)$; soit un temps de 17mn 36s ».

d) Caractéristiques de R3

Cette ressource R3 est la version modifiée par A_2 après son expérimentation avec R2. Elle n'a subi qu'une seule modification au niveau de la fiche élève. A la question b) de la fiche élève, le professeur propose que l'unité de temps soit précisée. Les autres fiches sont restées les mêmes, sans modification. Au niveau de l'adéquation des champs de la ressource et ceux du modèle et des objectifs de la ressource par rapport à l'organisation mathématiques et didactique la ressource est restée la même.

Le (tableau 64) fait le résumé de l'évolution de R3 par rapport R2.

Sections	Caractéristiques	0	1	2	3
Adéquation avec le modèle :	Adéquation entre les champs de la fiche d'identification (FI) de la ressource et ceux du modèle.				X
	Adéquation entre champs de la fiche élève (FE) de la ressource et ceux du modèle.				X
	Adéquation entre les champs du scénario (SU) de la ressource et ceux du modèle.			X	
	Adéquation entre les champs de la fiche professeur (FP) de la ressource et ceux du modèle			X	
	Adéquation entre les champs de la fiche de formation (FF) de la ressource et ceux du modèle.		X		
Adéquation avec les objectifs :	Adéquation entre les organisations mathématiques (OM) et les objectifs de la formation.			X	
	Adéquation entre les organisations didactiques (OD) et les objectifs de la formation.			X	

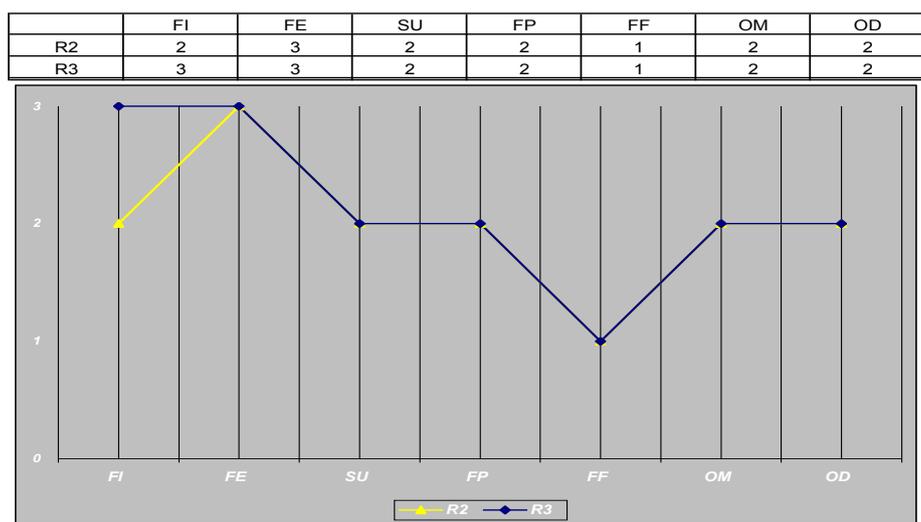


Tableau 64 : le niveau de qualité de R3 comparée à celui de R2.

IV-2-2 Evolution des ressources étudiées par les professeurs titulaires

Les ressources $\{R'0, R'1, R'2, R'3\}$ ont été étudiées par des professeurs titulaires. Ces quatre ressources forment les différentes étapes de la vie de la ressource R'. La ressource R' est une ressource pour la classe de terminale littéraire (18-19 ans). Elle est composée d'une activité introductive à la notion de continuité et d'un « cours » avec quelques définitions et des exercices d'application. Elle a été conçue par le tuteur en rapport avec le programme de mathématiques du Sénégal.

a) *Caractéristiques de R'0*

R'0 est la première version de la ressource R' avant qu'elle ne soit expérimentée puis transformée par le professeur titulaire B1. Au niveau des différentes fiches de cette ressource, on note une bonne adéquation des champs avec ceux du modèle. Quant à l'adéquation de l'organisation mathématique avec les objectifs de la ressource, elle peut être améliorée, de même que celle de l'organisation didactique, avec les objectifs de la ressource.

Le (Tableau 65) fait le résumé des caractéristiques R'0.

Sections	Caractéristiques	0	1	2	3
Adéquation avec le modèle :	Adéquation entre les champs de la fiche d'identification (FI) de la ressource et ceux du modèle.		X		
	Adéquation entre champs de la fiche élève (FE) de la ressource et ceux du modèle.			X	
	Adéquation entre les champs du scénario (SU) de la ressource et ceux du modèle.		X		
	Adéquation entre les champs de la fiche professeur (FP) de la ressource et ceux du modèle.		X		
	Adéquation entre les champs de la fiche de formation (FF) de la ressource et ceux du modèle.		X		
Adéquation avec les objectifs :	Adéquation entre les organisations mathématiques (OM) et les objectifs de la formation.		X		
	Adéquation entre les organisations didactiques (OD) et les objectifs de la formation.		X		

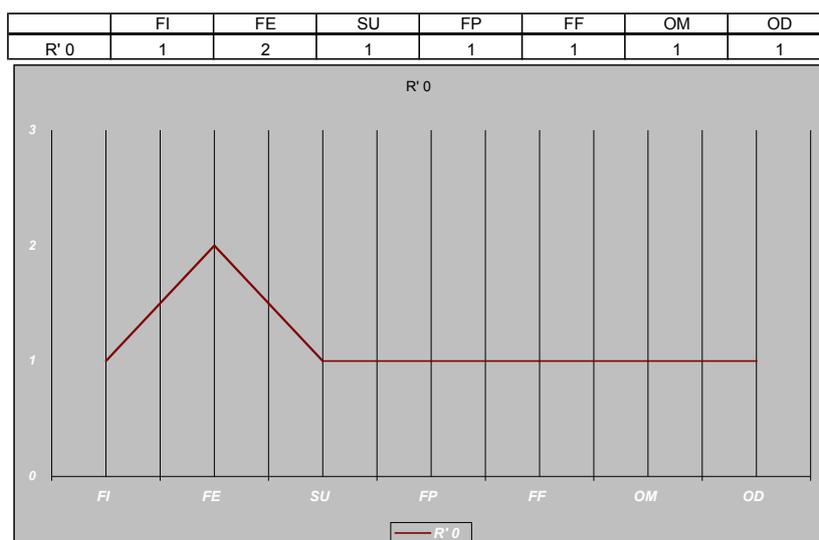


Tableau 65 : Le niveau de qualité de R'0

a1) Adéquation de R'0 avec le modèle de ressource

La fiche d'identification de la ressource est en bonne adéquation avec celle du modèle, mais même si les champs sont remplis certains ne le sont pas de façon très appropriée. En effet, la description du niveau d'enseignement ne précise pas la section (littéraire ou scientifique). On peut certes reconnaître la section visée à partir de l'extrait de programme contenu dans la fiche professeur, mais l'intérêt de la fiche d'identification (Tableau 66) est d'avoir une idée de la ressource sans la parcourir complètement.

La fiche élève peut paraître adéquate, mais n'y a aucune articulation entre les questions a et b, ceci sera développé lors de l'étude de l'organisation mathématique.

Le scénario semblait être adéquat : les étapes sont précisées et les objectifs fixés pour chaque étape. Mais, il se pose un problème de faisabilité au niveau de la gestion du temps (Annexe 7 ; cr B₁).

La fiche professeur est moins complète. Il n'y a aucune indication sur les pré-requis, sur les difficultés éventuelles que les élèves peuvent rencontrer et sur les précautions que le professeur doit prendre.

Type d'activité :	Cours sur la continuité.
Niveau :	Classe de Terminale.
Mots-clés :	Fonction, limite, continuité.
Pré-requis :	Courbe représentative de fonctions numériques et notion de limite.
Objectifs d'apprentissage :	Aider les élèves à la conceptualisation de la notion de continuité.
Description de l'activité :	Les élèves travaillent en groupe ; ils essayeront collectivement de faire l'activité d'introduction. Le professeur organisera une confrontation sur les résultats puis il fait une synthèse qui lui permettra d'introduire son cours sur la continuité.
Objectif de formation :	Aptitude à mettre en œuvre un travail de groupe de travail.

Tableau 66 : fiche d'identification de R'0.

Contenus	Commentaires	Compétences exigibles
<p>FONCTIONS : LIMITES, CONTINUITÉ ET DERIVABILITE. I) LIMITE. CONTINUITÉ 2/- Continuité a) Continuité en un point ; b) Continuité sur un intervalle.</p>	<p>On consolidera les notions intuitives acquises en classe de première. Aucune théorie ne sera faite sur les limites et la continuité. On parlera des cas d'indétermination et l'on montrera comment lever une indétermination. Les limites à gauche ou à droite seront traitées dans les cas suivants :</p> $\lim_{x \rightarrow -\frac{d}{c}} \left(\frac{ax+b}{cx+d} \right); \lim_{x \rightarrow \alpha} \left(\frac{ax^2+bx+c}{dx^2+ex+f} \right) \text{ avec}$ $d \neq 0; \lim_{x \rightarrow -\frac{b}{a}} \sqrt{ax+b}$ <p><i>On rappellera que: f est continue en x_0 si $f(x_0)$ existe, $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x)$ existe et $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = f(x_0)$</i></p> <p><i>On admettra que l'image d'un intervalle I par une fonction continue est un intervalle $f(I)$.</i></p>	<p>Calculer les limites, les dérivées dans les cas suivants : $f(x) \in$ $\left\{ \frac{ax^2+bx+c}{dx^2+ex+f}; \sqrt{ax+b} ; \right.$ $\left. ax^3+bx^2+cx+d \right\}$ avec a, b, c, d, e et f réels.</p>

Tableau 67 : extrait du programme de terminale littéraire.

a2) Adéquation de l'organisation mathématique de R'0 avec l'organisation mathématique du modèle de ressource

L'étude de l'organisation mathématique occupe une place centrale dans cette ressource. En effet, cette étude doit permettre de montrer en quoi les types de tâches proposés sont pertinents pour étudier les concepts d'analyse du programme en vigueur dans les sections littéraires du Sénégal.

Au niveau de la fiche élève (Encadré 68), deux types de tâches sont proposés aux élèves :

- le premier fait appel à des connaissances en géographie qui ne semblent pas être pertinentes pour l'acquisition des connaissances mathématiques en jeu dans la fiche. Par contre, les objectifs sont facilement identifiables : il s'agit, comme le précise le programme, de ne pas faire d'étude théorique et de faire appel « aux notions intuitives » que les élèves ont de la continuité ;
- le second type de tâches fait appel également « aux notions intuitives » que les élèves ont de la continuité en utilisant des graphiques. Ce type de tâches est plus précis, mais le terme « traverser » peut laisser croire qu'une courbe est quelque chose de mobile.

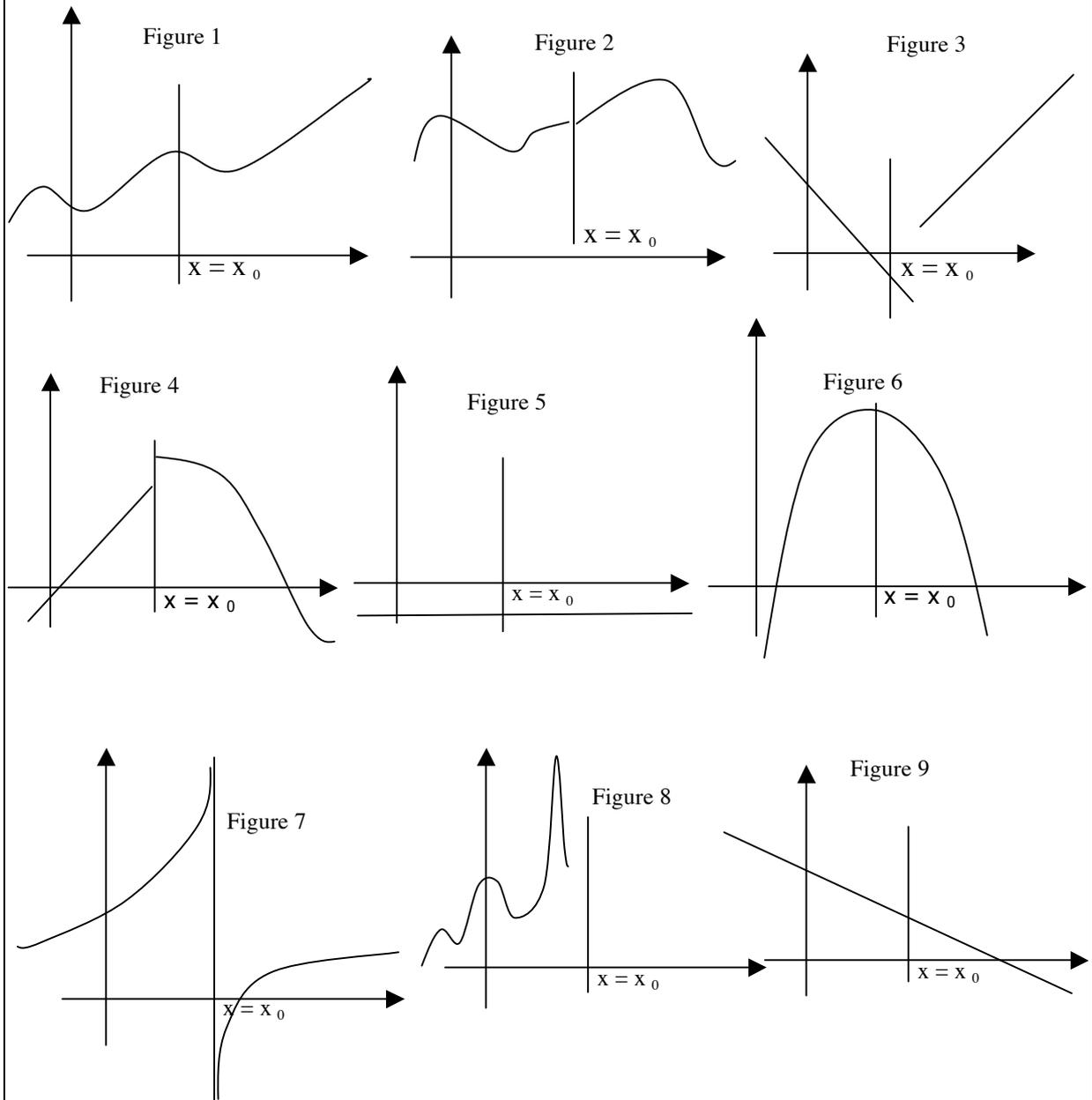
La fiche professeur propose des solutions sans un environnement technologico-théorique qui les justifie ou qui permet de les expliquer. Pourtant, dans la fiche élève, il est bien précisé que l'élève doit justifier ses réponses.

Dans cette ressource, la technique proposée pour montrer qu'une fonction est continue en un point est relative à l'étude de l'appartenance du point à l'ensemble de définition de la fonction. Le programme du Sénégal propose une liste de fonctions usuelles que l'élève de la section littéraire doit connaître (programme (Tableau 67)) et, pour chacune d'elles, l'étude de la continuité en un point se résume à l'appartenance ou pas de ce point à l'ensemble de définition de la fonction. Le problème, qui se pose avec cette technique, est son véritable intérêt et son avenir mathématique.

a) Parmi les voies de communication routières, ci-dessous, dites celles qui sont continues. Expliquez votre choix..

Dakar-Banjul ; Dakar-Kaolack ; Saint-Louis-Nouakchott; Thies-Tambacounda; Mbour-Gorée ; Diourbel-Praïa ; Ziguinchor-Kolda.

b) Parmi les courbes, ci-dessous, dites celles qui traversent la droite d'équation $x = x_0$ de façon continue. Expliquez votre choix.



Encadré 68 : fiche élève de R'0.

a3) Adéquation de l'organisation didactique de R'0 avec l'organisation mathématique du modèle de ressource

L'étude de l'organisation didactique de la ressource est faite en deux parties :

- d'une part, il y a une présentation du moment de la première rencontre avec la première étape du scénario d'usage (Encadré 69). Le scénario propose également une organisation de la séance qui doit favoriser la constitution d'un environnement technico-théorique en suggérant un travail collaboratif à la deuxième et troisième étape de la ressource. On peut penser que c'est pour répondre à une volonté institutionnelle que

l'auteur de la ressource propose « une activité » au niveau de la fiche élève pour introduire de façon intuitive la continuité. Mais, ce travail n'est pas articulé avec celui de la fiche professeur. Margolinas (2004, p. 129) décrit une situation similaire en France où :

« Ce type de schéma se rencontre toutes les fois que la situation investie par l'élève n'a comme fonction pour le professeur que d'être un 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 de 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 pour l'élève. Dans cette forme, les élèves qui s'investissent dans la branche a-didactique 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, apprentissage invisible de l'institution didactique ».

Les différentes étapes de la séance	La durée de chaque étape	L'objectif visé	L'organisation de l'espace classe	Le rôle de l'enseignant	Le rôle des élèves
1 ^{ère}	2 mn	Permettre aux élèves de mieux comprendre l'énoncé.	Chaque élève reste à sa place habituelle.	Le professeur remet à chaque élève une fiche et demande à un élève de lire le texte. Il peut faire des commentaires sur la forme et pas sur le fond ; il se gardera d'expliquer ou de proposer une méthode de résolution.	Seul l'élève interrogé lit le texte, les autres peuvent poser des questions mais seulement sur la forme.
2 ^{ème}	2 mn	Mettre les élèves en groupe de travail.	Les élèves se déplacent pour former des groupes de travail.	Le professeur demande aux élèves de se mettre en groupes de 4, 5 ou 6 selon l'effectif de sa classe.	Les élèves se mettent en groupes
3 ^{ème}	20 mn	Susciter un travail collaboratif chez les élèves.	Les élèves travaillent en groupe.	Le professeur fait le tour des groupes. Il notera les idées (solutions comme erreurs) qui lui paraissent intéressantes. Il profitera de cette occasion pour faire l'appel, remplir le cahier de texte etc. Il se gardera	Les élèves travaillent en groupe. Chaque groupe d'élèves doit désigner en son sein un rapporteur qui se chargera d'expliquer leur production.

				d'intervenir.	
4 ^{ème}	16 mn	Permettre aux élèves d'exposer leurs travaux ; susciter un débat contradictoire.	Deux rapporteurs de groupe exposent successivement pendant 8 mn leurs productions.	Le professeur, compte-tenu des idées intéressantes qu'il a relevées, interroge les rapporteurs des groupes concernés au tableau. Le professeur organise le débat puis il fait une synthèse	Chaque rapporteur interrogé présente les productions de son groupe. Les élèves peuvent intervenir pour des clarifications; ils peuvent réfuter des arguments, proposer des contre-exemples.
5 ^{ème}	20	Permettre au professeur d'exposer ce qui fait l'objet de son enseignement au tableau.	Les élèves regagnent leur place	Le professeur demande aux élèves de prendre la synthèse dans leur cahier de cours. Il écrit au tableau ce qui fait l'objet de son enseignement. Concernant l'exercice d'application, le professeur permettra aux élèves de chercher pendant 5mn avant d'interroger quelques élèves pour la correction.	Les élèves prennent le titre de la leçon dans leur cahier de cours : FONCTIONS : LIMITES CONTINUITÉ ET DÉRIVABILITÉ. puis le sous titre : I CONTINUITÉ Après avoir collé leur fiche, ils prennent la synthèse faite par le professeur. Puis les traces écrites de la leçon.

Encadré 69 : scénario de R'O.

- d'autre part, la fiche professeur permet la préparation du travail de la technique. Il reste à savoir si la technique proposée est quantitativement et qualitativement mise à l'épreuve. La fiche professeur propose aussi des indications pour la préparation du moment d'institutionnalisation. Ces deux moments, celui du travail de la technique et le moment d'institutionnalisation, tels qu'ils sont présentés dans la fiche professeur, laissent penser à un manque d'articulation entre le scénario et la fiche professeur. La fiche professeur présente des outils théoriques qui ne demandent qu'à être « appris par cœur » (Encadré 70) alors que le scénario et la fiche de formation insistent sur le travail collaboratif et la mise en activité de l'élève. Tout laisse croire que la méthode proposée au niveau de la fiche professeur est une invite à une méthode qui privilégie un exposé d'un environnement théorique avant de proposer des techniques. Ce phénomène est bien décrit par Chevallard (1999), pour qui :

« Pour des raisons d'économie didactique globale, toutefois, les stratégies de direction d'étude traditionnelles font, en général, de ce troisième moment la première étape de l'étude, étape qui est alors commune à l'étude de plusieurs types de problèmes -tous ceux, parmi les types de problèmes à étudier, qui apparaissent comptable du même environnement technologico-théorique. L'étude de ces types de problème apparaît alors, classiquement, comme une suite d'applications du bloc technologico-théorique ainsi mis en place ».

Pour chacune des fonctions suivantes :

- Préciser l'ensemble de définition de f
- Etudier la continuité de f en x_0
- Déterminer, si elle existe, la limite de f en x_0 .

a) $f(x) = x^2 - 3x + 2$; $x_0 = 2$; $x_0 = \sqrt{2}$

b) $f(x) = 4(x-1)(2x-3)(x+2)$; $x_0 = 1$; $x_0 = 0$

c) $f(x) = \frac{2x-4}{1-x}$; $x_0 = -1$; $x_0 = 2$

d) $f(x) = 5 + \frac{7x-3}{2x^2-7x+3}$; $x_0 = 0$; $x_0 = 1$

e) $f(x) = \sqrt{-2x-6}$; $x_0 = -5$; $x_0 = -4$; $x_0 = -3$

Encadré 70 : extrait de la fiche professeur de R'0.

b) Caractéristiques de R'1

La ressource R'1 est la version modifiée de R'0. Après avoir étudié et expérimenté R'0, B₁ a fait des propositions de modifications.

B₁ a surtout demandé que le scénario soit revu et juge la durée très insuffisante. « En une heure avec 54 élèves, il m'est impossible de mettre les élèves en groupe, d'organiser un débat et faire une synthèse. Je pense qu'il faut au moins doubler chaque étape » (Annexe 7 ; crB₁).

Il a aussi fait quelques précisions sur la fiche d'identification (préciser qu'il y a eu une activité d'introduction ; que la ressource s'adresse à une section littérature et ajouté les fonctions usuelles aux pré-requis).

Sur la fiche professeur, la figure n° 3 était omise parmi les solutions à la question b) de la fiche élève.

En dehors des propositions de modifications ci-dessus, B₁ estimait que la ressource est très appropriée pour faire passer la notion de continuité (Annexe 7 ; crB₁). Ainsi, les caractéristiques de R'1, en dehors du scénario et de la fiche d'identification, restent presque inchangées par rapport à celles de R'0 : précision au niveau la fiche d'identification que la ressource s'adresse à des élèves de terminale littéraire ; au niveau de la fiche professeur, la figure n° 3 a été ajouté aux solutions à la question b) de la fiche élève.

Le (Tableau 71) fait le résumé de l'évolution de R'1 par rapport R'0.

Sections	Caractéristiques	0	1	2	3
Adéquation avec le modèle :	Adéquation entre les champs de la fiche d'identification (FI) de la ressource et ceux du modèle.			X	
	Adéquation entre champs de la fiche élève (FE) de la ressource et ceux du modèle.			X	
	Adéquation entre les champs du scénario (SU) de la ressource et ceux du modèle.			X	
	Adéquation entre les champs de la fiche professeur (FP) de la ressource et ceux du modèle.		X		

	Adéquation entre les champs de la fiche de formation (FF) de la ressource et ceux du modèle.		X		
Adéquation avec les objectifs :	Adéquation entre les organisations mathématiques (OM) et les objectifs de la formation.		X		
	Adéquation entre les organisations didactiques (OD) et les objectifs de la formation.		X		

	FI	FE	SU	FP	FF	OM	OD
R' 0	1	2	1	1	1	1	1
R' 1	2	2	2	1	1	1	1



Tableau 71 : le niveau de qualité de R'1 comparée à celui de R'0.

c) *Caractéristiques de R'2*

R'2 est la ressource R'1 après sa modification par le groupe des professeurs titulaires. Ce travail a entraîné une modification de la ressource, surtout au niveau de la fiche professeur. Cette ressource, sur le plan de l'adéquation entre champs de la ressource et ceux prévus par le modèle a évolué par rapport à R'1. L'organisation mathématique et l'organisation didactique ont connu une certaine évolution.

Le (Tableau 72) fait le résumé de l'évolution de R'2 par rapport R'1.

Sections	Caractéristiques	0	1	2	3
Adéquation avec le modèle :	Adéquation entre les champs de la fiche d'identification (FI) de la ressource et ceux du modèle.				X
	Adéquation entre champs de la fiche élève (FE) de la ressource et ceux du modèle.			X	
	Adéquation entre les champs du scénario (SU) de la ressource et ceux du modèle.			X	
	Adéquation entre les champs de la fiche professeur (FP) de la ressource et ceux du modèle.			X	
	Adéquation entre les champs de la fiche de formation (FF) de la ressource et ceux du modèle		X		
Adéquation	Adéquation entre les organisations mathématiques (OM) et les objectifs de la formation.			X	

avec les objectifs :	Adéquation entre les organisations didactiques (OD) et les objectifs de la formation.			X	
-----------------------------	---	--	--	---	--

	FI	FE	SU	FP	FF	OM	OD
R'1	2	2	2	1	1	1	1
R'2	3	2	2	2	1	2	2

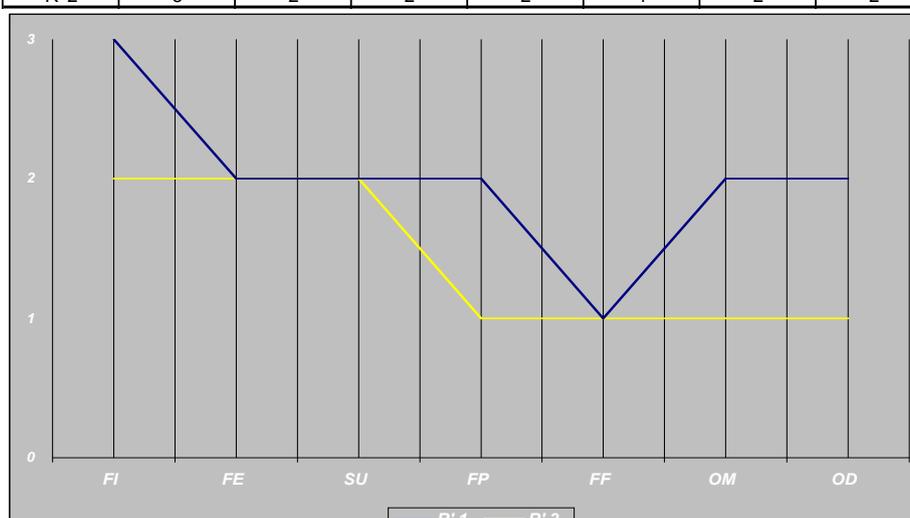


Tableau 72 : le niveau de qualité de R'2 comparée à celle de R'1.

c1) Adéquation de R'2 avec le modèle de ressource

La ressource R'2 est la version modifiée de la ressource R'1 par le groupe de professeurs titulaires. Cette ressource R'2 est en grande partie adéquate avec le modèle. Elle a toutes ses fiches du modèle 2 (figure 23) et pour certaines d'entre elles, les champs bien remplis. Le contenu des champs de la fiche professeur a changé, mais les champs sur les difficultés de la fiche élève ne sont pas remplis. La fiche d'identification et la fiche de formation n'ont pas changé par rapport à la ressource R'1. Le scénario d'usage est légèrement modifié.

c2) Adéquation de l'organisation mathématique de R'2 avec l'organisation mathématique du modèle de ressource

Dans R'2, la fiche élève n'a pas été modifiée. Les types de tâches sont restés les mêmes que ceux proposés dans la ressource R'1. La définition et la remarque faites au niveau de la fiche professeur servent de techniques pour les types de tâches proposés. La fiche de formation ne propose aucun outil théorique en mathématiques, les outils proposés sont didactiques et professionnels. Les types de tâches n'ont pas changé, les techniques sont restées les mêmes, l'environnement technologico-théorique étant absent, on peut dire que l'organisation mathématique n'est pas très éloignée de celle proposée au niveau de la ressource R'1. Pour la question b) de la fiche professeur (extrait ci-dessous), contrairement à la ressource R'1, le groupe a proposé un travail de *conversion de registres* (§II-2-3) qui nous paraît important par rapport au thème d'étude (l'analyse) mais aussi par rapport au niveau des élèves (Classe de Terminale de la section littéraire).

b) Si f est une fonction continue sur un intervalle I , alors $f(I)$ est un intervalle.

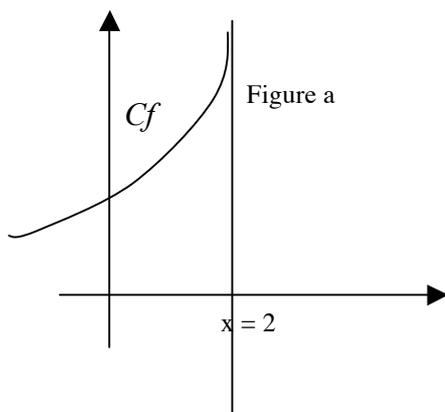


Figure a, on suppose que $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = 0$; $\lim_{x \rightarrow 2^-} f(x) = +\infty$; $f(] -\infty ; 2[) =] 0 ; +\infty [$

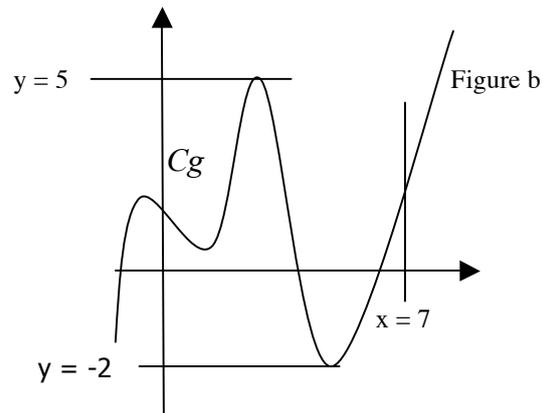


Figure b, $f([0 ; 7]) = [-2 ; 5]$.

Encadré 73 : extrait de la fiche professeur.

c3) Adéquation de l'organisation didactique de R'2 avec celle du modèle

Dans R'2, le moment de la première rencontre n'a pas beaucoup changé, son organisation est proposée par le scénario d'usage qui est presque le même que celui de R'1. Concernant le moment de constitution d'un environnement technologico-théorique, il apparaît dans cette ressource que son articulation avec la gestion de l'activité pose problème. Dans cette ressource R'2, aucune technique n'est proposée au niveau de la fiche professeur pour les types de tâches de la fiche élève. Par contre, un environnement technologico-théorique est proposé dans la fiche professeur, il génère des techniques qui permettent de résoudre des exercices d'application. La constitution de cet environnement apparaît comme l'étape principale de l'étude. La fiche professeur fait une description du moment d'institutionnalisation avec une définition, une remarque et des propriétés avant de proposer un ensemble d'exercices que le professeur peut utiliser pour entraîner ses élèves. Ainsi, ce qui apparaît comme fondamental dans cette ressource est le choix des types de problèmes permettant de faire travailler les techniques proposées. Ce moment de travail de la technique de R'2, organisé au niveau des exercices d'application, diffère de celui proposé dans la ressource R'1 par le choix des exercices (Encadré 74) :

<p>Pour chacune des fonctions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Préciser l'ensemble de définition de f. - Etudier la continuité de f en x_0. - Déterminer, si elle existe, la limite de f en x_0. <p>a) $f(x) = x^2 - 3x + 2$; $x_0 = 2$; $x_0 = \sqrt{2}$ b) $f(x) = 4(x-1)(2x-3)(x+2)$; $x_0 = 1$; $x_0 = 0$ c) $f(x) = \frac{2x-4}{1-x}$; $x_0 = -1$; $x_0 = 2$ d) $f(x) = 5 + \frac{7x-3}{2x^2-7x+3}$; $x_0 = 0$; $x_0 = 1$ e) $f(x) = \sqrt{-2x-6}$; $x_0 = -5$; $x_0 = -4$; $x_0 = -3$</p>	<p>Pour chacune des fonctions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Préciser l'ensemble de définition de f. - f est elle continue en x_0 ? - Déterminer, si elle existe, la limite de f en x_0. <p>a) $f(x) = 4(x-1)(2x-3)(x+2)$; $x_0 = 1$; $x_0 = 0$ b) $f(x) = \frac{(2x-5)(x-1)}{1-x}$; $x_0 = -1$; $x_0 = 1$ c) $f(x) = \begin{cases} \sqrt{-2x-6} & \text{si } x \leq -3 \\ 3x-5 & \text{si } x > -3 \end{cases}$; $x_0 = -3$</p>
<p>Exercices d'application de la ressource R'1</p>	<p>Exercices d'application de la ressource R'2</p>

Encadré 74 : tableau comparatif des exercices d'application de R1 et de R2'.

Avec la ressource R'1, les types de tâches sont bien des « exercices d'application » des techniques : l'utilisation de la technique est presque évidente. Alors dans la ressource R'2, la question c) permet de dépasser le niveau d'application de propriétés pour tester la compréhension de la notion de continuité. Cette question c) et la figure 4 de la fiche élève sont comme des éléments d'un même type de tâches. La question c) serait ainsi une conversion en écriture algébrique d'une écriture graphique de même type que celle de la figure 4. Ainsi, la prise en charge de cette question c) peut être étudiée à deux niveaux :

- le premier problème est relatif au calcul de limite de fonctions définies par intervalle en utilisant les propriétés déjà annoncées. Ce travail suppose que la fonction, sur chaque intervalle, puisse être étudiée avec les outils disponibles. Ce qui apparaît dans la proposition faite au niveau de la ressource, le groupe sachant que la fonction à étudier ne fait pas partie des fonctions usuelles, essaye de retrouver des fonctions usuelles qui lui permettraient de calculer les limites : il pourrait calculer les limites à droite et à gauche avant de montrer que la fonction n'admet pas de limite en -3 ;
- le second problème est relatif à l'interprétation graphique des résultats obtenus au cours de la résolution du premier problème. Le calcul de la limite à gauche comme à droite de -3 pourrait être accompagné de graphique et en revenant ainsi à la situation de la figure 4, on pourrait justifier le fait qu'elle ne soit pas une fonction continue en -3 . Ce travail faciliterait la coordination des registres algébriques et graphiques nécessaire dans l'étude des concepts de base en analyse.

d) *Caractéristiques de R'3*

La ressource R'3 est la version modifiée de la ressource de R'2. Cette modification a eu lieu après l'expérimentation par B₂ de la ressource R'2. De façon générale, il y a eu une bonne adéquation de la fiche d'identification et de la fiche élève. La fiche d'identification n'a pas été modifiée par B₂. Les modifications qui ont été faites auparavant apparaissent satisfaisantes pour le professeur. Par contre, compte tenu de la réaction de ses élèves face à la première question de la fiche élève, le professeur a été obligé de la reformuler (Tableau 76). Cette question sous-entendait l'unicité des voies routières entre deux villes, ce que ses élèves ont contesté.

Le (Tableau 76) fait le résumé de l'évolution de R'3 par rapport R'2.

Sections	Caractéristiques	0	1	2	3
Adéquation avec le modèle :	Adéquation entre les champs de la fiche d'identification (FI) de la ressource et ceux du modèle.				X
	Adéquation entre champs de la fiche élève (FE) de la ressource et ceux du modèle.			X	
	Adéquation entre les champs du scénario (SU) de la ressource et ceux du modèle.			X	
	Adéquation entre les champs de la fiche professeur (FP) de la ressource et ceux du modèle.			X	
	Adéquation entre les champs de la fiche de formation (FF) de la ressource et ceux du modèle.		X		
Adéquation avec les objectifs :	Adéquation entre les organisations mathématiques (OM) et les objectifs de la formation.			X	
	Adéquation entre les organisations didactiques (OD) et les objectifs de la formation.			X	

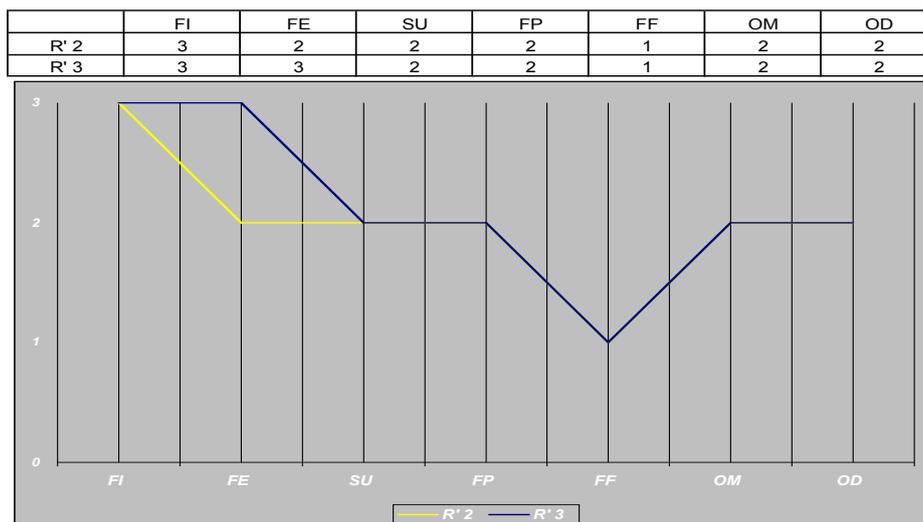


Tableau 75 : le niveau de qualité de R'3 comparée à celui de R'2.

Formulation de la question a) avec la ressource R'2 :

Parmi les voies de communication routières, ci-dessous, dire celles qui sont continues. Expliquez votre choix.
Dakar-Banjul ; Dakar-Kaolack ; Saint-Louis-Nouakchott ; Thies-Tambacounda ; Mbour-Gorée ; Diourbel-Praïa ; Ziguinchor-Kolda.

Reformulation de la question a) avec la ressource R'3 :

Parmi les voies interurbaines, ci-dessous, qu'elles sont celles pour les quelles il existe une voie routière continue.
Mbour-Gorée ; Dakar-Kaolack ; Thies-Tambacounda ; Ziguinchor-Praïa.

Tableau 76 : tableau comparative des fiches élève de R'2 et R'3.

Au niveau du scénario, tous les champs sont adéquats à ceux du modèle, mais l'articulation du timing par rapport aux objectifs pose problème. Il a proposé des modifications sur les étapes et le timing (Annexe 7 ; R'3).

d1) Adéquation des organisations mathématiques et didactiques de R'3 avec celles du modèle de ressource

Mises à part les modifications opérées au niveau de la fiche élève, il n'y a pas eu d'autres modifications au niveau de l'organisation mathématique. L'organisation didactique également n'a pas été modifiée. On peut considérer que les modifications sur les types de tâches et sur le timing n'ont pas beaucoup changé la ressource.

IV-2-3 Repérage des invariants au niveau de l'évolution des ressources

L'objectif visé par la mise en œuvre de ce dispositif est d'étudier l'impact du travail collaboratif sur l'évolution des ressources. Les ressources étant considérées comme des artefacts, nous avons estimé que les interactions sociales constituaient un élément important dans le processus de genèse instrumentale et donc sur le processus d'instrumentalisation. En répartissant les expérimentateurs en groupes de professeurs titulaires et de professeur vacataires, nous nous attendions à des évolutions différentes des ressources suivant le groupe. Les résultats de ces différentes expérimentations ont montré deux points importants :

Le premier point est l'impact non négligeable des expérimentations individuelles sur l'évolution des ressources. En effet, l'étude comparée des ressources qui ont été modifiées après des expérimentations individuelles révèle des tentatives pour rapprocher les ressources

d'une réalité de classe, même si cela a pris des formes différentes suivant que l'expérimentation ait été faite par un professeur vacataire ou par un professeur titulaire. Cette tentative de rapprocher la ressource à une réalité de classe se manifeste à deux niveaux :

- d'abord, par une meilleure adéquation entre les objectifs de la ressource déclarés sur la fiche d'identification, les objectifs propres de l'enseignant, et le contenu réel de la ressource. Ainsi, dans la ressource R1, la modification de la fiche d'identification, sollicitée par A1, a permis de préciser, les pré-requis et de décrire l'activité. Les indications que R1 a données pour manifester ses besoins de formation ont permis de préciser le champ relatif aux objectifs de formation. Il est également important de souligner que les précisions que A1 a apportées sur l'inadéquation entre les objectifs de la ressource R1 et son contenu ont permis une modification de la fiche professeur pour proposer des techniques appropriées à la classe. Pour la ressource R'1, le professeur titulaire a précisé également la section (section littérature) pour laquelle la ressource est conçue. Il a également reformulé les pré-requis qui ne lui semblaient pas adéquats par rapport à la ressource et le type d'activité qui est effectivement une activité d'introduction d'une séance suivie d'un cours ;
- ensuite, les expérimentations individuelles ont permis des modifications du scénario d'usage. Aussi bien pour la ressource R1 que R'1, les enseignants ont trouvé les durées proposées par le timing des scénarios inadéquates. Pour le professeur A1, le scénario est inadéquat, mais il essaye de respecter les phases proposées quitte à modifier les objectifs : *« les 20 minutes qui étaient octroyées étaient insuffisantes, c'est pourquoi trois élèves ont été envoyés simultanément au tableau pour gagner du temps »* (Annexe 7 ; crA1). Pour le professeur B1, il modifie d'emblée le timing qu'il juge inadéquat : *« en une heure avec 54 élèves, il m'est impossible de mettre au travail, d'organiser un débat et faire une synthèse. Je pense qu'il faut au moins doubler chaque étape »* (Annexe7 ; crB1).

Ces deux témoignages montrent la complexité de la scénarisation. Les difficultés liées à la gestion du scénario permettent d'étudier, en grande partie, celles relatives au processus de genèse instrumentale et de la distance instrumentale. Ces ressources pédagogiques sont des artefacts complexes. D'une part, l'enseignant en formation doit tenter de se « conformer » au scénario pour tirer profit de l'organisation des contingences qui est faite pour les élèves et pour lui. Le risque est grand qu'il oublie que la ressource est faite pour enseigner et qu'elle devienne, pour lui, une « camisole de force » qui l'astreint à faire de sa classe un terrain d'expérimentation. D'autre part, il doit s'adapter à sa classe et savoir instrumentaliser la ressource au profit de son enseignement car l'objectif est, après tout, d'apprendre à s'adapter à de nouvelles situations. Il n'est pas exclu alors, que l'organisation des contingences soit complètement dévoyée et que l'enseignant cède à la facilité d'un pilotage à vue. Tout laisse croire que les professeurs titulaires ne sont pas gênés de ne pas respecter le scénario et préfèrent éviter d'emblée des difficultés éventuelles, alors que les professeurs vacataires ont tenté de suivre jusqu'au bout le scénario, jusqu'à oublier l'essentiel.

Le second point est relatif à l'impact du travail en groupe sur les ressources. Ce travail a transformé la ressource R de R1 à R2 et la ressource R' de R'1 à R'2. Les premières modifications apportées sur les ressources les avaient rendues plus proches des réalités de classes, mais les modifications proposées par les groupes semblent prouver que beaucoup de

travail restait à faire sur chacune des deux ressources. Les deux groupes ont apporté chacun, des modifications importantes sur les contenus :

- la fiche élève de la ressource R1 est complètement remaniée. L'activité conçue la classe de troisième devient une activité de classe de quatrième. Le groupe essayait de rapprocher la ressource des directives du programme officiel : *la résolution des équations du premier degré dans l'ensemble des nombres rationnels*. Les questions des parties a) et b) de la ressource R2 sont surtout motivées par le choix de travailler la différence entre rationnel et décimal. Ainsi, suivant les valeurs approchées utilisées pour le calcul de la vitesse du bus, les différences constatées au niveau du temps mis pour parcourir 33 400 m pourrait obliger l'élève à s'interroger sur son résultat. La question c) fait appel à une mise en équation. Cette reformulation de l'activité par le groupe témoigne d'un bon niveau d'instrumentalisation ;
- des modifications importantes ont eu lieu sur la fiche professeur de la ressource R'1. Cette fiche et le scénario d'usage constituent des éléments fondamentaux des organisations didactiques. La modification faite par le groupe se situe au niveau des « exercices d'application ». Ce travail qui peut, parfois, paraître routinier dans *l'organisation didactique* est ce que Chevallard (1999) appelle un moment de travail de la technique (§II-1-2d). Il permet à la fois de « faire travailler » une technique afin d'en étendre la portée et d'en augmenter la fiabilité. Avec la ressource R'1, le travail de la technique était restreint à une vérification de l'appartenance d'un nombre à l'ensemble de définition d'une fonction. L'organisation du moment de travail de la technique avec ressource R'2 serait identique à celle de la ressource R1 s'il n'y avait pas la question c). Cette résolution demande une certaine maîtrise, par les élèves, d'autres outils de l'analyse : le calcul de limite en un point par valeur positive, par valeur négative, etc.

Ces différentes propositions de modifications révèlent un point important dans le travail de l'enseignant : une évaluation de la ressource et de sa pratique. Les enseignants, en faisant ces propositions, ont travaillé sur les paramètres de qualité d'intendance, sur les paramètres de qualité d'orchestration et ont, parfois, tenté de les articuler. Le travail sur les ressources apparaît, par conséquent, comme un outil de l'enseignant pour étudier ou repenser sa pratique professionnelle.

IV-3 MISE EN EVIDENCE DES RAPPORTS ENTRE LES PRATIQUES ENSEIGNANTES ET LES RESSOURCES PEDAGOGIQUES

Nous avons décrit dans le chapitre (§III-1), le processus de transmutation du modèle de ressource du SFoDEM. Ce modèle de ressource transmuté comprend, entre autres éléments, un scénario d'usage, une fiche professeur et une fiche de formation conçus pour organiser le travail de l'élève. Les expérimentations ont permis de mettre en évidence un certain écart entre les organisations mathématiques (§II-1) proposées dans la ressource et celles que l'enseignant met en place effectivement dans sa classe. De plus, la ressource doit faciliter la transposition (§II-2) des objets de savoirs mathématiques et didactiques que l'enseignant utilise pour gérer le milieu (§II-3) à l'aide de la fiche de formation et de la fiche professeur. L'étude théorique de l'approche instrumentale du milieu, décrite dans le chapitre (§II-4), débouche sur l'étude des schèmes de mise en œuvre d'une situation didactique par un enseignant vacataire. Le développement de ces schèmes est crucial, il conditionne la capacité de l'enseignant vacataire à mieux gérer le milieu.

Dans cette partie, à partir de la synthèse des deux paragraphes précédents (§IV-1) et (§IV-2), nous analyserons la genèse instrumentale du milieu en repérant :

- des indices de schèmes émergents à partir du langage et des gestes ;
- les processus d'instrumentation et d'instrumentalisation à partir :
 - des effets des paramètres de qualité des ressources pédagogiques sur les paramètres de qualité de pratiques enseignantes des stagiaires ;
 - des effets des paramètres de qualité des pratiques enseignantes sur les paramètres de qualité des ressources pédagogiques.

IV-3-1 Repérage de schèmes de gestion d'une situation didactique

Nous avons évoqué en introduction et dans le paragraphe (§I-2-3) les difficultés rencontrées par les professeurs vacataires du Sénégal et la nécessité d'organiser une formation continue reposant sur un processus de conception collaborative de ressources. Dans ce paragraphe, nous étudierons les *gestes* des enseignants pour la gestion de leur classe, à partir de l'usage de ces ressources. Nous utiliserons essentiellement les expérimentations faites avec le stagiaire S_1 (§III-3-1).

Le professeur S_1 présente le profil type de professeur vacataire (niveau baccalauréat, sans formation pédagogique) et nous l'avons trouvé très sérieux pour respecter le planning des travaux de groupes et des expérimentations.

Nous avons fait le choix d'étudier des indices de schèmes émergents repérables par le langage. Deux raisons justifient ce choix :

- la première raison est la part importante de la communication dans l'enseignement. La communication est un outil d'échange entre enseignant et enseigné. L'enseignant, quel que soit le moment didactique, *communique* avec ses élèves, soit pour préciser les types de tâches, soit pour réguler ou dévoluer (§II-3-3), soit pour conclure et communiquer ce qui vaut d'être retenu. Il fait communiquer ses élèves aussi, soit pour organiser des interactions entre eux et donner une dimension collective à l'apprentissage (§II-3-2), soit pour coordonner plusieurs représentations sémiotiques (§II-2-3). Pour Sensevy & al (2000) :

« On peut dire, pour réutiliser une métaphore qui a fait ses preuves, que la communication est dense dans le didactique, qu'il n'existe pas d'action didactique que son auteur ne doit pas évaluer, peu ou prou, en termes de communication. Ajoutons que ce processus de communication constitue la condition et l'effet d'un autre processus, de collaboration professeur-élève, tout aussi essentiel à l'enseignement-apprentissage ».

Si on se limitait seulement aux communications verbales, sans parler des autres formes de communication (le gestuel ou les mimiques), on constaterait que les difficultés liées à l'usage de la parole sont souvent considérées comme un obstacle pour exercer le métier d'enseignant. Mais l'absence de communication n'est pas seulement nuisible aux élèves, elle l'est aussi pour l'enseignant : le discours des élèves lui donne l'opportunité de détecter des concepts mal construits. Ainsi, l'absence de communication est un facteur de brouillage d'un signal dont l'enseignant a besoin pour analyser les activités de l'élève. Pour Pariès (2004) :

« Le lien entre enseignement-apprentissage ou encore les effets que peuvent avoir les pratiques des enseignants sur les apprentissages des élèves étant difficiles à mettre en évidence, nous avons cherché des observables qui pourrait nous renseigner sur ce lien. Le discours du professeur de mathématiques qui occupe une large place pendant les séances nous a paru un candidat possible. En effet, il est à l'interface entre les tâches prévues et les activités des élèves ».

- la deuxième raison est liée au fait que « la mise en mots » n'est pas neutre par rapport au processus de conceptualisation. Pour Vergnaud (2002c), bien que les schèmes langagiers discursifs et communicatifs aient commencé à être étudiés, depuis une vingtaine d'années, surtout pour les conversations courantes, leur étude au niveau des conversations professionnelles et des échanges en classe ne s'est pas beaucoup développée. Or, pour lui, ces schèmes permettent de mieux comprendre les rapports entre connaissances en actes et connaissances explicites, ce qui est essentiel dans la conduite des apprentissages.

« Les schèmes de mise en mots sont associés à des situations d'énonciation et de débat, sur lesquelles peu d'analyses scientifiques ont encore été conduites. Mais on peut cependant considérer que la boucle est bouclée. La forme opératoire de la connaissance, d'abord recherchée dans l'action qui réussit, se distingue clairement de la forme prédicative de la connaissance, qui consiste en énoncés et en textes. Mais dès qu'on prend conscience d'une part, du poids de la communication et du caractère intersubjectif de la connaissance construite dans l'éducation et le travail, d'autre part de la fonction de représentation des formes langagières et symboliques, on est conduit à reconnaître la valeur opératoire de la forme prédicative de la connaissance. Non seulement on agit sur autrui en lui parlant, ce que les linguistes pragmatistes affirment depuis plusieurs décennies déjà, mais on agit sur soi-même en modifiant le statut de ses propres connaissances : une connaissance mise en mots et en symboles n'est plus la même connaissance ».

Pour étudier les schèmes langagiers, nous utiliserons aussi ce que nous appellerons les gestuelles langagières, elles sont étudiées sur le plan théorique pour décrire les éléments

structuraux fondamentaux de la relation didactique (Sensevy & al 2000). Pour Sensevy & al (ibidem) **les verbes définir, réguler, dévoluer et instituer**, qui pour nous sont des gestes langagiers, forment à eux seuls les éléments constitutifs, structurels de tout enseignement (§II-3-3). Nous avons ainsi essayé de repérer des indices de schèmes à la lumière de ces éléments structurels de l'enseignement. Précisons, que l'objet de cette étude n'est pas de proposer **toutes les situations** à travers lesquelles **tous les schèmes** pertinents langagiers vont apparaître. Notre objectif est de relever, à partir des expérimentations de S_1 , des invariants dans les organisations de ses activités d'enseignement.

Vergnaud (1990) distingue deux types de classes de situations :

Premier type de classes

« C'est des classes de situations pour lesquelles le sujet dispose dans son répertoire, à un moment donné de son développement et sous certaines circonstances, des compétences nécessaires au traitement relativement immédiat de la situation. Ici, on peut observer dans une même classe de situations, des conduites largement automatisées, organisées par un schème unique ».

Deuxième type de classes

« C'est des classes de situations pour lesquelles le sujet ne dispose pas de toutes les compétences nécessaires, ce qui l'oblige à un temps de réflexion et d'exploration, à des hésitations, à des tentatives avortées, et le conduit éventuellement à la réussite, éventuellement à l'échec. Dans ce second cas, on va observer l'amorçage successif de plusieurs schèmes, qui peuvent entrer en compétition et qui, pour aboutir à la solution recherchée, doivent être accommodés, décombinés, recombines ; ce processus s'accompagne nécessairement de découvertes ».

Etant donné le nombre d'expérimentations limité et compte tenu du fait que S_1 n'a pas encore de conduites largement automatisées dans son activité, nous nous intéresserons aux schèmes du deuxième type de classes de situations.

Nous introduisons ainsi le ***schème d'indication topazienne*** en référence à Sensevy & al (2000), chez qui *l'indication topaze* n'est pas relative aux objets de savoir proprement dits, mais à la nature du travail que les élèves doivent accomplir : une stratégie. Ce schème révèle pour nous une tentative de l'enseignant d'organisation d'un processus de dévolution. Ce processus articule des règles constitutives et des règles stratégiques (§II-3-3). Le schème n'est pas encore entièrement construit chez l'enseignant vacataire S_1 , mais il se manifeste par l'ébauche d'invariants opératoires : ***des phrases de forme déclarative ou interrogative ayant une fonction de phrases impératives.***

Ces invariants opératoires apparaissent dans la plupart des expérimentations. On peut retrouver avec des types de tâches différents, lors d'une même expérimentation, les traces de cette forme langagière.

- Dans la première expérimentation (Annexe 6 ; $P(S_1, \mathfrak{R}_1)$), le professeur (S_1), demande à ses élèves de ranger dans l'ordre croissant les nombres de la liste ci-dessous puis de choisir ceux qui sont plus grands que 4 : {3 ; 1,75 ; 9 ; 3,7 ; 6 ; 4,022 ; 5,5 ; 0,001 ; 5 ; 1,5}.

L'indication topazienne apparaît dès les premières difficultés rencontrées par les élèves pour répondre à la question. Le professeur demande à l'élève de ranger les nombres, celui-ci le fait sans difficulté. Il demande, ensuite, à un autre élève de continuer l'exercice et il s'aperçoit, à ce moment-là, que certains élèves ont des difficultés. Il propose directement une stratégie à l'élève : « Souligne les nombres qui sont plus grands que 4 [...] ». Mais cette stratégie n'est pas concluante car l'élève n'a pas souligné le nombre 4,022. On peut faire l'hypothèse que cette stratégie n'était pas seulement proposée à l'élève pour l'aider à avancer sur le plan de la connaissance, mais qu'elle était adoptée par le professeur pour se donner les moyens de conclure l'exercice. En effet, faisant une estimation de l'avancement des savoirs mathématiques au cours du temps, le professeur décide de précipiter l'émergence du savoir. D'où la seconde indication topazienne de « Qu'est-ce qui manque ? ». Cette interrogation en réalité n'en est pas une. En demandant ce qui manque, le professeur invite l'élève à ajouter un nombre donc à ajouter 4,022 à la liste. Il s'aperçoit ensuite que l'invite produit un échec au niveau de l'organisation des rapports entre élèves et le milieu (échec *mésogénétique* (§II-3-3)) : l'activité n'est plus contingente pour les élèves. Il abandonne ainsi la gestion du temps didactique, revient à la construction du savoir pour donner un vrai rôle à l'élève. Le professeur se trouve ainsi dans un mouvement de balancier entre un mouvement *chronogénétique* et un mouvement *topogénétique* (§II-3-3). Il produit une autre indication topazienne « 30) P : Ecris 4,022 et 4 et compares-les. » Espérant que la question sera plus pertinente que la précédente et facilitera la construction de connaissance. L'intervention de « 34) E : Non monsieur, on a dit des nombres décimaux, 5, par exemple, n'est pas un décimal » montre les limites du travail du professeur. Les questions et les déclarations ont plus gêné les interactions entre élèves et, entre élèves et savoir, qu'elles ne les ont stimulées.

9) P : Toi (le professeur de son bureau désigne un élève qui a levé sa main pour qu'il aille au tableau).

10) E : Je range les nombres dans l'ordre croissant [...].

L'élève écrit : $0,001 \leq 1,5 \leq 1,75 \leq 3 \leq 3,7 \leq 4,022 \leq 5 \leq 5,5 \leq 6 \leq 9$.

[:]

19) E : $A = \{5 ; 5,5 ; 6 ; 9\}$.

20) P : C'est ça ?

21) Es : Non.

22) P : Va au tableau (le professeur [...] demande à un élève d'aller corriger la question).

23) P : Souligne les nombres qui sont plus grands que 4. [...].

24) E : L'élève souligne de 5 à 9.

$0,001 \leq 1,5 \leq 1,75 \leq 3 \leq 3,7 \leq 4,022 \leq 5 \leq 5,5 \leq 6 \leq 9$.

25) P : C'est ça ?

26) Es : Non.

27) P : Qu'est-ce qui manque ?

28) Es : Monsieur...

29) P : Toi (le professeur désigne un élève).

30) P : Ecris 4,022 et 4 et compares-les.

31) E : $4 \leq 4,022$

32) P : Donc vous corrigez.

- 33) E : L'élève qui au tableau corrige le texte et écrit $A = \{4,022 ; 5 ; 5,5 ; 6 ; 9\}$.
- 34) E : Non Monsieur, on a dit des nombres décimaux, 5 par exemple n'est pas un décimal (un élève de la classe lève la main pour dire que 5 n'est pas un décimal).
- 35) P : 5 est bien un décimal, rappelez-vous, on a dit que l'ensemble \mathbb{N} est inclus dans l'ensemble \mathbb{D} (le professeur écrit au tableau $\mathbb{N} \subset \mathbb{D}$).
- Dans la deuxième expérimentation (Annexe 6 ; \mathfrak{R}_2), le professeur demande aux élèves d'indiquer, parmi les figures ci-dessous, celle pour laquelle la droite (D) est la médiatrice du segment [AB] et d'expliquer leur réponse.

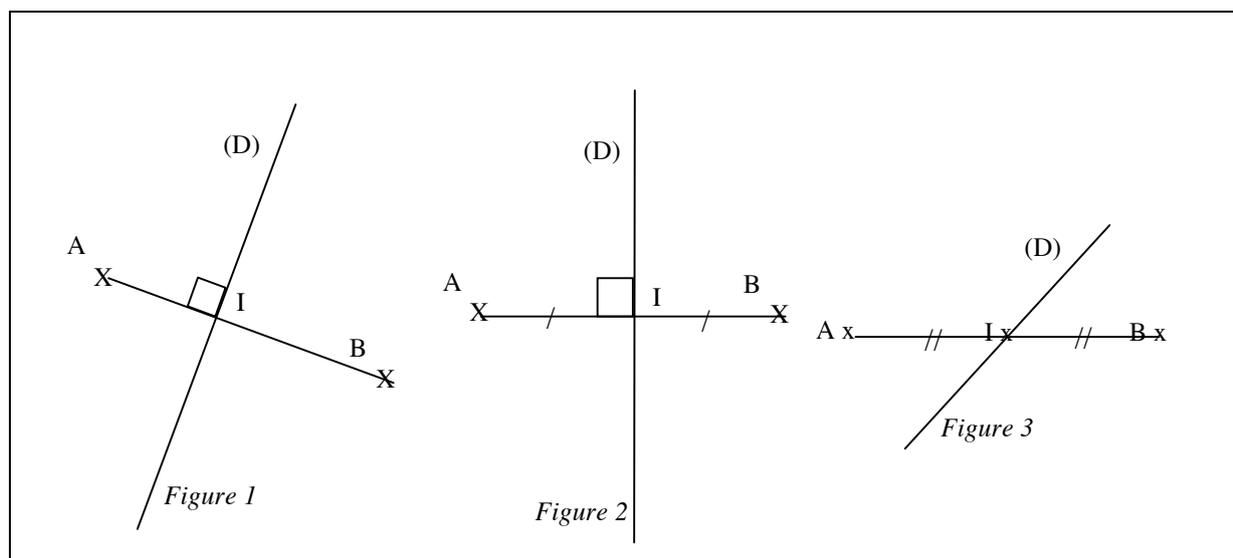


figure 77 : extrait du germe de ressource de \mathfrak{R}_2 (Annexe 6, \mathfrak{R}_2)

Les réponses « 18) E : » et « 26) E : » ont obligé le professeur à réorganiser le milieu. L'activité qui devait, selon l'enseignant, obliger l'élève à raisonner « cas par cas » et organiser la conceptualisation de la notion de médiatrice renvoie l'élève à choisir au hasard entre trois figures par l'absence de la question du pourquoi. Or, le problème n'est pas de dire le numéro de la figure mais de justifier les raisons d'un choix. Le professeur change son fusil d'épaule : il réoriente la séance par son injonction « on commence par la première figure », ce qui lui permet de retrouver son objectif initial. Il apparaît ici un phénomène important dans le processus de genèse instrumentale du milieu : la *médiation réflexive* orientée vers le professeur « 27) P : » lui-même, projette ce dernier au P_{+1} (la situation de projet, §II-3) alors que l'élève « 26) E : » était en E_2 (le milieu objectif) l'élève agissait pour trouver une solution. Cette expérimentation était préparée en groupe (§IV-1-1b), tout se passe comme si le professeur poursuit le travail de groupe dans sa classe en essayant d'adapter les questions de l'activité. Il continue de se positionner au niveau du projet d'enseignement.

- 17) P : Quelle est la question qui t'est posée?
- 18) E : C'est la figure N° 3.**
- 19) P : Quelle est la question, qu'est-ce qu'on te demande ?
- 20) E : L'une des figures ci-dessous ... (l'élève relit la première question).
- 21) P : Qu'est-ce qu'on te demande ?
- 22) E : Explique la figure.
- 23) P : Quelle figure, explique nous ce qu'on te demande ?
- Après quelques hésitations
- 24) E : Que la droite est médiatrice du segment [AB].

25) P : On te demande d'identifier la figure où la droite (D) médiatrice du segment [AB] (parmi 3 figures).

Après quelques secondes d'hésitation de l'élève qui est au tableau et le silence de la classe, le professeur reprend la parole « on commence par la première figure ».

26) E : **C'est la figure n° 2.**

27) P : **On commence par la première figure.**

Le professeur constate que son nouveau projet risque de s'étendre dans la durée, il écourte les phases de débat. On constate par des indications topaziennes, « 68) P : ; 70) P : ; 74) P : 76) P : ; 78) P : ; 80) P : » que le professeur réduit le milieu de référence en un milieu d'apprentissage.

61) P : Passons à la figure 3.

(L'élève commence à écrire.)

62) P : Tu donnes la réponse d'abord (oralement).

63) E : (D) est la médiatrice du segment [AB].

64) P : Pourquoi ? Tu donnes la justification.

65) E : Parce que (D) est le milieu du segment [AB] et perpendiculaire à [AB].

66) P : Non (D) est une droite. Est-ce que (D) peut être un milieu ?

67) E : Parce que (D) est le milieu du segment [AB] et perpendiculaire à [AB].

68) P : Tu dis que (D) est la médiatrice du segment [AB], pour que (D) soit la médiatrice quelles sont les conditions ?

69) E : C'est parce que AI est égale à IB.

70) P : AI est égale à IB, on a là une première condition, la deuxième condition c'est quoi ?

71) E : La droite (D) est perpendiculaire au segment [AB].

72) P : La droite (D) est perpendiculaire au segment [AB]. Quand dit-on que deux droites sont perpendiculaires ?

73) E : Deux droites sont perpendiculaires quand elles forment un angle droit.

74) P : Regarde la figure 3 est ce que tu as effectivement un angle droit ?

75) E : Non ;

76) P : Est qu'elles sont perpendiculaires alors ?

77) E : Non.

78) P : Alors qu'est ce qu'on dit ?

79) E : AI est égale à IB.

80) P : AI est égale à IB mais est-ce que (D) est la médiatrice ?

81) E : Non.

82) P : Pourquoi ?

83) E : C'est parce que la droite (D) ne forme pas un angle droit (que (D) ne forme pas un angle droit avec la droite (AB)).

84) Es : Monsieur (des élèves veulent être interrogés).

85) E : (D) n'est pas perpendiculaire au segment [AB].

86) P : (D) n'est pas la médiatrice du segment [AB] parce que (D) ne forme pas un angle droit avec le segment [AB], bien que (D) passe par le milieu. Mais elle n'est pas perpendiculaire à [AB].

87) P : C'est bon ?

88) E : Oui.

- Lors de la troisième expérimentation (Annexe 6 ; $P(S_1, \mathfrak{R}_3)$), le professeur demande aux élèves de terminer un exercice qu'ils ont commencé avant la séance. \mathfrak{R}_3 est une ressource structurée qui épouse le modèle 2 (figure 23) et l'(Encadré 78) est la fiche élève.

1. Trace un quadrilatère NGOM.
2. Construis la médiatrice de chaque côté de ce quadrilatère NGOM..
3. Construis la médiatrice de la diagonale [NO].
4. Soit I le point commun aux trois médiatrices des segments du triangle NGO, trace le cercle de centre I et de rayon IO. Explique pourquoi ce cercle passe par les points du triangle KLO.

Encadré 78 : *fiche élève de \mathfrak{R}_3 (Annexe 6 ; \mathfrak{R}_3)*

Cette séquence suggère des nuances qui pourraient être introduites entre les termes définir et réguler introduits par Sensevy & al (2004). En effet, pour eux « la distinction entre définir et réguler est la même que celle entre règles constitutives et règles stratégiques ». Or, il n'est pas exclu qu'une règle mathématique soit à la fois une règle constitutive et une règle stratégique. On peut même se demander si toute règle mathématique n'est pas à la fois constitutive et stratégique. En définissant une médiatrice par une droite qui passe par le milieu d'un segment et perpendiculaire au support de ce segment, on propose à coup sûr une stratégie de construction avec la règle et l'équerre ; par contre, la définition « ensemble des points équidistants des extrémités d'un segment » renvoie plus à une méthode de construction de médiatrice avec le compas. Par conséquent, les définitions proposées par les professeurs peuvent en elles-mêmes être des indications topaziennes. Par exemple, dans le programme sénégalais de mathématiques auquel ce professeur se réfère, le rayon d'un cercle est à la fois longueur, segment et droite. Le choix fait par le professeur « 114) P : ; 115) P : » de définir le rayon par un segment est une indication stratégique permettant à l'élève de tracer le cercle de centre I et de rayon IO. C'est alors une autre manifestation du schème d'indication topazienne du professeur. Cette expérimentation montre une autre dimension des tâches que les ressources doivent prendre en charge : une analyse fine des injonctions du programme, des représentations que les enseignants en ont et des usages qu'ils en font.

105) P : Trace le cercle de centre I et de rayon OI.

(l'élève trace le cercle de centre I passant par N).

106) P : C'est quoi ça ?

107) E : Je fais passer le cercle par le point N.

108) P : Qu'est-ce qui te dit le cercle va passer par le point N ?

109) P : Qu'est que tu sais ? Tu connais le centre et connais le rayon, tu veux tracer le cercle qu'est-ce qu'il faut faire ?

110) P : C'est quoi le rayon d'un cercle ?

111) E : C'est le segment qui part du centre à l'extrémité du...

112) P : Quelqu'un pour l'aider ?

113) E : C'est le segment qui passe ...

114) P : C'est quoi le rayon d'un cercle ? Hé ? Le rayon, c'est tout simplement un segment qui relie un point du cercle au centre.

115) P : Pour tracer le cercle de centre I et de rayon OI qu'est-ce qu'on fait ?

116) E : On trace le rayon.

117) **P : Tu traces le rayon, oui on a le rayon. Ensuite, qu'est-ce qu'il faut faire pour avoir le cercle ? On a le rayon et on a le centre, on veut tracer le cercle.**

Un élève va au tableau et a réussi à tracer le cercle de centre I et passant par O.

118) P : Donc ce qu'on vous demandait de faire, vous allez le faire pour la prochaine fois. Mais lundi c'est le devoir, ne l'oubliez pas (le professeur ne fait pas la différence entre le cercle de centre I et rayon r et le cercle de centre I et passant par un point M).

119) E : Oui.

- La quatrième expérimentation se situe dans le prolongement de la troisième (Annexe 6 ; P(S₁, R₄)). Comme R₃, R₄ est une ressource structurée qui épouse le modèle 2 (figure 23) et qui comporte la même fiche élève que R₃ car la dernière question n'avait pas été traitée. La quatrième expérimentation est une séance préparée en groupe. Les difficultés signalées par S₁ au niveau de la gestion de la classe (Annexe 6 ; crR₃) avaient fait que la ressource R₄ accordait plus de place à l'organisation didactique qu'à l'organisation mathématique. Mais l'étude, ci-dessous, montre que les deux organisations doivent être gérées en même temps.

Ici, la manifestation du schème d'indication topazienne, au-delà du fait qu'elle amoindrit le topos de l'élève, montre les difficultés du professeur à gérer leurs réponses. Ces difficultés l'obligent à canaliser les élèves vers une solution qu'il connaît mieux. Lors des interventions « 43) P : » et « 44) P : », le professeur semble être d'accord avec la réponse de l'élève, mais il ne porte aucune appréciation sur celle-ci. Pourtant la réponse de l'élève n'est pas correcte « 37) E : ; 39) E : ; 43) E : ». Il est vrai que les points sont équidistants du point I mais la question posée est le pourquoi. D'autre part, devant la difficulté à faire démontrer l'appartenance du point N et G au cercle, par une sorte de maïeutique, le professeur prend en charge lui-même la résolution du problème au « 52) P ».

- 3) P : Donc pour l'exercice, pour la quatrième question, on a dit que le point I est commun aux trois médiatrices des segments du triangle NGO et on vous demande de tracer le cercle de centre I et de rayon IO et d'expliquer pourquoi ce cercle passe par les points du triangle NGO.

[M]

32) P : On vous demande d'expliquer pourquoi ce cercle passe par les points N, G et O.

33) P : Pourquoi le cercle passe par les points N, G et O ?

34) E : Parce que N ... (la voix est à peine audible)

35) P : Vous avez entendu ?

36) Es : Non.

37) E : Parce que les points N, G et O sont à égale distance au point I.

38) P : Hou ?

39) E : Parce que les points N, G et O sont à égale distance au centre I.

40) P : Moi j'entends rien (la voix est bien audible, peut être souhaite-elle que toute la classe puisse bien entendre).

41) P : Des points qui sont égaux ?

42) E : Ils sont à égale distance du point I.

43) **P : Les points N, G et O sont à égale distance du point I. Les points N, G et O sont à égale distance du centre I, donc ils se trouvent sur le cercle.**

- 44) **P : Qui a une autre réponse, tu peux aller t'asseoir (le professeur ne donne aucune appréciation de cette réponse, le problème justement c'est pourquoi les points sont à égale distance du point I) ?**
- 45) E : Le cercle passe par les points du triangle N, G et O parce que les trois médiatrices des segments du triangle NGO sont sécantes en I.
- 46) P : Les trois médiatrices des segments (le professeur n'a pas bien entendu) ?
- 47) E : Les trois médiatrices des segments du triangle NGO sont sécantes en I.
- 48) P : Pourquoi, maintenant, ce cercle là passe par ces points ?
- 49) E : Parce que les trois médiatrices des segments du triangle NGO sont sécantes en I.
- 50) **P : Si on considère ce cercle, et qu'on commence par ce point, comment tu vas expliquer que ce cercle là passe par les deux points (elle désigne les point G et O) ?**
- 51) E : Les points NGO sont à égale distance par rapport au point I.
- 52) **P : Les points NGO sont à égale distance par rapport au point I, si on raisonne par rapport aux médiatrices, comme il vient de le souligner comment on va faire ?**
- 53) **P : On a dit que IO est le rayon, on a la médiatrice de ce segment-là qui passe par le point I. Comment va-t-on expliquer le fait que le point là soit sur le cercle ?**
- 54) E : Parce que IO égale IG.

A la suite de ces expérimentations, on constate une forme d'instrumentalisation locale sur le milieu qui, accompagnée d'un style de communication particulier du professeur S_1 , le réorganise et produit des effets importants au niveau de son enseignement :

- La décomposition d'un problème en sous problèmes (en difficultés élémentaires)

Le problème que soulève cette manière de faire est double :

- d'une part, l'enseignant donne à penser que la décomposition d'un concept mathématiques en éléments constitutifs est unique et que cette décomposition mathématique produit ipso facto une décomposition d'enseignement adéquate. Mais, ce faisant, le professeur, au-delà d'une vision étriquée des objets mathématiques qu'il donne à ses élèves, confond l'activité mathématique et l'activité d'enseignement des mathématiques. On fait comme si une définition d'une structure mathématique produit un modèle d'enseignement qui à son tour fait émerger la-dite structure. Il faut remarquer que, vers les années 1960, avec les mathématiques dites modernes, l'enseignement des mathématiques fonctionnait de cette façon. D'ailleurs, Brousseau (2000) explique que :

« Dans les années 60, encore étudiant en Mathématiques, et en même temps élève de Pierre GRECO en Psychologie cognitive, je fus impressionné par son habileté à concevoir des dispositifs expérimentaux destinés à mettre en évidence l'originalité de la pensée mathématique des enfants et les étapes de leur développement. Mais je remarquais qu'il ne faisait aucun effort pour analyser les dispositifs qu'il inventait et pour expliciter le rapport entre ce dispositif et la notion mathématique dont l'acquisition était étudiée. De même, lorsque PIAGET utilisait les axiomes de PEANO pour identifier LE développement de LA connaissance DU nombre chez L'enfant, ces singuliers m'apparaisaient plutôt comme des paris intéressants mais risqués, que comme des évidences. Je pouvais produire des "définitions" des nombres naturels, mathématiquement équivalentes aux axiomes de PEANO, mais de complexité cognitive très diverses. **L'équivalence mathématique n'entraîne pas l'équivalence cognitive** ».

(nos soulignements)

- d'autre part, avec cette méthode qui consiste à faire une décomposition en « éléments simples », l'enseignant laisse croire que la maîtrise imparfaite d'une partie d'un tout, est facteur d'échec pour l'élève. Or, aujourd'hui, nombreux sont les élèves qui sont capables de lire un texte sans être capable de décomposer un mot en syllabes.

Toutefois, cette manière de faire peut, quand même, être intéressante pour l'enseignant. En effet, l'enseignant qui procède ainsi est obligé de s'interroger sur les objets de son enseignement, les conditions et le type d'organisation à adopter.

- La résolution de chacune des difficultés élémentaires permet de résoudre le problème

Avec cette manière de faire, l'enseignant est souvent surpris par le fait que les élèves ne comprennent pas alors qu'il a expliqué tous les termes qui décrivent le concept en jeu : *le tout n'est pas la somme de ses parties*. Pour Vygotski (1934), l'hydrogène et l'oxygène sont séparément les moteurs du feu (l'un est très inflammable et l'autre nourri le feu), alors que l'on se sert de l'eau pour éteindre un feu.

Il faut remarquer que les programmes de mathématiques actuels participent à cette forme de description de la réalité mathématique. En effet, les programmes réservent souvent une plage aux compétences. Or, ces parties qui sont appelées compétences dans les programmes sont, dans bien des cas, une décomposition en type de tâches d'un objet mathématique dont on vise l'apprentissage. Pourtant, ni les genèses, ni le développement des objets mathématiques ne justifient cette décomposition qui, de plus et dans bien des cas, en donnent une vision parcellaire. Ces propositions sur les compétences élémentaires exigibles renforcent chez les enseignants leur conviction que le tout est la somme de ses parties. Or, comme le dit Ricco (1995) :

« Toute nouvelle idée acquise dépend des idées pertinentes qui existent déjà dans la structure cognitive. Le résultat de l'interaction qui se produit entre la nouvelle idée significativement apprise (a) avec une idée pertinente déjà établie (A) engendre une modification de (a) et de (A) et produit une nouvelle idée que l'on peut symboliser (A', a') ».

Cette manière de faire peut, tout de même, être intéressante pour l'enseignant, elle peut lui permettre d'être plus vigilant sur le traitement des tâches proposées aux élèves.

L'étude du schème d'indication topazienne nous paraît très importante car elle permet de détecter des difficultés mathématiques de l'enseignant. Celui-ci, en voulant décomposer un problème est souvent obligé de dissocier les conditions nécessaires des conditions suffisantes liées à la résolution d'un problème. Ce qui permet de situer son choix stratégique en fonction de son objectif d'enseignement.

Chez l'enseignant, le développement de ce schème permet tout de même d'être plus attentif au discours des élèves et de mener un travail d'anticipation sur le jeu de l'élève. Ainsi, le développement de ce schème chez l'enseignant devrait apparaître plus au niveau du *milieu objectif* (§III-3-1), pour lui permettre d'avoir quelques repères pour mener ses observations. Cependant, avec l'émergence de ce schème, le professeur privilégie souvent une méthode et en reste prisonnier. Il devient donc peu ouvert aux autres méthodes que pourraient proposer ses élèves. Il est souvent surpris et désarmé et a tendance à rejeter des méthodes d'élèves qui pourraient être fructueuses, ou à valider rapidement de fausses propositions, pour revenir à la situation qu'il a prévue.

IV-3-2 Les effets des ressources pédagogiques sur l'évolution des pratiques enseignantes

Nous avons fait l'hypothèse que l'usage des ressources pédagogiques structurées conformes au modèle 2 (figure 23) faciliterait l'appropriation des connaissances mathématiques et assisterait l'évolution des compétences professionnelles. Nous avons estimé qu'un bon niveau d'instrumentation doit se traduire par un impact des paramètres de qualités des ressources pédagogiques (§III-2-2) sur les qualités des pratiques (§III-2-1) de l'enseignant.

Les expérimentations faites ont permis de constater :

- une ressource dont les caractéristiques de la fiche élève et du scénario sont conformes, facilite à un enseignant l'organisation *des phases de dénomination et de détermination des tâches des élèves* (expérimentation de S_1 , \mathfrak{R}_3) ;
- le scénario permet à l'enseignant d'organiser la phase d'observation (S_1 , \mathfrak{R}_3), mais les situations de classe sont tellement complexes qu'une ressource ne suffit pas à un enseignant pour décrypter toutes les procédures utilisées par les élèves (§IV-1-1c) ;
- la qualité d'organisation de situation pour l'action peut être facilitée par la fiche professeur, la fiche de formation et le scénario. En effet, pour S_1 (Annexe 6 ; cr \mathfrak{R}_3) : « Ces fiches m'ont donné plus d'assurance pour aborder mon TD, si je pouvais en disposer pour tous cours ce serait très bien ». Mais, comme pour l'organisation de la phase d'observation, l'organisation d'un débat en classe n'est pas aisée si on ne dispose pas d'une formation suffisante. Le travail préalable de conception de ressource entre pairs pour préparer une séance peut faciliter l'émergence de cette qualité. En effet, au-delà d'une étude prospective du déroulement d'une séance, l'activité de conception de ressource oblige un groupe à penser et repenser des actes d'enseignement à travers des comptes-rendus d'expérimentation. Il est important que ce travail de conception de ressource, pour favoriser l'émergence de véritables gestes professionnels, s'inscrive dans la durée. Les activités de conception et d'étude de comptes-rendus pourraient être accompagné de moments d'étude d'outils théoriques en mathématiques ou en didactique des mathématiques. Ces moments de *réflexivité* (§II-3-2) auraient alors pour, entre autres fonctions, de solidariser et de faire dialoguer les gestes professionnels et les savoirs théoriques ;
- les paramètres de qualité d'institutionnalisation sont, en partie, pris en charge par la fiche professeur pour ce qui est du contenu à institutionnaliser et par le scénario pour l'organisation du moment d'institutionnalisation (S_1 , \mathfrak{R}_4). Mais, le risque est grand de voir le professeur réduire l'institutionnalisation en une phase « d'étiquetage » (Legrand 1993) de ce qu'il veut faire apprendre aux élèves.

Un bon niveau d'instrumentation d'un enseignant avec une ressource pédagogique suppose que les contenus des différentes fiches soient maîtrisés et que le scénario soit respecté dans un souci de coordonner les activités induites dans les différentes fiches.

Les difficultés relatives à l'instrumentation de l'enseignant sont liées à l'obligation qu'il a de s'adapter à sa classe. Or, la réalité de la classe n'est pas, forcément, celle décrite dans la ressource.

Les difficultés sont également liées à la diversité des connaissances à mettre en œuvre par l'enseignant dans l'exercice de son métier. De plus, toutes ces connaissances sont inscrites dans un processus dynamique. Pour Chevallard (1992a) :

« Une anthropologie cognitive pleinement développée suppose le développement d'une didactique de la connaissance. Car, dans nos sociétés modernes, le didactique est, en quelque sorte, « partout dense » dans le cognitif ».

Or, dans une ressource, il est évident que l'on ne peut pas prétendre que tous les objets de savoir, dont l'enseignant à besoin, soient présents. Les expérimentations que nous avons faites ont montré l'importance du travail collaboratif de conceptions de ressources et d'étude de comptes-rendus d'expérimentation dans la gestion de la réalité de la classe.

IV-3-3 Les effets des pratiques enseignantes sur l'évolution des ressources pédagogiques

Les effets des paramètres de qualités de pratiques enseignantes sur les ressources sont les témoignages d'un processus d'instrumentalisation au cours de l'usage. L'étude faite dans (§IV-1) et (§IV-2) a montré des genèses par rapport à des milieux didactiques différents. Avec la partie (§IV-2), nous avons constaté que les genèses du milieu n'ont pas, seulement, d'incidence sur l'organisation de la classe, elles se répercutent, aussi, sur les ressources par le biais des comptes-rendus d'expérimentation.

Un exemple frappant de ce processus est l'évolution de la ressource R de R0 à R1 (Encadré 79). Après expérimentation de la ressource R0 par A₁, la fiche élève été modifiée pour prendre en compte la genèse de cette ressource en classe et répondre au souhait de A₁ de voir les difficultés de la ressource allégées (Annexe 7 ; CR A₁). Mais, les modifications de la fiche élève sont, également, des éléments fondamentaux pour la modification du scénario, non seulement dans son contenu mais, aussi, dans sa structuration et donc de la ressource.

<p>Fiche élève de la ressource R0</p> <p>Une entreprise compte 26 employés (un Directeur Général, 8 cadres supérieurs et 17 cadres moyens). Pour le partage des bénéfices, à la fin de l'année, le DG prend le huitième et remet à chaque cadre supérieur le double de la part d'un cadre moyen.</p> <p>1) Sachant que le directeur a l'intention d'acheter une nouvelle voiture à 6 000 000 FCFA, que l'un des cadres supérieurs veut acheter un ordinateur d'une valeur de 2 100 000 FCFA pour sa famille et que l'un des cadres moyens veut investir pour 1 400 000 FCFA sur un projet personnel :</p> <p>c) Quel doit être le montant minimal que cette entreprise doit avoir comme bénéfice pour satisfaire les vœux de ces trois agents ?</p> <p>d) Quel est l'agent qui a le projet le moins coûteux par rapport à ses revenus ?</p> <p>2) Quelques années auparavant, la part du Directeur Général était égale à la part du cadre supérieur. En ce moment là, l'entreprise ne comptait que deux cadres supérieurs et quelques cadres moyens. Combien étaient-ils ?</p>
<p>Fiche élève de la ressource R1</p> <p>Une entreprise compte 21 employés (un Directeur général, 8 cadres supérieurs et 12 cadres moyens). Pour le partage des bénéfices cette entreprise à la fin de chaque année, le DG prend le huitième et remet à chaque cadre supérieur le double de la part d'un cadre moyen.</p> <p>1) Sachant que le directeur a l'intention d'acheter une nouvelle voiture à 6 000 000 FCFA, un des cadres supérieurs veut acheter un ordinateur d'une valeur de 2 100 000 FCFA pour sa famille et l'un des cadres moyens veut investir pour 1 400 000 FCFA sur un projet personnel.</p> <p>a) Le cadre supérieur pense que si le projet du cadre moyen est réalisé le sien le sera. Penses tu que son optimisme est justifié ? Explique ta réponse.</p> <p>b) Quel doit être le montant des bénéfices de cette entreprise pour que la part du cadre moyen soit juste à la hauteur de son projet ?</p> <p>c) Combien l'entreprise doit-il réaliser comme bénéfice pour que la part du DG lui permette juste d'acheter la voiture ?</p>

<p>d) Quel doit être le montant minimal que cette entreprise doit avoir comme bénéfice pour satisfaire les vœux de chacun de ses trois agents ?</p> <p>e) Quel est l'agent qui a le projet le moins coûteux par rapport à ses revenus ?</p> <p>2) Quelques années auparavant, la part du directeur général était égale à la part du cadre supérieur. En ce moment là, l'entreprise ne comptait que deux cadres supérieurs et quelques cadres moyens. Combien de personnes travaillaient dans cette entreprise ?</p>					
Scénario de la ressource R0					
<p>L'activité sera réalisée en trois phases.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Première phase (20 minutes) <p>Le professeur remet à chaque élève une fiche et les met par groupe de 4. Les élèves travaillent durant 20mn. Le professeur, pendant ce temps, fait le tour des groupes, introduit d'autres éléments dans le milieu pour les groupes d'élèves chez qui il n'y a pas eu dévolution au problème. Chaque groupe doit désigner un rapporteur en son sein.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Seconde phase (25 minutes) <p>Le professeur envoie, successivement, trois rapporteurs au tableau puis il laisse les élèves travailler individuellement pendant 10 minutes pour choisir la ou les meilleures solutions.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Troisième phase <p>Pendant les 15 dernières minutes, le professeur instaure un débat dans la classe, fait une synthèse et institutionnalise.</p>					
Les champs du scénario d'usage de R1					
Les étapes de la séance.	La durée de chaque étape.	L'objectif visé.	L'organisation de l'espace classe.	Le rôle de l'enseignant.	Le rôle des élèves.

Encadré 79 : *Tableau comparatif de scénarios et fiches élèves R0 et R1.*

Un autre exemple est la modification faite par S_1 , pour l'organisation de la première rencontre, du scénario de \mathfrak{R}_3 (Annexe 6 ; \mathfrak{R}_3). Le compte-rendu sur \mathfrak{R}_3 a permis de revoir le scénario pour produire celui de \mathfrak{R}_4 , bien que le type de tâches soit resté inchangé.

V CONCLUSION

V-1 LES BASES THEORIQUES POUR ORGANISER LA RECHERCHE

V-2 LES RESULTATS : LEUR PORTEE ET LEUR LIMITE

V-2-1 Processus d'instrumentation

V-2-2 Processus d'instrumentalisation

V-3 PERSPECTIVES

V-3-1 Perspectives de recherche

V-3-2 Perspectives de formation

V CONCLUSION

Au Sénégal, la formation continue des professeurs de mathématiques a toujours été confrontée à des problèmes d'organisation et de coordination entre les différentes structures qui en ont la charge (FASTEF, IREMPT, SFC) (§I-1).

Depuis quelques années, les difficultés se sont aggravées avec le recrutement massif et régulier de professeurs vacataires. Ces derniers, en plus de conditions difficiles d'exercice du métier d'enseignant (isolement, surcharge horaire, polyvalence, classes pléthoriques, manque de matériel didactique (§I-2-3)) n'ont pas de formation professionnelle et sont, souvent, de niveau académique faible. Aujourd'hui, compte tenu de leur nombre, il est inconcevable de vouloir répondre à leur besoin de formation par des offres de formation, seulement en présentiel. Les structures de formation continue classiques sont impuissantes devant la complexité de la tâche.

Depuis des années, nous avons tenté, en tant qu'enseignant chercheur à la FASTEF, de répondre à cette demande de formation en essayant d'élaborer des outils à partir de concepts étudiés et développés en didactique des mathématiques ou en ergonomie cognitive.

Pour faire une synthèse de l'étude que nous avons menée, nous soulignerons deux points essentiels : l'identification d'outils théoriques féconds pour concevoir et analyser des outils de formation et l'étude des conditions de leur mise œuvre. Grâce aux résultats obtenus, nous espérons être fondés à tirer des perspectives relatives à des outils de recherche et à la mise en œuvre de dispositifs de formation.

V-1 LES BASES THEORIQUES POUR ORGANISER LA RECHERCHE

L'un des piliers, le plus important, sur lequel cette recherche s'est appuyée est *l'approche instrumentale* (§II-4), elle-même, basée sur la théorie de l'activité et sur la notion de médiation qui les relie à partir du concept de schème.

Les travaux récents de Rabardel sur une approche instrumentale étendue nous ont permis d'étudier *l'approche instrumentale du milieu* (§II-4-5) puis l'activité de l'enseignant dans sa classe.

Les travaux menés par Trouche sur la notion *d'orchestration instrumentale* (2005) nous ont permis d'étudier l'activité de l'enseignant et les conditions d'une *orchestration d'un système d'artefacts conceptuels* (§II-4-5). Les paramètres de qualités de pratiques enseignantes (§III-2-1) étaient, pour nous, des outils d'analyse des étapes de la *transposition* (§II-2-1) par les enseignants, d'objets de savoirs mathématiques et didactiques pour l'organisation de leur enseignement.

La conception d'un modèle de ressource, à partir de la transmutation du modèle de ressource du SFoDEM (§III-1-1), porte en elle les éléments constitutifs de la conception d'un outil par l'usage. Les ressources ainsi conçues, dans un processus où les enseignants prennent une part active, pourraient constituer un moyen de réaliser une transposition d'objets de savoirs mathématiques et didactiques et, ainsi, faciliter la formation des professeurs en exercice.

L'approche anthropologique du didactique est apparue, à nos yeux, très adaptée pour étudier les paramètres internes de qualité de ressources pédagogiques. Dans une étude prospective, nous avons fait un choix, parmi les caractéristiques de NORMETIC, pour favoriser la création d'un patrimoine éducatif pour une formation au métier d'enseignant.

V-2 LES RESULTATS : LEUR PORTEE ET LEUR LIMITE

Nous avons fait l'hypothèse que la conception collaborative de ressources pédagogiques favoriserait l'évolution des ressources et l'évolution des pratiques enseignantes.

Nous avons considéré les ressources comme des *artefacts* qui deviennent des *instruments* du travail professionnel de l'enseignant au cours de processus de *genèse instrumentale*. Nous avons étudié et regroupé les différentes formes d'utilisation de ces artefacts par rapport aux deux processus duaux qui structurent la genèse instrumentale :

- l'instrumentation qui permet de faire le point sur les effets de l'usage des ressources sur l'enseignant ;
- l'instrumentalisation que nous interpréterons comme toutes les modifications faites par l'enseignant sur les ressources, à travers son usage.

V-2-1 Processus d'instrumentation

Pour étudier ces processus d'instrumentation nous nous intéresserons d'abord à l'usage des ressources pédagogiques structurées et ensuite au travail collaboratif.

a) *Influence des ressources pédagogiques sur les pratiques enseignantes*

Un résultat inattendu, révélé par les séances au cours desquelles l'enseignant a travaillé avec une ressource pédagogique, est l'importance des médiations. Des classes de vacataires observées, avant les expérimentations, révélaient une « absence » de l'enseignant dans sa classe, une certaine distance par rapport à ce qui devrait être son activité en classe et un manque d'enthousiasme à discuter et à échanger avec les élèves. Cette attitude s'expliquait, pour bon nombre d'observateurs, par un manque de motivation de ces enseignants vacataires. Les expérimentations que nous avons faites ont montré que cette conduite était, en grande partie, dictée par un manque de confiance en soi. L'usage des ressources pédagogiques paraissait, comme par enchantement, un remède : l'utilisation d'une ressource permettait au stagiaire d'oser, enfin, être présent dans sa classe. On pourrait attribuer ce changement d'attitude aux scénarios qui sollicitaient la présence du stagiaire, mais les non-dits du compte-rendu d'expérimentation fait par S₁ avec \mathfrak{R}_3 et avec \mathfrak{R}_4 ne laissent pas de doute, c'est l'outil qui lui procure une confiance en soi : « *La ressource m'a donné plus d'assurance pour aborder mon TD donc si je pouvais en disposer pour mes cours ce serait formidable* » (Annexe 6 ; cr \mathfrak{R}_3 et Annexe 6, cr \mathfrak{R}_4). La ressource est une prothèse et, comme toute prothèse, elle sert d'intermédiaire : elle est *médiatrice*. On peut ainsi considérer que les ressources structurées mettent en confiance l'enseignant et qu'en organisant la gestion du temps dans la classe, par l'intermédiaire du scénario, elles facilitent leur mise œuvre.

Cette présence de l'enseignant dans la classe est importante : il doit vérifier si les élèves ont leurs outils de travail, leur demander d'expliquer ou de préciser le type de tâches, doit interagir avec eux et, au besoin, mettre à leur disposition des connaissances requises pour ce type de tâches. Le scénario d'usage fournit au professeur une unité de mesure pour apprécier l'organisation de sa séance. Mais, comment les professeurs vacataires perçoivent-ils cette tentative de scénarisation ? La réponse à cette question a révélé un paradoxe gênant :

- soit, l'enseignant oublie la réalité de sa classe au profit d'un respect scrupuleux du scénario, or l'objectif de la formation est d'apprendre à s'adapter à des situations nouvelles et donc à **adapter la ressource à sa classe** ;

- soit, il renonce à suivre le scénario dès les premières difficultés pour retourner à sa pratique habituelle or, les ressources ont pour but d'organiser les contingences et l'enseignant n'apprend que s'il essaye de **s'y adapter**.

Le travail collaboratif entre pairs a permis de progresser dans une tentative de conciliation de ces deux attitudes antagonistes.

b) L'importance du travail collaboratif

Ce travail en groupe sur la conception de ressources pédagogiques a joué un rôle fondamental dans la formation des enseignants :

- c'est un outil qui facilite le partage d'un objectif commun entre enseignants, ce qui est une condition importante pour l'émergence d'une communauté de pratique d'enseignants ;
- c'est aussi un outil qui permet d'étudier les pratiques professionnelles, tant du point de vue des paramètres de qualité d'intendances que de celui des paramètres de qualité d'orchestration. Car, le travail de conception est précédé ou accompagné de l'étude de comptes-rendus d'expérimentation. Or, cette activité qui oblige un groupe à penser et repenser un acte d'enseignement est un pas vers un moment de réflexivité sur des pratiques réelles de classe.

Mais, la complexité du travail de classe fait que l'on ne peut pas seulement compter, pour la réussite d'une séance, sur le travail du groupe. Certes, l'activité du professeur est facilitée par le travail préalable avec ses pairs, il aura pu réfléchir à certaines difficultés, mais, malgré cela, il sera toujours surpris par des stratégies d'élèves. Il peut être mis encore plus en difficulté pour gérer le *milieu de référence* de l'élève.

Suite à cette analyse, mettant en évidence l'importance du travail collaboratif pour la conception de ressources, nous pensons toutefois que les compétences nécessaires pour mieux gérer les situations didactiques ne peuvent s'acquérir que dans la durée et avec des compléments de formation théorique.

Ces compléments de formation doivent concerner, en premier, les savoirs mathématiques : étant donné un type de tâches, l'enseignant doit être capable de déterminer un ensemble de techniques viables dans l'environnement qu'il a créé. Il doit aussi avoir une maîtrise des environnements technologico-théoriques pour penser et repenser des organisations globales. Cela est nécessaire pour que l'enseignant puisse porter haut les valeurs de cette discipline en dehors de l'école. Mais, cette connaissance approfondie des environnements technologico-théoriques est aussi nécessaire au sein de l'institution pour permettre à l'enseignant de pouvoir anticiper sur les types de validation que les élèves seront amenés à produire au cours des débats. L'ignorance de tels environnements amène l'enseignant à fonctionner avec des techniques « clé en main » : il rejette des conjectures audacieuses et mathématiquement très intéressantes, admet comme outil démonstratif des propos tautologiques qui n'ont aucun avenir mathématique (§IV-1-1d).

Les compléments de formation doivent, également, concerner d'autres types de savoirs. Il faut, par exemple, permettre aux professeurs de mathématiques de s'ouvrir aux aspects épistémologiques de leur discipline. Cela leur permettrait d'être plus outillé pour analyser les *conceptions des élèves* (§IV-1-1c). En effet, les erreurs commises par les élèves apparaissent souvent comme une répétition de celles qui ont été commises au cours du développement historique des concepts.

Mais, les tâches des enseignants sont tellement complexes que, livrés à eux-mêmes, beaucoup d'entre eux, auront des difficultés à étudier seuls ces outils théoriques. Un travail collaboratif, entre pairs, suivi par un tuteur proactif (§II-4-4) faciliterait l'organisation de ces études.

V-2-2 Processus d'instrumentalisation

Ce processus d'instrumentalisation se manifeste sur le milieu par des *instrumentalisations locales* (§II-4-3) et sur les ressources par des instrumentalisations que nous appellerons globales où les fonctions acquises sont inscrites dans l'artefact par une modification de son contenu ou de sa structure (la ressource est matériellement modifiée).

a) Instrumentalisation du milieu

Cette situation est plus présente pendant les séances au cours desquelles le travail de préparation a été fait en groupe ; l'enseignant réagit comme si le travail de groupe se poursuit en classe. Le travail de groupe devrait rendre la ressource plus proche de la réalité de la classe, être utilisable avec un minimum d'adaptation or, pendant la séance, l'enseignant essaye toujours d'adapter la ressource à sa classe. Si on observe de près cette situation, on ne peut manquer de se dire que c'est le contraire qui serait étonnant. Adapter une ressource à une situation, gérer *les bifurcations*, sont des témoignages de véritables gestes professionnels. Le professeur qui réagit ainsi n'est pas prisonnier de sa préparation. La ressource devient pour lui un instrument qu'il essaye d'adapter à ses besoins, à la réalité de la classe. Pour Dessus & Schneider (2006) :

« L'enseignant ne peut pas ne pas planifier, mais, une fois dans sa classe, sa préoccupation majeure va consister à réagir aux élèves donc à replanifier. [...] Tout enseignant sait justement opérer des changements importants par rapports à ces intentions initiales, selon les imprévus survenant en classe ».

Avec les professeurs vacataires, cette capacité à replanifier est fragile car, souvent, les schèmes ne sont pas bien construits. La gestion des situations imprévues est très délicate. Le professeur qui n'a pas de formation suffisante se trouvera, dans la plupart des cas, complètement démuni dans son *milieu pour l'action* (§II-3-1). Le travail collaboratif de préparation des séances entre pairs, avec la reprise des comptes-rendus d'expérimentation et l'étude d'outils théoriques, pourrait faciliter la gestion de ces situations.

b) Modification des ressources pédagogiques

Il est arrivé, plusieurs fois, que la ressource pédagogique soit « matériellement » modifiée. Le terme matériel renvoie au contenu des fiches. Mais, nous avons constaté que, dans certains cas, ces modifications ne prenaient en compte qu'une partie de la ressource comme si l'activité proposée, les objectifs visés et le scénario n'étaient pas en relation. Il est intéressant de noter que les modifications importantes sur les ressources ont eu lieu à partir d'un travail en groupe et, cela même, lorsqu'il s'agissait du groupe formé seulement de vacataires. Cet enrichissement des outils, par et pour l'usage, laisse présager un avenir productif même pour les cellules d'établissement formées seulement de professeurs vacataires. En effet, pour Crozat (2005) :

« Un des axes développés pour accompagner la structuration de ces usages nouveaux est de favoriser la collaboration et les échanges de pratiques. Un des leviers actionnés est alors celui du partage des contenus d'une part et de leur mise en usage d'autre part, termes qui renvoient respectivement aux notions de ressources documentaires et de modalités d'exploitation de ces ressources. L'enjeu devient alors la construction d'un patrimoine éducatif à travers, d'une part la mise en place de dépôts de ressources documentaires - ou « viviers » pour reprendre la terminologie ARIADNE qui dénote plus justement la dynamique de ces dépôts - et la mise en place de communautés d'échange autour des usages de ces ressources, d'autre part ».

V-3 LES PERSPECTIVES

Les perspectives relatives à cette étude seront pour nous des perspectives de recherche et de mise en œuvre d'un dispositif de formation.

V-3-1 Les perspectives de recherche

La tentative de théorisation de la genèse instrumentale du milieu nous paraît très importante dans le sens où elle permet d'articuler trois cadres théoriques que nous estimons très féconds comme théorie de l'apprentissage : la théorie des situations didactiques, la théorie anthropologique du didactique et l'approche instrumentale. L'articulation de ces théories permettrait :

- d'une part, d'étendre ce travail sur une approche instrumentale, à d'autres outils conceptuels (les nombres, les règles en algèbre, les figures, la langue comme outil de pensée, etc.). Un travail sur l'identification des conditions d'orchestration de système d'artefacts conceptuels ouvre des perspectives intéressantes en didactique des mathématiques et pour la formation des enseignants ;
- d'autre part, avec le développement de plus en plus important de ressources éducatives, des langages de modélisation pédagogique et des plates-formes d'enseignement, concepteurs et utilisateurs doivent savoir qu'un scénario est une *proposition*. En conséquence, toute tentative de scénarisation d'une séquence d'enseignement peut poser un problème de reproductibilité. Ainsi, des modes de conception anthropocentrée, où l'on pense à recueillir des propositions de modifications faites par les enseignants et à intégrer les usages, sont pour nous des perspectives de recherches intéressantes.

V-3-2 Les perspectives de formation

Les outils de formation que nous avons essayés de mettre en œuvre sont des ressources éducatives qui scénarisent les activités professionnelles tout en dotant l'utilisateur d'outils théoriques pour interroger sa pratique. L'activité de recherche montre l'importance du travail collaboratif dans l'organisation d'un tel dispositif.

Nous espérons que les résultats de ce travail permettent d'envisager la mise en œuvre d'un dispositif prenant en charge la formation de catégories socio-professionnelles en difficulté dans l'exercice de leur métier.

Dans une perspective de mise en œuvre d'un dispositif de formation pour des professeurs vacataires, au Sénégal, les cellules d'établissement (§I-1-3) pourraient constituer des unités de conception et d'utilisation de ressources pédagogiques. Les cellules d'établissements d'une région pourrait former un centre rattaché au pôle régional de formation (§I-1-3). Une structure mixte composée de membres de la FASTEF, de l'IREMPT et la SFC pourrait coordonner le fonctionnement des centres (figure 80). La FASTEF s'occuperait de recherche sur les formations. Elle travaillerait avec l'IREMPT sur des recherches cliniques et procéderait à des expérimentations ciblées. Ces deux structures et l'ensemble des pôles régionaux organiseraient la mise en œuvre de la formation et les retours des usages avec les comptes-rendus d'expérimentation.

L'activité de conception de ressources pédagogiques peut démarrer avec le modèle 2 (figure 23) au sein des cellules d'établissement. Au cours des usages, ce modèle pourrait être amélioré pour mieux répondre aux besoins des usagers.

La nécessité de connaissances théoriques accompagnant le travail collaboratif des enseignants, telle qu'elle est apparue dans notre étude, rend indispensable l'élaboration de modèle et de **ressources de formation** sur des concepts didactiques et mathématiques, éventuellement d'histoire des sciences, d'épistémologie, etc. Ce travail autour des ressources de formation permettrait aux enseignants de penser et de repenser des organisations globales et d'avoir une vue plus large de leur discipline aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur du système didactique.

Une plate-forme dédiée et des ressources sur supports numériques ou papiers pourraient être mis à la disposition des apprenants. Les formateurs de la FASTEF et les conseillers pédagogiques de la SFC et de l'IREMPT en tuteurs proactifs pourraient organiser, à distance ou en présentiel, les formations théoriques et le maintien des activités collaboratives (§II-3-2) entre enseignants.

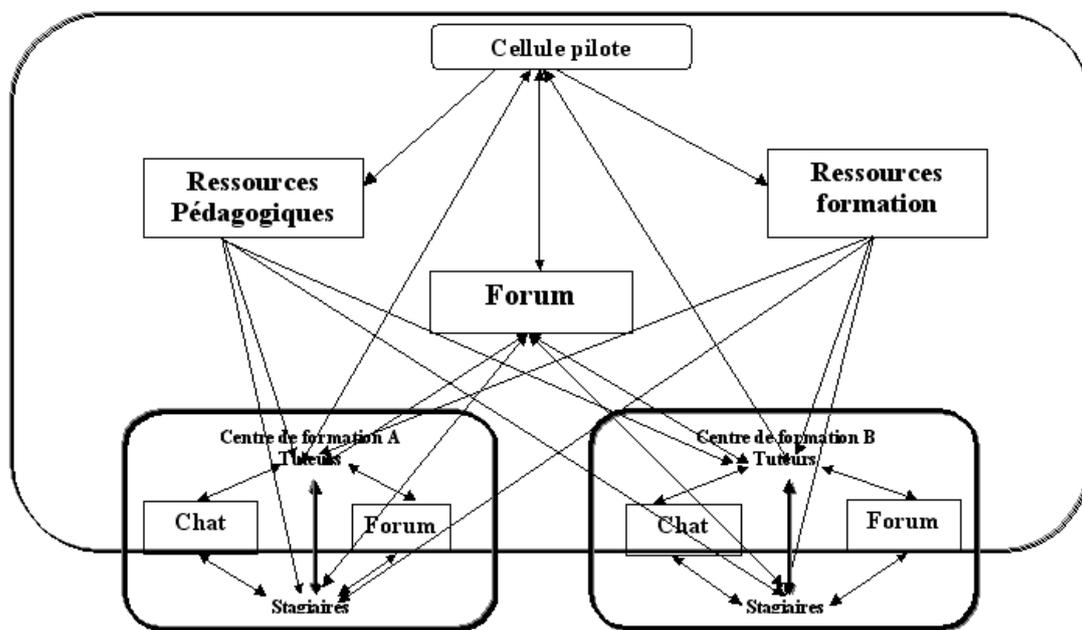


figure 80 : schéma récapitulatif du dispositif de formation envisagé.

Nous espérons que ce dispositif, de par son mode d'organisation, les ressources pédagogiques et les ressources de formation, favoriserait et renforcerait le développement des enseignants.

Seulement, l'organisation d'un dispositif de formation d'une envergure nationale ne manquerait pas de poser quelques problèmes :

- Comment gérer, avec plus d'équité, un tel dispositif en voulant se baser sur l'existant qui donne, déjà, la part belle en matière d'infrastructure à certaines régions (Tableau 4) ?
- Quelle offre de formation aux localités qui n'auront pas accès à Internet ?
- Quel sera l'impact des dispositifs de formation sur le développement de l'enseignant ?
- Comment outiller le dispositif pour recueillir et traiter les utilisations collectives des ressources pédagogiques au sein des cellules pédagogiques ?

Voilà quelques questions vives auxquelles nous espérons apporter des réponses dans des délais raisonnables.

BIBLIOGRAPHIE

- Artigue M. (1990) Ingénierie didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 9(3), p. 280-307.
- Artigue M. (2002) L'intégration de calculatrices symboliques à l'enseignement secondaire : les leçons de quelques ingénieries didactiques. In D. Guin & L. Trouche (Eds.), *Calculatrices symboliques : transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique*, p. 277-349. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Averous M. & Touzot G. (2002) *Campus numériques, enjeux et perspectives pour la formation ouverte à distance*. Rapport à l'attention du ministère de l'éducation nationale, du ministère de la recherche et de la délégation à l'aménagement du territoire et à l'action régionale.
- Backer M., de Vries E., Lund K. & Quignard M. (2001) Interactions épistémiques médiatisées par ordinateur pour l'apprentissage des sciences : bilan de recherche. In C. Desmoulins, M. Grandbastien & J.M. Labat (Eds.), Actes du colloque Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur, *Sciences et techniques éducatives*, Vol. 8 (1/2), p. 21-32.
- Baker M. (2004) *Recherches sur l'élaboration de connaissances dans le dialogue*. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Psychologie. Université Nancy 2. [<http://www.vjf.cnrs.fr/umr8606/FichExt/mbaker/>], dernière consultation, mars 2006.
- Balacheff N. (1994) Didactique et intelligence artificielle. In N. Balacheff (Ed.), *Didactique et intelligence artificielle*, p. 9-42. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Balacheff N. (1998) *Eclairage didactiques sur les EIAH en mathématiques*. [<http://www-leibniz.imag.fr/DIDACTIQUE/Balacheff/GDM98/index.html>], dernière consultation, septembre 2005.
- Béguin P. & Rabardel P. (2000) Concevoir pour les activités instrumentées. *Revue d'intelligence artificielle*, Vol. 14, p. 35-54.
- Bloch I. (1999) L'articulation du travail mathématique du professeur et de l'élève dans l'enseignement de l'analyse en première scientifique : détermination d'un milieu-connaissances et savoirs. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 19(2), p. 135-194.
- Bloch I. (2000) *L'enseignement de l'analyse à la charnière lycée/université. Savoir, connaissance et conditions relatives à la validation*. Thèse de Doctorat. Bordeaux : Université Bordeaux 1.
- Brousseau G. (1986) La relation didactique : le milieu. In *Actes de la IV^{ème} Ecole d'Eté de didactique de mathématiques*, p. 54-68. Paris : IREM, Université Denis Diderot.
- Brousseau G. (1988a) Le contrat didactique : le milieu. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 9(3), p. 309-336.
- Brousseau G. (1998b) *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Brousseau G. (2000) *Education et Didactique des mathématiques*. Communication au Congrès d'Agua Calientes, Mexico. Article paru en espagnol dans la revue mexicaine « Educacion matematica », Vol. 12(1), p. 5-39, Abril 2000.

- Brousseau G. (2004) Interview de Guy Brousseau par Anne-Marie Rhyn. Radio Suisse Internationale, lundi 21 juin 2004.
- Chevallard Y. (1992a) Concepts fondamentaux de didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 12(1), p. 73-112.
- Chevallard Y. (1992b) Intégration et viabilité des objets informatiques, le problème de l'ingénierie didactique. In B. Cornu (Ed.), *L'ordinateur pour enseigner les mathématiques*, p. 183-203. Paris : PUF.
- Chevallard Y. (1997a) Familiale et problématique, la figure du professeur. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 17(3), p. 17-54.
- Chevallard Y. (1997b) *La transposition didactique du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Chevallard Y. (1998) Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques : l'approche anthropologique. In Actes de la IX^{ème} Ecole d'Eté de la Rochelle, *Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques*, p. 91-118.
- Chevallard Y. (1999) L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 19(2), p. 221-266.
- Conne F. (1992) Savoir et connaissance dans la perspective de la transposition didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 12(2/3), p. 221-270.
- Contamines J., George S. & Hotte R. (2003) Approche instrumentale des banques de ressources éducatives. In E. Bruillard & B. De La Passardière (Eds.), *Ressources numériques, XML et éducation. Sciences et technologies éducatives*, p. 157-178. Hors série 2003.
- Contamines J. & Hotte R. (à paraître) Communautés de pratique : auteurs et utilisateurs des banques de ressources éducatives. In M. Baron, D. Guin & L. Trouche (Eds.), *Actes du Symposium Réseau Education et Formation. Environnements Informatisés pour l'éducation et la formation scientifique et technique : modèles, dispositif et pratiques*. Paris : Hermès.
- CREM (2003) *Formation des maîtres en mathématiques et recommandations associées*. Rapport de la Commission de réflexion sur l'enseignement en mathématiques en France. [<http://smf.emath.fr/Enseignement/CommissionKahane/>], dernière consultation, avril 2006.
- CREPUQ - Novasys (2003) *La description normalisée des ressources : vers un patrimoine éducatif*. [<http://profetic.org/normetic/pdf/normetic.pdf>], consulté le 24 mars 2004.
- Crozat S. (à paraître) Apprendre en présence et à distance à la recherche des effets des dispositifs hybrides. In M. Baron, D. Guin & L. Trouche (Eds.), *Actes du Symposium Réseau Education et Formation, Environnements Informatisés pour l'éducation et la formation scientifique et technique : modèles, dispositif et pratiques*. Paris : Hermès.
- Defouad B. (2000) *Etude de genèse instrumentale liées à l'utilisation de calculatrices symboliques en classe de première S*. Thèse de doctorat. Paris : Université Denis Diderot.

- De Ketele J.M. (1989) Spécificités de la formation continue. In J-M Dusseau, Actes du colloque International de Montpellier, *Le transfert des connaissances en sciences et techniques*. p. 75-75. Montpellier : IREM, Université Montpellier II.
- Dessus P. & Schneider D.K. (2006) Scénarisation de l'enseignement et contrainte de la situation. In H. Godinet & J.-P. Pernin (Eds.), *Scénariser l'enseignement et l'apprentissage : une nouvelle compétence pour le praticien ?* p. 13-18. Lyon : INRP.
- Dillenbourg P., Baker M.J., Blaye A. & O'Malley C. (1996) The evolution of research on collaborative learning. In P. Reimann & H. Spada (Eds.), *Learning in Humans and Machines: Towards an Interdisciplinary Learning Science*, p. 189-211. Oxford : Pergamon.
- Dillenbourg P. (1999) wath do you mean by 'collaborative learning'. In P. Dillenbourg (Ed.), *Collaborative learning: cognitive and computational approaches*, p. 1-19. Oxford : Elsevier.
- Duplâa E., Galisson A. & Choplin H. (2003) Le tutorat à distance existe-t-il ? Propositions pour du tutorat proactif à partir de deux expérimentations de FOAD. *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, p. 477-484. Strasbourg.
- Duval R. (1993) Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, p. 37-65. Strasbourg : IREM, Université Louis Pasteur.
- EPT (2000) *Rapport du Forum Mondial pour l'éducation Education Pour Tous* [<http://www.education.gouv.sn/politique/Fichiers/pdef-ept.pdf>].
- Flückiger A. (2004) Analyse didactique de schème : une étude qui articule théorie des situations et théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 24(2/3), p. 169-204.
- Friesen N. (2004) Three objections to learning objects and E-learning standards. In R. McGreal (Ed.), *Online Education using Learning Objects*, p. 59-70. Londres : Routledge.
- Guin D. (2003) SFoDEM : Un dispositif de Formation à distance pour accompagner les enseignants dans l'intégration des TICE en mathématiques. In J-B Lagrange, M. Artigue, D. Guin, C. Laborde, D. Lenne & L. Trouche (Eds.), Actes du colloque ITEM *Intégration des Technologies dans l'Enseignement des Mathématiques, Ecole, Collège, Lycée, Université, IUFM*. Cédérom, IUFM Reims.
- Guin D. & Trouche L. (2001) Analyser l'usage didactique d'un EIAH en mathématiques : une tâche nécessairement complexe. *Sciences et techniques éducatives*, Vol. 8, p. 61-74.
- Guin D. & Trouche L. (2006) *Des scénarios pour et par les usages*. In H. Godinet & J.-P. Pernin (Eds.), *Scénariser l'enseignement et l'apprentissage : une nouvelle compétence pour le praticien ?* Lyon : INRP.
- Guin D., Joab M. & Trouche L. (2003) *SFoDEM, bilan de la phase expérimentale*. Montpellier : IREM, Université Montpellier II.
- Guin D., Joab M. & Trouche L. (à paraître) Quels modèles, dispositifs de formation et outils pour une approche instrumentale des ressources pédagogiques ? In M. Baron, D. Guin. & L. Trouche (Eds.), Actes du Symposium du Réseau Education et Formation,

- Environnements Informatisés pour l'éducation et la formation scientifique et technique : modèles, dispositif et pratiques.* Paris : Hermès.
- Hirtt N. (2001) *L'école prostituée. L'offensive des entreprises sur l'enseignement*, Bruxelles : Labor.
- Ivic I. (1994) Lev S. Vygotsky. *Perspectives : revue trimestrielle d'éducation comparée*, Vol. 24(3/4), p. 793-820. Paris : UNESCO Bureau international d'éducation.
- Lave J. & Wenger E. (1991) *Situated learning. Legitimate peripheral participation*. Cambridge: University Press.
- Legrand M. (1993) Débat scientifique en cours de mathématiques et spécificité de l'analyse. *Repères-IREM*, n°10, p. 123-159.
- Legrand M. (1997) La problématique des situations fondamentales et l'approche anthropologique, deux regards sur l'enseignement des mathématiques. *Repères-IREM*, n°27, p. 81-125.
- Leutenegger F. (2000) Construction d'une « clinique » pour le didactique. Une étude des phénomènes temporels de l'enseignement. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 20(2), p. 209-250.
- Linard M. (2001) Concevoir des environnements pour apprendre : l'activité humaine, cadre organisateur de l'interactivité technique. *Sciences et techniques éducatives*, Vol. 8, p. 211-238.
- Luft R. (1989) Les apports de l'ordinateur dans l'auto-formation des étudiants. Actes du colloque International de Montpellier. *Le transfert des connaissances en sciences et techniques*, p. 67-75. Montpellier : IREM, Université de Montpellier II.
- Margolinas C. (1994) Jeux de l'élève et du professeur dans une situation complexe. *Séminaire Dida Tech*, n°158. Grenoble : Université Joseph Fourier.
- Margolinas C. (1997) *Etude de situations didactiques "ordinaires" à l'aide du concept de milieu : détermination d'une situation du professeur*. In Actes de la IX^{ème} Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques. Houlgate.
- Margolinas C. (2004) *Point de vue de l'élève et du professeur Essai de développement de la théorie des situations didactiques*. Document pour l'Habilitation à Diriger des Recherches. Université de Provence.
- Moreau M. (1996) Avant propos. In J. Perriault (Ed.), *La communication du savoir à distance*, p. 9-12. Paris : L'Harmattan.
- NORMETIC (2003) [<http://profetic.org/normetic/pdf/normetic.pdf>] consulté le 24 mars 2004.
- PDEF (2003) *Programme de développement de l'éducation et de la formation du Sénégal*, [<http://www.education.gouv.sn/politique/Fichiers/pdef-ept.pdf>], dernière consultation, février 2006.
- Pariès M.C. (2004) Comparaison de pratiques d'enseignants de mathématiques : relations entre discours des professeurs et activités des élèves. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 24(2/3), p. 251-284.
- Pengelly R.M. (1979) L'adulte et l'enseignement continue en mathématiques. *Tendances nouvelles de l'enseignement des mathématiques*, n°4, p. 90-113. Unesco.

- Perrenoud P. (2001) *Développer la pratique réflexive dans le métier d'enseignant. Professionalisation et raison pédagogique*. Paris : ESF.
- Perriault J. (1996) *La communication du savoir à distance*. Paris : L'Harmattan.
- Perriault J. (2002) *L'accès au savoir en ligne*. Paris : Odile Jacob.
- PNUD (2005) Programme des Nations Unies pour le développement : *Unité de Politique et d'Analyse Stratégique*.
[http://www.undp.org.sn/docs/NOTE_DE_STRATEGIE_JANVIER_2005VF.pdf], dernière consultation, mars 2006
- Rabardel P. (1995a) *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin.
- Rabardel P. (1995b) Qu'est ce qu'un instrument ? Appropriation, conceptualisation, mises en situation. *Les dossiers de l'ingénierie éducative*, Vol. 19, p. 61-65. CNDP.
- Rabardel P. (2000) Eléments pour une approche instrumentale en didactique des mathématiques. In M. Bailleul (Ed.), *Actes de la X^{ème} Ecole d'été de didactique des mathématiques*, p. 203-213. Caen : IUFM.
- Rabardel P. (2002) Le langage comme instrument ? Eléments pour une théorie instrumentale étendue. In Y. Clot (Ed.), *Avec Vygotski*. p. 265-290. Paris : La Dispute.
- Rabardel P. & Samurcey R. (2001) From Artifact to Instrument-Mediated Learning. *Symposium on New challenges to research on Learning*. Finland : Helsinki.
- RNDH (1990) *Rapport National du Sénégal sur le développement humain*, [<http://www.undp.org.sn/docs/RNDH.PDF>], dernière consultation, mars 2006.
- Salin M.H. (1999) Pratiques ostensives des enseignants. *Le cognitif en didactique des mathématiques*, 327-352. Montréal : Presses de l'Université de Montréal.
- Schön D. (1993) *Le praticien réflexif. À la recherche du savoir caché dans l'agir professionnel*. Montréal : Editions Logiques.
- Sensevy G., Mercier A. & Schubauer-Leoni M.L. (2000) Vers un modèle de l'action didactique du professeur à propos de la cours à 20. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 20(2), p. 263-304.
- Seymour P. & Jaillet A. (2003) Entretien. *Vingt-cinq années d'Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*. Strasbourg.
- Sokhna M. (2002) *Formation à distance et intégration des calculatrices dans l'enseignement des mathématiques*. Mémoire de DEA de Didactique de Mathématiques. Montpellier : Université Montpellier II.
- Sokhna M. (2005) Une typologie des situations d'intégration des TICE dans l'enseignement des mathématiques. *Liens*, Vol 8, p. 61-74. Dakar : FASTEF
- Sokhna M. (2006) Formation d'enseignants à la scénarisation d'activités à partir de ressources pédagogiques. In H. Godinet & J.P. Pernin (eds.), *Scénariser l'enseignement et l'apprentissage : une nouvelle compétence pour le praticien ?* p. 125-130. Lyon : INRP.
- Sokhna M. (2006) Formation continue des professeurs de mathématiques au Sénégal : analyse de la transmutation d'un dispositif de formation. In Université de Sherbrooke (ed.), *L'enseignement des mathématiques face aux défis de l'école et des communautés*

- Québec : actes du colloque international Espace Mathématique Francophone, Sherbrooke (Québec) à paraître.
- Trouche L. (1997) *À propos de l'apprentissage des limites de fonctions dans un environnement calculatrice, étude des rapports entre processus de conceptualisation et processus d'instrumentation*. Thèse de Doctorat. Université de Montpellier II.
- Trouche L. (2000) La parabole du gaucher et de la casserole à bec verseur ; étude des processus d'apprentissage dans un environnement de calculatrices symboliques. *Educational Studies in Mathematics*, Vol. 41, p. 239-264.
- Trouche L. (2002) Une approche instrumentale de l'apprentissage des mathématiques dans des environnements de calculatrice symbolique. In D. Guin & L. Trouche (Eds.), *Calculatrices symboliques transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique*, p. 187-214. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Trouche L. (2003) *Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques nécessite des orchestrations*. Document pour l'Habilitation à Diriger des Recherches. Paris : Université Denis Diderot.
- Trouche L. (2005) Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques : nécessite des orchestrations. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 25(1), p. 91-138.
- Vergnaud G. (1990) La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 10(2/3), p. 133-170.
- Vergnaud G. (1996) Au fond de l'apprentissage, la conceptualisation. In R. Noirfalise & M.J. Perrin-Glorian (Eds.), *Actes de la VIII^{ème} Ecole d'été de didactique des mathématiques*, p. 174-185. Clermont-Ferrand : IREM, Université Blaise Pascal.
- Vergnaud G. (2002a) *Lev Vygotski Pédagogue et penseur de notre temps*. Hachette Education.
- Vergnaud G. (2002b) On n'a jamais fini de relire Vygotski et Piaget. In Y. Clot (Ed.), *Avec Vygotski*, p. 55-68. Paris : La Dispute.
- Vergnaud G. (2002c) Piaget visité par la didactique. In *Piaget et les sciences cognitives*. *Intellectica* 2001/2, n°33, p.107-123.
- Vergnaud G. (2005) Repères pour une théorie psychologique de la connaissance. In A. Mercier & C. Margolinas (Eds.), *Balises en didactique des mathématiques*, Cours de la XII^{ème} Ecole d'Eté de didactique des mathématiques, p. 123-136. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Vygotski L.S. (1934) *Pensée et langage* (2002). Paris : La Dispute.
- Walusinski G. (1971) *Pourquoi une mathématique moderne ?* Paris : Armand Colin.
- WCEFA (1990) *Conférence mondiale sur l'éducation pour tous : Répondre aux besoins éducatifs fondamentaux*. Paris : Unesco.
- Wenger E. (1998) *Communities of Practice : Learning, Meaning and Identity*. Cambridge: University Press.