



HAL
open science

La question des savoirs dans la formation des enseignants aux mathématiques. De l'analyse des pratiques de formation à la simulation informatique en formation.

Fabien Emprin

► To cite this version:

Fabien Emprin. La question des savoirs dans la formation des enseignants aux mathématiques. De l'analyse des pratiques de formation à la simulation informatique en formation.. Education. Université de Reims Champagne Ardenne (URCA), 2019. tel-02408682

HAL Id: tel-02408682

<https://hal.science/tel-02408682>

Submitted on 13 Dec 2019

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

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

NOTE DE SYNTHÈSE

EN VUE DE L'HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES

La question des savoirs dans la formation des enseignants aux mathématiques.

*De l'analyse des pratiques de formation à la simulation informatique
en formation.*

Soutenue le mardi 10 décembre 2019 devant le jury constitué de :

Stéphane BRAU-ANTONY, Professeur, Université de Reims Champagne-Ardenne

Lalina COULANGE, Professeure, université de Bordeaux

Brigitte GRUGEON-ALLYS, Professeure émérite, université de Paris-Est Créteil

Catherine HOUEMENT, Professeure émérite, université de Rouen

Philippe R. RICHARD, Professeur titulaire, Université de Montréal

Bernard RIERA, Professeur, Université de Reims Champagne-Ardenne

Fabrice VANDEBROUCK, Professeur, Université Paris-Diderot

Table des matières

Introduction.....	3
Partie 1 - De l'analyse des pratiques de formation aux simulateurs informatiques.....	5
1. 1. Premiers éléments sur les pratiques de formation.....	5
1. 1. 1. Cadres théoriques pour analyser les pratiques de formation en mathématiques avec les technologies : double approche didactique et ergonomique DADE (Robert et Rogalski (2002, 2005) et approche instrumentale (Rabardel, 1995)	6
1. 1. 2. La place du discours dans l'analyse des pratiques.....	14
1. 1. 3. Les ingénieries didactiques pour la formation professionnelle	19
1. 2. Les simulateurs informatiques dans la formation professionnelle des enseignants... 	25
1. 2. 1. SIC – Simulateur informatique de classe	26
1. 2. 2. Quelques éléments sur les simulateurs en formation professionnelle.....	31
1. 2. 3. Analyse des simulateurs existant en formation des enseignants	32
1. 2. 4. D'un simulateur de classe à un simulateur d'analyse de pratiques pour former les formateurs	42
1. 3. Le rôle de la didactique des mathématiques dans la conception des simulateurs.....	55
1. 3. 1. Analyse de la conception de SIC	56
1. 3. 2. Analyse de la conception de SAP	61
1. 3. 3. Synthèses des aspects liés à la programmation et à l'informatique	66
1. 3. 4. Des ingénieries didactiques sur lesquelles s'appuyer.	68
1. 4. Conclusion sur les travaux en cours.....	69
1. 4. 1. Que doivent savoir les enseignants pour enseigner ? Et les formateurs d'enseignants pour former ?	69
1. 4. 2. Référentiels pour l'enseignant	70
1. 4. 3. Référentiels pour le formateur.....	71
Partie 2 - Une proposition de modèle d'analyse du système de formation	74
2. 1. Savoirs et transposition.....	74
2. 1. 1. Les savoirs et les connaissances	74
2. 1. 2. Les transpositions en jeu dans la formation.....	75
2. 2. Modélisation du système de formation	77
2. 2. 1. Schématisation des relations pour construire un modèle	77
2. 2. 2. Spécification des institutions en jeu	78
2. 2. 3. Analyser les pratiques, les savoirs et les savoir-faire à l'éclairage de la TAD	80
2. 2. 4. Stratégies de formation	80

2. 3. Des cadres d'analyse des savoirs dans les pratiques d'enseignement et de formation professionnelle	82
2. 3. 1. Cadres d'analyse des pratiques d'enseignement et de la formation professionnelle	82
2. 3. 2. Vers une typologie des savoirs et des connaissances pour enseigner	85
2. 3. 3. Vers une typologie des savoirs et connaissances pour former.....	86
2. 3. 4. La question de l'épistémologie des savoirs de formation	88

Partie 3 - Les questions ouvertes par le modèle d'analyse et les projets de recherche

.....	89
-------	-----------

3. 1. Définir des savoirs de formation et leur épistémologie.....	90
3. 1. 1. Analyse des revues professionnelles et des actes de colloques de formateurs	90
3. 1. 2. Analyse des programmes de formation	91
3. 1. 3. Analyse du métier de formateur et de la transposition	91
3. 1. 4. La place des travaux dans d'autres disciplines que les mathématiques et dans d'autres pays	92

3. 2. Savoir de formation, ingénieries didactiques et simulation	93
3. 2. 1. Simulation et situation de handicap	93
3. 2. 2. Simulations dans les domaines scientifiques et recueils de données	93
3. 2. 3. Simulation de pratiques de formation : former les formateurs	95
3. 2. 4. Simulation de pratiques de classe : vers de nouvelles pratiques de formation	95

<i>Conclusions.....</i>	96
--------------------------------	-----------

<i>Bibliographie.....</i>	98
----------------------------------	-----------

<i>Annexes.....</i>	120
----------------------------	------------

Annexe 1 : Phylogram of the corpus of speeches by George W. Bush and Barack Obama	120
--	------------

Annexe 2 : séances de mathématique dans SAP	121
--	------------

Constructions géométriques TRIANGLE et MEDIATRICES.....	121
--	------------

Annexe 3 : extraits des échanges Professeur-élèves lors de la séance travaillée dans SAP	122
---	------------

Annexe 4 : questionnaire sur le simulateur.....	125
--	------------

Introduction

Les pratiques de formation à l'enseignement de mathématiques notamment impliquant l'usage de technologies numériques sont au cœur de mes travaux de recherche. Ma thèse (Emprin, 2007) a débouché sur la construction de cadres d'analyse des pratiques de formation prenant en compte les aspects didactiques et les concepts mathématiques spécifiques aux pratiques d'enseignants qui suivent une formation. Ils ont pu être éprouvés dans le contexte de la formation à l'enseignement des mathématiques avec les technologies numériques. Les résultats m'ont alors amené à dégager des limites aux pratiques de formation existantes, à émettre des hypothèses sur leurs causes et à proposer des conditions à mettre en œuvre. Pour tester ces nouvelles hypothèses, j'ai spécifié la méthodologie de l'ingénierie didactique à la situation de formation.

Cela m'a conduit à envisager des scénarios de formation mettant d'abord en jeu de l'analyse de pratiques sur vidéos puis avec des artefacts dont l'usage est familier dans de nombreux milieux professionnels, mais dont l'entrée reste timide en formation des enseignants : les simulateurs informatiques. Dans le monde de l'éducation, peu de simulateurs existent et ne sont pas centrés sur les aspects didactiques qui sont au cœur de mon travail (je les décris et les analyse en 1. 2. 3. p. 32), il m'a été alors nécessaire de développer et programmer mes propres artefacts, d'abord seul, puis en collaboration avec d'autres chercheurs et une start-up du numérique. Tout simulateur nécessite, pour être programmé, la définition des règles de fonctionnement, des interactions déterminant son fonctionnement. Quand ce sont des phénomènes régis par des lois issues de la physique ou de la mécanique qui sont simulés, le concepteur s'appuie sur des modèles de savoirs développés dans ces domaines. Pour les pratiques d'enseignement ou de formation, cela m'a conduit à m'interroger sur la nature des savoirs et connaissances en jeu dans la formation des enseignants. La distinction entre savoirs et connaissances fait l'objet d'un travail spécifique en 2. 1. 1. p. 74. Cela m'amène à proposer une modélisation d'analyse du système de formation et à en vérifier la fonctionnalité en concevant des situations de formation sur simulateurs. Dans la suite de mon travail, j'adopte l'idée de Bloch et Gibel (2011) ou Goigoux (2007) selon laquelle un modèle d'analyse est considéré comme fonctionnel s'il est capable de mettre en évidence des relations et questions qui, une fois investiguées, amènent une meilleure compréhension des phénomènes en jeu dans

la situation de formation. Ce modèle met au jour des questions qui constituent un plan de recherche.

Dans une première partie, je présente l'évolution de mes recherches, partant de l'analyse des pratiques de formation professionnelle des enseignants, puis débouchant sur un travail d'ingénierie didactique, méthodologie que je spécifie pour la formation professionnelle ce qui m'a conduit à la conception d'artefact, de simulateurs informatiques de classe et d'entretien professionnel.

La partie 2 développe une modélisation du système de formation mettant au jour la nature et les spécificités des savoirs de formation, ceux qui sont en jeu dans la formation. In fine ce travail doit contribuer à la conception de situations de formations centrées sur la simulation de pratiques. Je me centre sur les formations professionnelles qui visent des savoirs et des connaissances liés au triangle didactique représenté par le triplet enseignant – élève – savoir relevant de domaines mathématiques donnés.

Dans la dernière partie, je présente les perspectives ouvertes par cette modélisation et les nouvelles recherches sur lesquelles elle débouche : en particulier le travail sur l'épistémologie des savoirs des formations et la conception de simulateurs pour la formation professionnelle.

Partie 1 - De l'analyse des pratiques de formation aux simulateurs informatiques

1. 1. Premiers éléments sur les pratiques de formation

Mes travaux de thèse (Emprin, 2007 ; Abboud et Emprin, 2010) ont conduit à la conception et à la vérification de la pertinence d'une grille de lecture des pratiques de formation. Ils donnent accès aux contenus didactiques et mathématiques de ces dernières. Ce travail, présenté dans une première partie, montre la complexité des pratiques de formation et débouche, dans mes travaux actuels et ceux que j'encadre, sur la formulation d'un cadre théorique permettant l'analyse des pratiques de formation en didactique des mathématiques, avec les technologies numériques, mais aussi dans d'autres cadres comme la question de l'égalité filles-garçons (Brasseur, 2018) ou encore la formation d'adultes (Vriet, 2018). Par ailleurs, les méthodes de recherche associées à ces cadres (entretien, analyse de transcriptions de formation, analyse de productions écrites des enseignants, analyse de textes produits pour la formation...) confrontent le chercheur à de grandes quantités de discours et à leur analyse. Dans la deuxième partie de ce paragraphe, je présente cette dimension relative à l'analyse du discours dans laquelle j'ai poursuivi une partie de mes travaux (Emprin, 2018a), notamment en utilisant, pour la didactique, des méthodes de lexicométrie (analyse factorielle des correspondances sur les cooccurrences de lexème dans des segments de textes).

Les résultats de l'analyse des pratiques de formation issus de ma thèse amènent à émettre de nouvelles hypothèses qui, pour être testées, nécessitent de proposer une méthode spécifique. Mon choix s'est porté sur l'utilisation, pour cet objet de recherche, de l'ingénierie didactique (Artigue, 2002a et 2002b ; Chevallard, 1982a et 2011a) originellement conçue pour les pratiques d'enseignement. Cette méthode a pour particularité d'être basée sur un processus de validation interne c'est-à-dire sur la formulation d'hypothèses *a priori* et leur vérification *a posteriori*. Je présente dans une troisième partie les développements des ingénieries didactiques pour la formation dans d'autres domaines de formation utilisant des technologies numériques (l'automatique et l'odontologie).

1. 1. 1. Cadres théoriques pour analyser les pratiques de formation en mathématiques avec les technologies : double approche didactique et ergonomique DADE (Robert et Rogalski (2002, 2005) et approche instrumentale (Rabardel, 1995)

Mon travail de thèse (Emprin, 2007 ; Abboud et Emprin, 2010) partait du postulat qu'il y a un déficit qualitatif dans les formations d'enseignants, notamment en mathématiques, pour l'utilisation des TICE (Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement). Ce déficit entraîne une inefficacité des formations quant au développement et la diversification de leurs usages. Pour identifier des facteurs explicatifs à ce déficit, il a été alors nécessaire de définir un cadre d'analyse adapté à la situation de formation.

Une hypothèse forte est alors de considérer les pratiques de formation professionnelle des enseignants comme des pratiques d'enseignement pour lesquelles les apprenants sont des enseignants et les enseignants, les formateurs. Dans la suite, pour éviter les confusions, je parlerai de formateur d'enseignants (FE) pour désigner celui qui enseigne dans une formation professionnelle d'enseignants. Les enseignants, qui apprennent durant cette formation sont nommés enseignants apprenant (EA). Lorsque j'évoque l'enseignant dans sa classe en charge d'enseigner à des élèves (é), je parlerai d'enseignant enseignant (EE). Cela me conduit à choisir pour point de départ un cadre théorique conçu pour l'analyse des pratiques enseignantes et à le spécifier pour la formation. La fonctionnalité de ce cadre est vérifiée par le fait qu'il permet d'accéder aux pratiques de formation. J'ai donc adapté le cadre de la double approche (Robert, 1999, 2003 et 2005 ; Robert et Rogalski, 2002, 2005 et 2015) à la situation de formation.

Dans la double approche, les pratiques enseignantes sont vues au travers d'une approche d'ergonomie cognitive et d'une approche didactique. Elle sera nommée par la suite DADE (Double Approche Didactique et Ergonomique). Cette DADE n'a pas été construite pour analyser les pratiques incluant les TICE, mais les pratiques enseignantes ordinaires. Elle est basée sur l'hypothèse que les pratiques enseignantes sont stables, cohérentes et complexes. Elle a été conçue pour tenter : « *de présenter et de justifier un cadrage théorique pour mettre en place des recherches didactiques sur les formations professionnelles des enseignants de mathématiques* » (Robert, 1999, p 124). Dans un premier temps, ce cadre est utilisé par le chercheur pour acquérir des connaissances qui doivent servir ensuite à la formation des enseignants. Cet objectif correspond donc bien à ma problématique. Robert (1999) analyse et définit les pratiques de l'enseignant comme « *l'ensemble des activités de l'enseignant qui aboutissent à ce qu'il met en œuvre en classe et à ses activités en classe. Dans cette définition, nous tenons compte des projets plus ou moins implicites activés au moment de la préparation*

des séances. [...] Nous appelons « lignes d'action » ces projets » auxquels nous ne pourrions accéder qu'indirectement, à travers leur réalisation en classe ou au travers des déclarations de l'enseignant » (Robert, 1999, p 128). En dernier lieu, Robert (1999) précise la place de l'analyse de l'effet des pratiques des enseignants sur les apprentissages des élèves : « [...] en dernière analyse, les effets sur les élèves qui doivent servir d'évaluation de ces pratiques, car ce sont les apprentissages des élèves qui sont « visés » ». (Robert, 1999, p 133). Recomposition des composantes des pratiques, lignes d'action, contraintes et marges de manœuvre sont au cœur de la DADE.

Néanmoins, la double approche ne prend pas en compte les spécificités de l'intégration des technologies.

Ceci amène à utiliser, conjointement à la DADE, un cadre permettant de prendre en compte la dimension d'usage des technologies (Abboud et Emprin, 2010). Pour cela l'approche instrumentale (AI) développée par Rabardel (1995, 1999, 2005a et 2005b) apparaît comme pertinente. C'est d'ailleurs le choix qu'ont fait plusieurs chercheurs travaillant sur l'intégration des TICE dans l'enseignement comme Abboud-Blanchard et Lagrange (2007), Artigue (2002 et 2004), Beguin et Rabardel (2000), Guin et Trouche (2002), Lagrange (1999 et 2000), Trouche (2003 et 2004), en particulier pour l'analyse de l'intégration des Calculatrices Algébriques et Symboliques (CAS). Cette approche définit un instrument comme composé d'un artefact matériel et de schèmes d'utilisation qui lui sont associés. L'instrument n'est pas un donné mais se construit par un double processus, l'instrumentalisation au travers de laquelle l'individu s'approprie l'artefact en créant des usages par adaptation de schèmes existants et l'instrumentation, où l'utilisateur se confronte aux contraintes de l'artefact et construit ses schèmes instrumentaux. L'ensemble de ces deux processus est appelé genèse instrumentale. Elle est propre à chaque individu tout en intégrant une dimension sociale.

Je reprends ici la description, plus fine, de la DADE faite dans Emprin et Sabra (2019) :

Pour Robert (ibid), les pratiques enseignantes peuvent être vues comme la recomposition de cinq composantes :

– deux observables : les composantes cognitive (savoir en jeu) et médiative (les interactions et médiations) ;

– trois auxquelles on ne peut accéder qu'indirectement : sociale (influence des usages des pairs, de l'école, etc.), personnelle (ce que sont les mathématiques, l'enseignement pour la personne) et institutionnelle (poids des ressources institutionnelles).

La recomposition des cinq composantes est bien supérieure à la simple somme des parties, car analyser les pratiques ne se limite pas à juxtaposer des composantes, mais aussi à mettre en évidence les relations, les interactions, la logique interne qui les régit.

L'AI autorise une nouvelle lecture de l'ensemble des composantes des pratiques de la DADE. Les composantes cognitive et médiative sont modifiées par l'introduction d'un artefact numérique qui s'intercale entre le savoir et l'élève. L'exemple employé par Rabardel (1995) de l'usage du papier calque ou d'équerre/compas pour réaliser une tâche de symétrie axiale incite dans le premier cas à des stratégies de comptage de carreaux alors que dans le second cas ce sont les propriétés de perpendicularité et d'égale distance à la droite qui sont travaillées. Dans les composantes cachées, il est également possible d'identifier des indices des genèses instrumentales des enseignants qui peuvent être des facteurs explicatifs des choix qu'ils font.

Dans une situation de formation professionnelle, plusieurs niveaux de pratiques sont imbriqués, il faut donc enchâsser également les niveaux d'analyse des différentes composantes des pratiques et l'approche instrumentale. La Figure 1 (p. 9) illustre la façon dont la DADE combinée à l'AI donne accès aux pratiques d'enseignement. Je fais le choix déjà adopté par d'autres chercheurs de m'inscrire « *dans la Théorie de l'Activité, adaptée à étudier des sujets en situation, en distinguant tâches et activités, en nous centrant sur les apprentissages. Cela inclut, plus précisément, le schéma de double régulation de Leplat (1997). Il y a là un emprunt « global » orientant et pilotant nos recherches.* » (Abboud et al., 2017, p 3).

DADE et AI permettent d'accéder aux pratiques et aux genèses instrumentales des enseignants par des analyses d'observables (médiation, savoir donné à voir aux élèves, tâches prescrites...) ou l'accès indirect à des dimensions cachées (entretiens, autoconfrontation...)

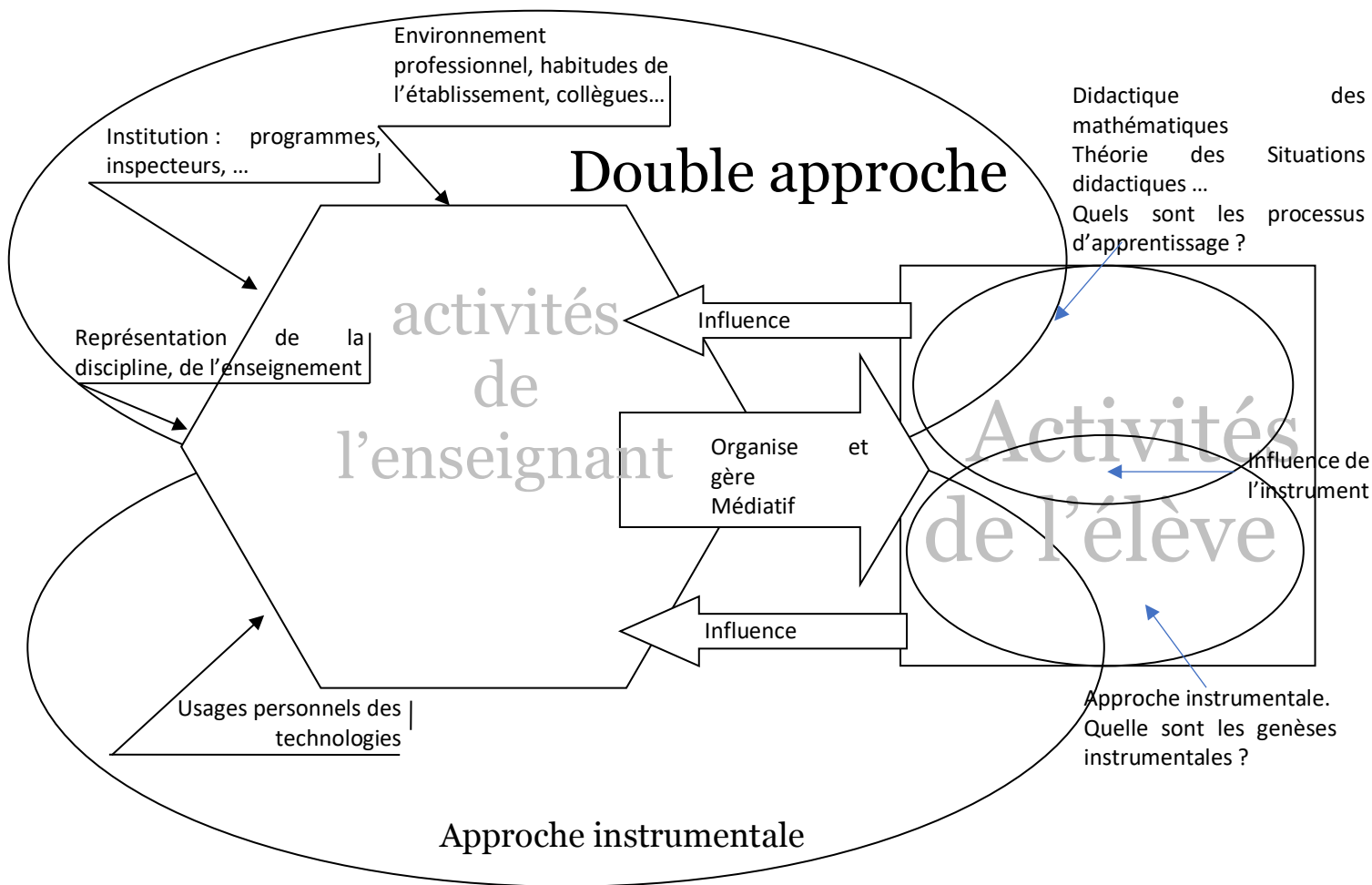


Figure 1 : schématisation de l'imbrication des différents niveaux d'analyse dans les pratiques de formation.

Combiner la DADE et l'AI pour lire les pratiques de formation comme des pratiques d'enseignement nécessite de spécifier les différentes composantes. Cette spécification dénature le cadre de la DADE ; dans Abboud et Emprin (2010, p 129) nous remarquons : « *En essayant de spécifier ce cadre théorique à la situation de formation, la composante cognitive nous semble particulièrement complexe à définir étant donné les différentes imbrications entre les pratiques de formation et celles d'enseignement souvent présentes explicitement ou implicitement dans la formation. Il n'est donc pas possible de recomposer les composantes des pratiques de formation, les lignes d'action, les contraintes et les marges de manœuvre, sans introduire des modifications majeures à cette approche lorsqu'elle est utilisée comme cadre d'analyse. Ainsi ce cadre global nous permet plutôt « une lecture des pratiques des formateurs en termes de double approche ».* C'est sur cette complexité des imbrications et leurs implications que j'ai centré mes travaux ultérieurs. La Figure 2 p. 11 illustre les différents niveaux d'utilisation de la DADE et de l'AI dans une situation de formation professionnelle. Pour la composante cognitive, les itinéraires cognitifs proposés par le formateur peuvent concerner des mathématiques, mais aussi leur enseignement. C'est un élément essentiel de mes recherches sur lequel je reviens en Partie 2 - page 74. Les composantes

sociale, institutionnelle et personnelle concernent non seulement les mathématiques, mais aussi la question de la formation, les plans de formation et les injonctions institutionnelles afférentes. Pour analyser la composante personnelle d'un formateur, il faut non seulement s'intéresser à sa vision des mathématiques, de leur enseignement, mais aussi à celle qu'il a des enseignants, de leurs connaissances des mathématiques et de leur enseignement ainsi que de la façon dont un enseignant apprend et se forme...

J'ai choisi de ne pas disjoindre les deux situations de formation professionnelle et d'enseignement pour ne pas exclure les dispositifs de formation se déroulant pendant la situation d'enseignement comme les visites de tutorat ou encore des dispositifs comme les « lesson studies » (Takahashi et Yoshida, 2004 ; Watanabe et Al., 2008 ; Clivaz, 2015a et 2015b), les jeux de rôle ou la simulation pour lesquels l'activité de l'enseignant au cours de la formation professionnelle inclut l'activité d'enseignement.

L'influence des situations de formation professionnelle sur les situations d'enseignement et, in fine les apprentissages des élèves, renvoie à la question de l'efficacité des dispositifs de formation professionnelle. La réciproque est de la même nature que l'influence des apprentissages des élèves sur les pratiques enseignantes, mais elle intervient à deux moments. En effet, le formateur est confronté à deux types d'activité de l'enseignant : l'activité en formation professionnelle et l'activité en classe. Beaucoup de dispositifs de formation font l'hypothèse qu'une modification de la première amène une modification de la seconde. Par exemple apprendre, en formation professionnelle, à faire des fiches de préparation permettrait à l'enseignant de préparer sa classe, d'être prêt à faire classe. Des dispositifs de formation professionnelle comme l'homologie, définis par Houdement et Kuzniak (1996), sont basés sur le fait de faire vivre en formation une situation d'apprentissage identique (ou transposée, mais utilisant les mêmes ressorts) à celle que l'on souhaiterait qu'ils mettent en œuvre avec leurs élèves. Ils sauraient ainsi la refaire dans leur classe et seraient convaincus de son intérêt. Or, Houdement et Kuzniak (ibid) ont mis en évidence les limites de ce type de dispositif et le manque d'effet réel sur les pratiques enseignantes.

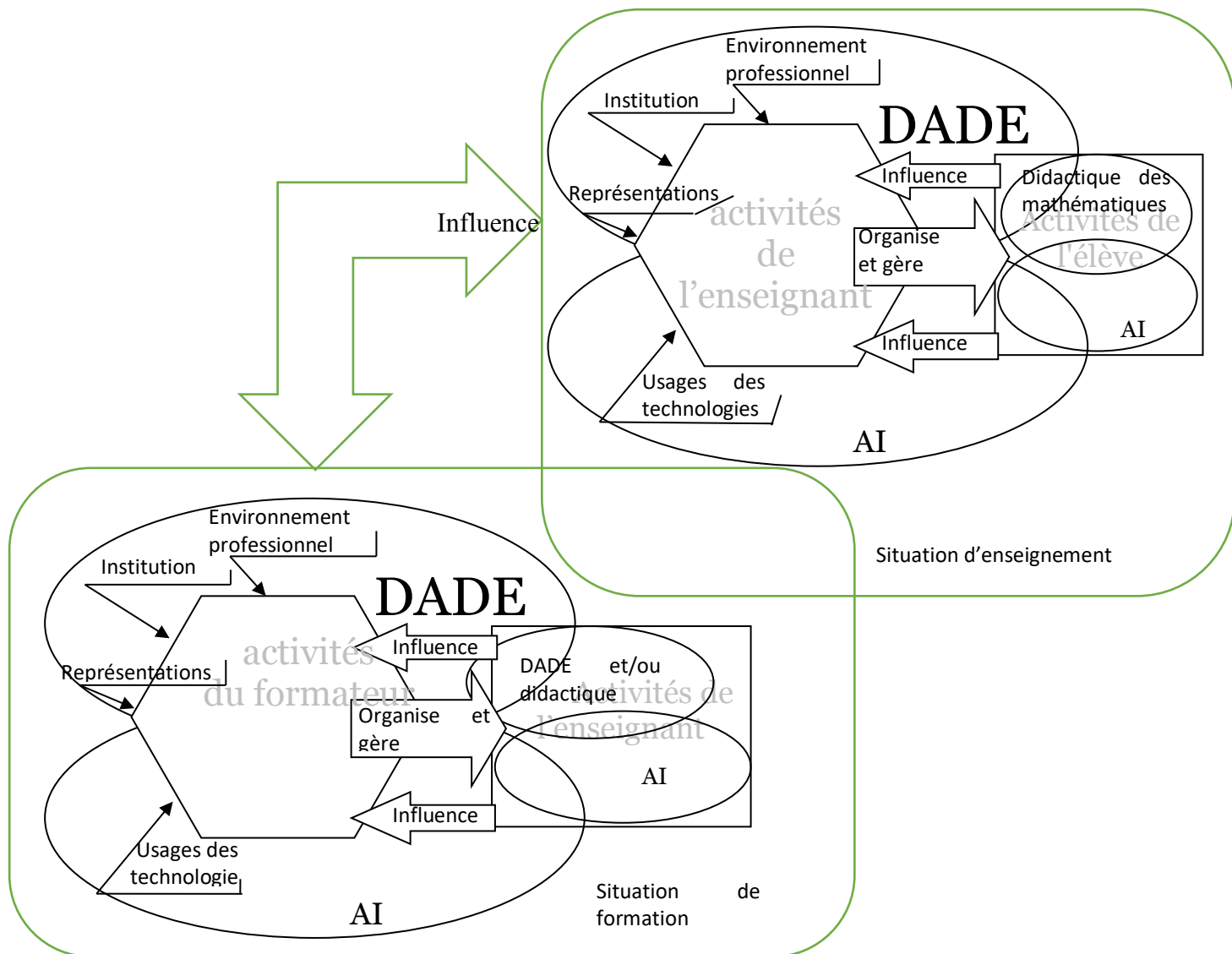


Figure 2 : schématisation des différents niveaux d'utilisation des cadres théoriques dans la situation de formation et la situation d'enseignement.

La fonctionnalité de ce cadre peut être illustrée par plusieurs éléments : il permet de comprendre et analyser les pratiques de formation professionnelle en mathématiques (Emprin, 2007 ; Abboud et Emprin, 2010), mais a également été utilisé dans des travaux de master recherche que j'ai dirigés avec d'autres contenus enseignés que les mathématiques (Vriet, 2018). L'utilité de cadre ne se limite ni à la formation des enseignants de mathématiques ni aux artefacts numériques.

Concernant les mathématiques et les technologies numériques, cet outil d'analyse donne accès aux pratiques de formation. Il met en évidence un genre professionnel (Clot et Faïta, 2000) caractérisé par des représentations communes sur la formation et sur l'enseignement dès lors que l'artefact est suffisamment courant. Pour le FE, la confrontation entre les EA et l'ordinateur est considérée comme formatrice intrinsèquement. Il donne une place importante

aux apports d'informations et de situations modèles qu'il a déjà mises en œuvre et laisse peu de place aux échanges entre EA. Le cadre conduit aussi à déterminer des facteurs explicatifs qui confirment les premiers résultats obtenus dix ans plus tôt par Abboud (1994) : une première catégorie de FE que j'avais appelée à la suite de Rhéaume et Laferrière (2002) les « mordus-talentueux », de par leur statut d'enseignant reconnu pour leurs pratiques par l'institution, mettent en œuvre des formations militantes et fortement personnalisées. Mais une deuxième catégorie de FE est apparue dans l'analyse les formateurs « optimistes-besogneux », moins experts en technologies ce qui les amène à chercher les situations où les technologies numériques apportent une réelle plus-value. Nous avons pu distinguer les deux catégories par leurs genèses instrumentales personnelles et professionnelles (Abboud-Blanchard et Lagrange, 2007). La catégorie considérée comme militante est caractérisée par des schèmes instrumentaux qui s'opèrent, contrairement à la deuxième catégorie, au-delà du cadre d'usage du métier, dans le cadre d'usage personnel.

Par ailleurs, les résultats des analyses montrent un fort usage de la démarche d'homologie (Houdement et Kuzniak, 1996) et un questionnement de peu de composantes des pratiques au sens de la DADE (Robert, 1999 et 2005), alors que les interventions des stagiaires révèlent ce besoin durant la formation. Cette démarche de formation entraîne une confusion entre les genèses instrumentales de l'enseignant concepteur de ressources, de l'enseignant dans sa classe et de celle d'élève ainsi qu'un décalage entre les attentes des enseignants et les potentialités des TICE présentées par le formateur (Ruthven et Hennessy, 2002) (Lagrange et Caliskan-Dedeoglu,, 2009).

Le travail de conception d'un cadre d'analyse ainsi réalisé a pu être expérimenté, mis à l'épreuve et approfondi dans les travaux de recherche que j'ai pu encadrer dans d'autres domaines d'enseignement. C'est le cas de Vriet (2018) qui analyse les pratiques de formateurs d'adultes dans l'usage d'un simulateur (un magasin fictif, simulé, mais non virtuel), intervenant dans les dispositifs des programmes régionaux de formation diplômants, auprès de publics demandeurs d'emploi. La méthode utilisée dans cette recherche de Master consiste à filmer les formateurs qui utilisent le simulateur en formation et à mener des entretiens d'auto confrontation sur la base de ces captations pour accéder aux composantes cachées des pratiques. Un résultat important de cette recherche réside dans les grilles de critères d'analyse produites pour analyser les composantes cognitive et médiative (Tableau 1) :

	Catégories	Sous-catégories	Traces issues des transcriptions	Nombres
Composantes Cognitives	Savoirs techniques	Savoirs réglementaires		
		Savoirs mathématiques		
		Savoirs de gestion commerciale		
	Connaissances techniques	Gestion des stocks		
		Marchandisation		
		Hygiène et sécurité		
	Savoirs langagiers	Vocabulaire technique		
	Feed back	Évaluation formative orale		
		Auto-évaluation		
Évaluation par les pairs				
Composantes Médiatives	Connaissances techniques	Dévolution		
		Organisationnelles		
	Monstration	Manipulation		
		Imitation		
	Questionnement	Questions ouvertes		
		Questions fermées		
		Questions rhétoriques		
		Questions d'adhésion		
		Effet miroir		
		Effet de loupe		
	Accompagnement	Individualisation		
		Encouragement		
		Répétition		
		Mise en garde		
	Enrôlement	Humour		
		Ironie		
		Légitimation		
		Acquiescement		
	Contrariété	Hésitation		
		Méconnaissance		
		Refus		
Face au silence				
Évaluation	Questionnement oral			
	Auto-évaluation			
	Évaluation par les pairs			

Tableau 1 : grilles de critères d'analyse pour les composantes médiatives et cognitives des pratiques dans la DADE

Ces critères ont été éprouvés sur les données recueillies et complétés par une analyse du discours produit lors des entretiens d'auto confrontation. Ils permettent de mettre en évidence des invariants et des variations entre les pratiques des deux formateurs, mais aussi entre leurs pratiques entre la salle de simulation et la salle de classe normale.

Ce cadre amène à une meilleure compréhension, notamment de l'importance des pratiques professionnelles antérieures des enseignants, mais aussi des cadres institutionnels

dans ce contexte de formation d'adultes. L'impact de l'introduction du simulateur dans les pratiques est également dépendant des pratiques du formateur :

« Nous avons observé que nos formateurs, aux parcours très hétérogènes, marquent leurs pratiques par une dimension personnelle très forte, mais différente. Pour l'un, son parcours et ses expériences passées sont mis en valeur et sont largement utilisés pour légitimer les savoirs transmis et sa façon de médier les savoirs, qui d'ailleurs ne diverge pas de ses pratiques habituelles dans l'usage du simulateur. Alors que pour l'autre, nous percevons fort bien, que le poids des années d'expérience sur le métier de formateur donne une autre caractérisation de la composante personnelle qui se révèle dans des certitudes sur la façon de médier auprès d'un public adulte et de faible niveau. [...] L'utilisation du simulateur transforme indiscutablement les pratiques d'un formateur avec une emprise, détectée à travers les traces écrites, dès la préparation de la séance de formation jusqu'à l'animation qui s'est vu devenir un véritable marathon dans l'individualisation et l'accompagnement des stagiaires. Alors que pour l'autre formateur, nous avons pu observer une adaptation plutôt légère et sans réelle transformation des pratiques. » (Vriet, 2018, p. 102-103)

L'analyse des pratiques enseignantes confronte le chercheur à l'analyse du discours, parfois de grandes quantités de discours. Dans ma thèse qui s'appuie sur une méthode d'analyse qualitative, j'ai transcrit les paroles des formateurs et des stagiaires durant 5 formations ce qui m'a donné un corpus de 79 298 mots. Par comparaison, les études dites quantitatives, qui utilisent des traitements statistiques, comme un sondage d'opinion sur un échantillon de départ de 1010 personnes (727 ayant accepté de répondre à la question ouverte) (Labbé & Labbé, 2012, p. 5) dénombrent entre 86 et 108 mots par répondant à ce type de question et obtiennent un corpus de 78 813 mots. La confrontation à cette grande quantité de données textuelles amène à s'interroger sur la possibilité d'utiliser des outils statistiques pour traiter ou au moins prétraiter ces corpus. C'est pourquoi j'ai développé une partie de mes recherches vers ce domaine.

1. 1. 2. La place du discours dans l'analyse des pratiques

Dans Emprin (2018a), j'ai cherché à savoir comment étaient analysées les données textuelles dans les recherches en didactique des mathématiques. En me basant sur le classement des revues établi par the European Society for Research in Mathematics Education (Toerner & Arzarello, 2012, p. 52-53), j'ai consulté les articles publiés dans les sept revues de catégorie A* et A. Une recherche par les mots clefs « textual analysis » extrait quarante-sept articles. La consultation des résumés et des bibliographies fait apparaître que les textes y sont traités par

des analyses de contenus, des classifications basées sur des analyses grammaticales, syntaxiques, sémiotiques, pédagogiques, sociologiques, psychanalytiques, des tâches mathématiques ou des mathématiques enseignées. Toutes ces méthodes sont basées sur la lecture et la catégorisation par un chercheur ce qui les rend très coûteuses quand le corpus de données est très grand.

En tant que chercheur en didactique, je suis confronté à ces types de corpus dans le projet Canopé-Cnesco-CEREP (CCC). L'équipe pluridisciplinaire dont je fais partie a utilisé des systèmes d'analyse et de classification du corpus basés sur des lectures successives (Mieusset, Promonet, Emprin et Pillipot, 2019). L'enjeu de ce projet est de comprendre et de caractériser le processus de développement professionnel (Marcel, 2009 ; Wittorski, 2008 ; Jorro, 2014) d'enseignants dans un dispositif d'accompagnement pluriel sur deux ans et demi, mettant en jeu différentes formes de verbalisations vécues. Ce travail s'appuie sur une recherche qualitative menée par une équipe de chercheurs du CEREP commandée par réseau Canopé Grand Est. Dans un contexte d'articulation entre pratique et recherche, notre travail vise notamment à identifier les leviers de réussite d'une telle démarche en formation d'enseignants. Nous disposons de plusieurs types de verbalisations tant dans la nature (écrite et orale : rédaction d'un projet de participation aux travaux, enregistrements de sessions de travail collectif, entretiens d'auto-confrontation simple pour chaque enseignant...), que dans les conditions relationnelles de productions individuelles et collectives. Ces verbalisations sont adressées à des destinataires différents et situées chacune dans la temporalité du dispositif. Nous les considérons comme des traces langagières qui présentent une dimension discursive plurielle, au sens du dialogisme (Bakhtine, 1979). En conduisant les enseignants à produire un discours sur leur activité, le dispositif ouvre des possibles, autorise de nouvelles façons de penser et d'agir (Clot, 2001a). Les biais d'interprétation des textes liés aux lecteurs, ici des chercheurs de trois domaines différents : les sciences de l'éducation, la linguistique et la didactique des mathématiques peuvent être réduits par un codage en double aveugle, mais il rend le travail d'analyse encore plus coûteux.

Pour résoudre ces difficultés, le recours à des méthodes statistiques est possible comme illustré ici dans le champ de l'analyse en management stratégique :

« L'Analyse de Données Textuelles (A.D.T.) regroupe les méthodes qui visent à découvrir l'information « essentielle » contenue dans un texte et le foisonnement de nouveaux outils auquel on peut assister aujourd'hui et est à la conjonction de deux demandes différentes :

- d'une part une demande des entreprises, qui peuvent aujourd'hui collecter très facilement une grande quantité de textes avec Internet (articles, brevets, dépêches, rapports,

études, mais aussi e-mails, messages de forums, enquêtes clients, fiches de centres d'appel, descriptifs de produits...). [...]

- et d'autre part une demande des chercheurs, qui ont besoin d'une alternative, soit à de traditionnelles analyses de contenu jugées trop subjectives, soit à de simples analyses par mots-clés jugées trop pauvres (Bournois et al., 2002). » (Fallery & Rodhain, 2007, p. 2)

Ce type d'analyse existe également dans les champs de la politique ou la littérature. Mayaffre (2005) en fait le constat : « Depuis sa constitution à la fin des années 1960, la lexicométrie politique a connu en France une heure de gloire pour aujourd'hui s'essouffler. [...]. Dans le même temps, notons que le développement d'une lexicométrie littéraire, dont on date les premiers balbutiements dès l'après-guerre avec les travaux de Busa (voir l'historique dans Busa, 1998) puis de Guiraud (Guiraud, 1954), a connu le même désenchantement [...] » (Mayaffre, 2005, p1).

J'ai souhaité confirmer que ce type de méthodes était peu utilisé en didactique et dans le domaine des recherches en éducation en général par une recherche dans la base de données ERIC (Education Resources Information Center (<https://eric.ed.gov>)).

- Les mots clés « analyse » « données » « textuelles » renvoient quatre réponses dans le champ de la littérature et de la linguistique ;
- « textual data analysis » renvoie cinq réponses dont deux sont en relation avec des problématiques d'éducation comme l'analyse de la production écrite d'étudiants du point de vue de la cohérence argumentative ou l'analyse des discours des entraîneurs pour comprendre les compétences nécessaires pour réussir dans le milieu professionnel de l'entraînement sportif ;
- « lexicométrie » en anglais et en français donne trois résultats, dont un en relation avec l'éducation portant sur l'enseignement de traduction et utilisant la lexicométrie pour l'analyse les caractéristiques des langues pour enseigner la traduction ;
- « text mining » fournit 196 résultats dont seulement 14 sont classés dans les recherches en éducation. Elles portent sur l'usage du « texte mining » pour réaliser des méta analyses des textes de recherche (journaux, colloques...) (11 articles), aider à l'évaluation des productions écrites des élèves (1), l'analyse des données textuelles professionnelles pour mieux préparer les étudiants (1) et l'utilisation des logiciels d'analyse de données textuelles pour améliorer la recherche documentaire (1)

Ces éléments m'amènent à questionner la place des outils statistiques d'analyse de données textuelles dans les recherches en didactique, notamment pour analyser des corpus inaccessibles en raison de leur taille et fiabiliser les analyses par lecture.

Mon choix s'est porté sur la détermination de mondes lexicaux au moyen de l'analyse statistique des cooccurrences Reinert (1986, 1993, 2007 et 2008) elle-même basée sur l'approche fréquentiste ou l'analyse géométrique de données (Benzécri, 1973 ; Benzécri & Benzécri, 1984). Cette méthode est implémentée à l'origine dans le logiciel ALCESTE¹ (Analyse des Lexèmes Cooccurents dans les Énoncés Simplifiés d'un Texte), mais également dans le logiciel IRaMuTeQ² (Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires) (Ratinaud et Marchand, 2012). Ce dernier est libre, multilingue et possède des versions pour les trois grands types de systèmes d'exploitation (Windows®, Mac OS® et Linux).

La méthode ALCESTE est basée sur l'idée que « pour pouvoir énoncer, le sujet énonçant doit se représenter ce qu'il va dire dans un certain espace mental (qui lui sert de "référence"). Le choix de cet espace référentiel, de ce "lieu" - qui ne dépend pas forcément d'une opération consciente - implique le choix d'un type d'objet : il implique, par là même, un type de vocabulaire. En conséquence, l'étude statistique de la distribution du vocabulaire dans les différents énoncés d'un corpus doit permettre une discrimination de ce vocabulaire révélatrice des différents choix référentiels effectués par l'énonciateur. » (Reinert, 1993, p. 2)

Le chercheur obtient à l'issue du traitement une classification du discours en fonction des choix de l'énonciateur définis en termes de « mondes lexicaux ». En fonction du corpus, qu'il provienne d'un ou de plusieurs locuteurs, le chercheur peut indexer les parties du corpus par des paramètres qui ne seront pas inclus dans les mondes lexicaux, mais qui pourront néanmoins leur être attribués. Par exemple, dans Baillat, Emprin et Ramel (2016, 2017) nous avons analysé les discours de l'état de l'Union des présidents Bush et Obama avec deux collègues de Science Po. Chaque discours était donc repéré par le nom du président qui l'avait prononcé et l'année. L'analyse via IRaMuTeQ met en évidence en premier lieu deux mondes lexicaux distincts qu'il attribue à chacun des présidents (Annexe 1 : Phylogram of the corpus of speeches by George W. Bush and Barack Obama). Il a été également possible de repérer des inflexions de discours

¹ CNRS-PRINTEMPS

² Développé au sein du Laboratoire d'Études et de Recherches Appliquées en Sciences Sociales de l'Université de Toulouse 3 – Paul Sabatier (LERASS) au sein de l'équipe REPERE (Représentations et Engagements Professionnels, leurs Evolutions : Recherches et Expertises) du CREFI-T (Centre de Recherche en Éducation, Formation et Insertion de Toulouse)

au sein de chacun des grands corpus en fonction des années. L'intérêt du travail lexicométrique était de le croiser avec d'autres méthodes d'analyse de discours issus des sciences politiques.

Dans le domaine de l'analyse des pratiques de formation professionnelle, nous (Connan et Emprin, 2011) avons analysé l'évolution des pratiques de formation induite par l'introduction d'un artefact numérique : le portfolio numérique de l'IUFM nommé Carnet de Bord Informatisé (CBI). Dans ce travail comme dans le précédent, nous avons croisé plusieurs méthodologies : lexicométrie sur l'intégralité des échanges formateurs — étudiants (anonymés) présents sur le CBI et analyse de questionnaires issus de l'observatoire des formations de l'IUFM (structure pilotant l'évaluation des formations par les étudiants à l'époque de l'IUFM).

En synthèse de cette partie et des différents travaux que j'ai menés ou auxquels j'ai contribué, j'identifie trois grandes utilisations de cet outil lexicométrique :

- émettre des hypothèses *a priori* sur un corpus avant un traitement manuel ;
- analyser de grandes quantités de texte inaccessibles sans ces outils ;
- tester des hypothèses issues d'un traitement issu d'une lecture humaine.

Dans ces trois cas, le croisement des méthodologies me semble indispensable en raison des limites du traitement informatique. Ces limites sont au nombre de deux :

- Les fondements propres à la méthode Reinert (1987, 1993) : le découpage d'un texte ou d'un énoncé en segment de textes (Jenny, 1999) et l'idée de stabilité de classe obtenue par une double classification ascendante et descendante.

« Il [Reinert] considère un corpus comme une suite d'énoncés élémentaires produits par un sujet-énonciateur. [...] Cette orientation théorique a des conséquences sur tout le déroulement de l'analyse. Commençons par les unités textuelles. Reinert cherche à identifier la notion d'énoncé : un point de vue sur le monde qui porte la trace d'un sujet. Mais comment définir de façon automatique la notion d'énoncé alors qu'elle ne coïncide pas forcément avec la notion de phrase et qu'aucun signe de ponctuation ne permet clairement de l'identifier ? Comme il n'y a pas de solution satisfaisante à ce problème, Reinert propose une heuristique : deux découpages possibles du corpus en unités textuelles en faisant varier la longueur des unités. » (Beaudoin, 2016, p31)

« C'est là qu'intervient à nouveau l'heuristique proposée par Reinert : sur chacun des tableaux constitués, le logiciel fera une classification descendante hiérarchique, puis, il comparera les deux analyses réalisées et conservera les classes de la typologie qui sont les plus stables dans les deux analyses. Cela permet en plus d'avoir une procédure pour optimiser le nombre de classes terminales. » (Beaudoin, 2016, p32)

- La perte de données inhérente à la méthode : la projection d'un espace à n dimensions (avec n axes factoriels) sur deux dimensions.

Mes recherches sur ces questions m'ouvrent l'accès à des corpus qui n'étaient précédemment pas accessibles. La numérisation des échanges, l'usage des plateformes de cours, les réseaux sociaux génèrent des quantités de données importantes que le traitement informatique peut aider à traiter.

Les résultats des analyses sur les pratiques de formation professionnelle, réalisés avec ou sans l'aide de la lexicométrie, m'ont conduit à développer des scénarios de formation professionnelle. Pour les analyser, j'ai à nouveau spécifié une démarche de recherche à la situation de formation : l'ingénierie didactique.

1. 1. 3. Les ingénieries didactiques pour la formation professionnelle

Un second résultat de mes travaux d'analyse des pratiques de formation professionnelle (Emprin, 2007 ; Abboud et Emprin, 2010) est l'identification de facteurs explicatifs du déficit qualitatif de ces formations. Les travaux sur les pratiques de formation des enseignants en didactique des mathématiques (Vergne, 2001) et ceux avec les technologies numériques (Abboud-Blanchard, 1994, 1998 ; Abboud-Blanchard et Emprin, 2010) mettent en évidence plusieurs limites. Abboud Blanchard (1994), à propos du plan IPT (Informatique Pour Tous), montre une posture militante des formateurs. Cela a été à nouveau repéré par Abboud-Blanchard & Emprin (2010) au début des années 2000. Nous montrons de plus que, pour le formateur, la confrontation entre les stagiaires et l'ordinateur est considérée comme formatrice intrinsèquement, mais aussi qu'il y a une place importante réservée aux apports d'informations, de situations modèles du formateur et peu d'échanges entre stagiaires. De plus, les modèles de formation proposés en particulier l'homologie au sens de Houdement et Kuzniak (1996) introduisent des confusions notamment entre les genèses instrumentales (Rabardel, 1995) des élèves et du formateur. Cette organisation des séances de formation entraîne une confusion entre les genèses instrumentales (Rabardel, 1995) de l'enseignant concepteur de ressources, de l'enseignant dans sa classe et de celles de l'élève ainsi qu'un décalage entre les attentes des enseignants et les potentialités des TICE présentées par le formateur (Ruthven & Hennessy, 2002 ; Lagrange & Caliskan-Dedeoglu, 2009). Par ailleurs, très peu de composantes des pratiques au sens de la DADE (Robert, 1999, 2003, 2005) sont questionnées, alors que les interventions des stagiaires révèlent ce besoin durant la formation.

Le faible l'impact de ces formations sur l'ensemble des composantes des pratiques est corrélé avec leur déficit qualitatif. L'hypothèse qu'il faut alors vérifier est qu'en construisant des dispositifs qui permettent de questionner les différentes dimensions des pratiques on puisse améliorer la formation. À partir de ces travaux et en m'appuyant sur les analyses de Robert (2005), Chappet-Pariès et Robert (2011), Rogalski et Robert (2015) j'ai donc conçu des dispositifs de formation correspondant à ces critères.

Dans la suite de mon travail, je m'appuie sur une méthode³ de recherche qui vérifie des hypothèses *a priori* par un processus de validation interne : l'ingénierie didactique. Artigue (2002a et 2002b) définit ce concept de la façon suivante :

« Comme méthodologie de recherche, l'ingénierie didactique se différencie d'abord des méthodes expérimentales alors usuelles en éducation par son mode de validation. Ce mode de validation est en effet interne et basé sur la confrontation entre une analyse à priori dans laquelle sont engagées un certain nombre d'hypothèses et une analyse à posteriori qui s'appuie sur les données issues de la réalisation effective. »

Artigue (Ibid) rapproche également les ambitions de la théorie des situations didactiques (TSD) (Brousseau, 1987 et 1998) avec celles des ingénieries didactiques. Pour la TSD :

« – La recherche de classes de problèmes pour lesquelles la connaissance mathématique visée apparaît comme un moyen optimal de résolution, cette recherche étant le plus souvent soutenue par une analyse épistémologique approfondie

- la construction, à partir de telles classes, de situations ou plus généralement de familles structurées de situations qui visent, par le jeu des interactions possibles des élèves avec le milieu, à faire apparaître les connaissances visées comme moyens optimaux de résolution, dans un fonctionnement essentiellement a-didactique, au niveau du groupe classe,

- l'organisation du travail de l'enseignant, tant au niveau de la dévolution des situations que des processus d'institutionnalisation, de manière à ce que le sens mathématique du travail mené soit clairement perçu et que les connaissances construites dans un contexte particulier soient reliées aux savoirs mathématiques institutionnels, tant dans leurs contenus que dans leurs formes d'expression. »

³ J'emploierai, dans la suite de ce document le terme « méthode » pour parler de la démarches expérimentale utilisée, le chemin suivi ou à suivre (littéralement), et je réserverai le terme « méthodologie » au discours sur la méthode, l'analyse et la discussion du chemin (littéralement également) (Stryckman, 1996).

La définition de l'ingénierie didactique la positionne bien comme une méthodologie de recherche et de production de connaissances et non pas une méthodologie de production de dispositifs rentables.

Là encore, comme au paragraphe 1. 1. 1. Il est nécessaire de spécifier cette méthode de recherche, développée dans le contexte des apprentissages des élèves, à celui de la formation des enseignants, mais aussi de la différencier du concept d'ingénierie de formation (Le boterf, 1999). Ma modélisation des pratiques que je propose fait apparaître un nouveau triangle FE — EA – savoirs de formation. L'enjeu est donc d'émettre des hypothèses sur les processus d'enseignement apprentissage à l'œuvre dans le triangle FE-EA-Savoir de formation et de les vérifier par la confrontation à une analyse sur les effets réels.

L'hypothèse principale à tester porte sur l'introduction d'une composante de réflexivité (Schön, 1994) via l'analyse de vidéo de séance de classe pour permettre d'aborder les pratiques enseignantes en formation.

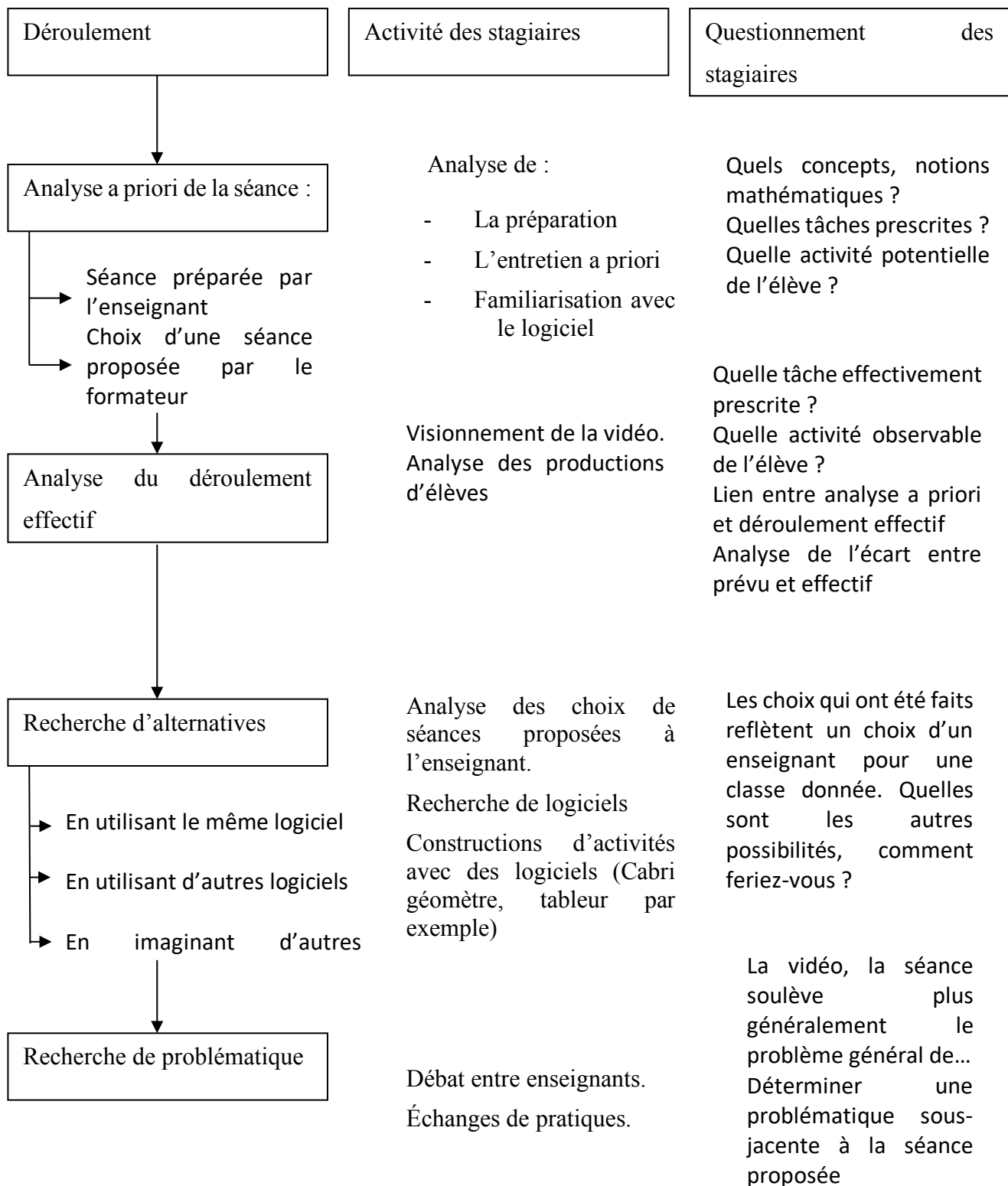


Figure 3 : scénario de formation incluant l'analyse de la vidéo (Emprin, 2007)

En utilisant l'ingénierie didactique (Figure 4 p. 23) sur les dispositifs de formation professionnelle, il est alors possible de valider des hypothèses théoriques sur les processus de formation professionnelle.

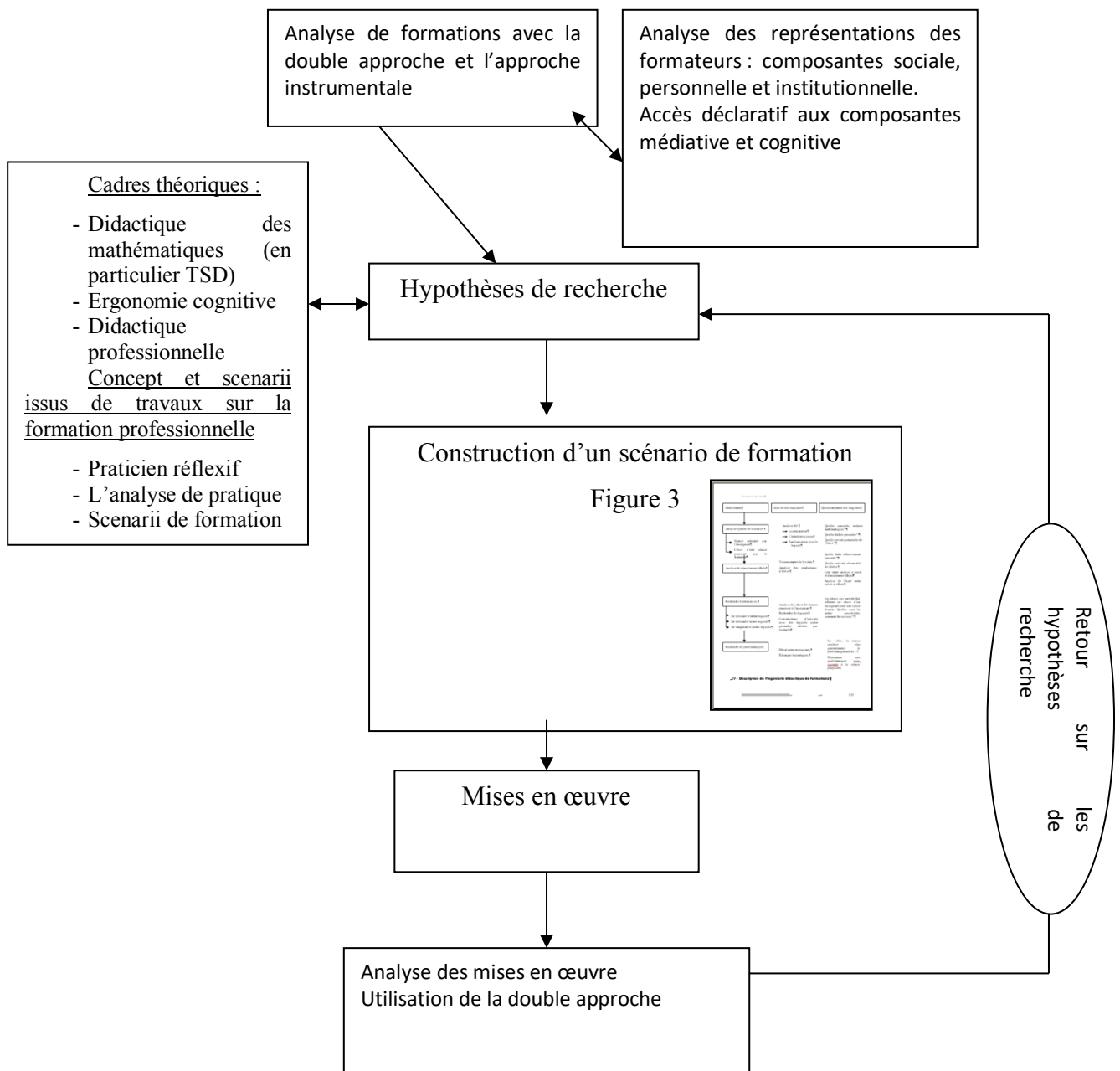


Figure 4 : L'ingénierie didactique de formation (Emprin, 2007)

Ces résultats sont d'abord la validation de l'hypothèse d'introduction d'une composante réflexive sur les pratiques. Ils montrent, ensuite, que la confrontation à des vidéos de classe entraîne bien un travail sur plusieurs dimensions des pratiques. Toutefois, cette expérience est limitée : il faut beaucoup de temps pour explorer une vidéo et beaucoup de vidéos pour aborder des aspects différents. De plus, la confrontation avec les dimensions médiative et cognitive est indirecte, car elles passent par le prisme de l'enseignant filmé qui a fait des choix fixés

définitivement. Il n'est plus possible de revenir en arrière pour faire d'autres choix avec les mêmes élèves. En reprenant la même classe, les élèves ayant déjà été confrontés à une expérience ont des réactions faussées ; en prenant une autre classe, les conditions sont différentes de la première expérimentation. Ces constats m'amènent à envisager d'autres artefacts pour apporter une composante réflexive : les simulateurs. C'est l'objet de la partie 1.2.

J'ai pu utiliser la méthode de l'ingénierie didactique dans des recherches ultérieures dans le cadre d'un projet piloté par Bernard Riera (Responsable du projet) dans le domaine de l'automatique - CRESTIC (Centre de Recherche en STIC, de l'URCA) et avec Céline Brunot-Gohin en odontologie - BIOS (Laboratory BIOS Biomateriaux et inflammation des sites osseux de l'URCA) et exporter cette méthodologie de recherche à des dispositifs de formation

Dans le cadre de l'automatique et plus spécifiquement la domotique, l'enjeu était de concevoir un dispositif de formation professionnelle permettant de comprendre les freins à l'usage d'un simulateur informatique de maison à domotiser (Projet DOMUS – logiciel Home I/O⁴). La méthode de recherche utilisée a été une ingénierie didactique de formation sur le logiciel HOME I/O encore en phase de finalisation. Les hypothèses *a priori* concernaient les usages du logiciel que les enseignants pourraient construire dans la formation, les différents types de genèses instrumentales possibles autour de cet artefact. Un retour sur les hypothèses de départ (Emprin et Riera, 2014 ; Riera et Al., 2016 ; Philippot et al., 2017) a donné des informations sur les pratiques d'enseignement des professeurs de technologie et a permis ainsi de déterminer les leviers de formation professionnelle potentiels à l'usage de cet artefact. Nous avons déjà trois grands types d'instruments construits par les enseignants de technologie : un instrument dont les schèmes d'usages se centrent sur la résolution de problèmes au sein de l'espace virtuel, un autre pour lequel ils articulent réel et virtuel et un troisième où ils permettent de construire une expérience de concepts fondamentaux comme l'énergie, le confort... Dans notre analyse *a priori* seul le premier type d'instrument était envisagé et la découverte, lors de la formation, des deux autres a conduit à des évolutions de l'artefact pour le rendre plus compatible avec ces usages et concevoir des nouveaux dispositifs de formation (Emprin et al., 2013).

Dans le domaine de l'odontologie (Brunot-Gohin et Emprin, 2012 ; Emprin et Brunot-Gohin, accepté), le travail porte sur l'analyse d'un dispositif de formation professionnelle hybride pour la L2 d'odontologie et concerne la prothèse fixée. La méthode de l'ingénierie

⁴ <https://teachathomeio.com>

didactique s'appuie sur l'émission d'hypothèses sur les processus d'apprentissage durant la formation sur la plateforme et la façon dont elle est instrumentée et instrumentalisée. L'analyse des réponses des apprenants et de leurs comportements sur la plateforme, mais aussi dans les TD présentiels, puisque c'est une formation hybride, est en cours de même qu'un travail sur la conception d'un simulateur d'interaction patient-praticien.

Ces deux dispositifs de formation hybride utilisant la simulation montrent que les limitations liées à l'analyse de pratiques vidéo en formation professionnelle pourraient être dépassées avec les possibilités offertes par les outils technologiques que sont les simulateurs d'interactions humaines. C'est l'axe de recherche que j'ai développé depuis 2011 (Emprin, 2011) et qui est décrit dans la Partie 2 - page 74, mais avant je présente un croisement des résultats de mes recherches avec d'autres travaux sur les pratiques de formation.

1. 2. Les simulateurs informatiques dans la formation professionnelle des enseignants

En 2006, j'ai pu assister à une communication de Morge (2006, 2008) sur la simulation d'interaction verbale. Le simulateur qui avait été conçu était un artefact de la situation de formation et il y remplaçait d'autres supports qui permettaient de discuter la pratique enseignante comme les transcriptions, les vidéos de classe... À l'issue de ma thèse, j'ai émis l'hypothèse que la simulation pourrait remplacer la confrontation à la vidéo tout en permettant de dépasser certaines limitations (voir paragraphe 1. 1. 3.). J'ai alors programmé et expérimenté un premier Simulateur Informatique de Classe — SIC (Emprin, 2011). La conclusion de ce premier protocole a été la vérification de l'acceptabilité de ce type d'artefact par les enseignants ainsi qu'une première validation du dispositif présenté au paragraphe 1. 2. 1. p. 26. À partir de 2014 s'est constituée, autour du simulateur, une équipe de chercheurs du laboratoire CEREP (Centre d'Études et de Recherches sur les Emplois et les Professionnalisations – URCA). Le Simulateur informatique de classe est alors devenu un projet collectif avec des collègues de didactique des mathématiques, des sciences, de psychologie et de sociologie. Dans le cadre d'un projet Incitatif Amont porté par Hussein Sabra, la région Champagne Ardenne a financé le développement de l'artefact ainsi que la réalisation d'une preuve de concept (Sabra et al., 2014 ; Emprin et Sabra, 2015 et 2019 ; Emprin, 2018b et 2018c). Un dépôt d'invention à la Société Accélétratrice de Transferts de Technologies – SATT Nord pour le SIC⁵ et des nouveaux

⁵ Renouvelé en octobre 2019

développements grâce au logiciel auteur VTS (Virtual Training Software) de la société serious factory m'ont conduit à développer de nouveaux artefacts, notamment un Simulateur d'Analyse de Pratique (SAP), diffusés à l'échelle nationale via la plateforme de formation de l'éducation nationale M@gister et d'envisager de nouvelles collaborations au sein et à l'extérieur de mon laboratoire notamment avec Edith Petitfour autour de l'enseignement de la géométrie auprès d'élèves dyspraxiques (Petitfour, 2015). Le premier paragraphe de ce chapitre positionne la question de la simulation en formation professionnelle, puis plus spécifiquement dans les formations enseignantes. Le dernier paragraphe présente les travaux développés et en cours.

1. 2. 1. SIC – Simulateur informatique de classe

Après mon travail doctoral, j'ai recueilli de nouvelles données dans le cadre d'une recherche IREM (recherche-action : conception d'un simulateur informatique de classe 2008-2010). À partir d'une même situation d'enseignement en mathématiques (Figure 5 : problème des deux segments : conjecturer et prouver pour comparer les longueurs de deux segments (DGESCO, 2007, p7)) relativement connue que j'analyse dans le paragraphe p. 32, j'ai récolté les choix de différents enseignants, mais aussi les analyses des enseignants en formation à propos des vidéos de ces classes.

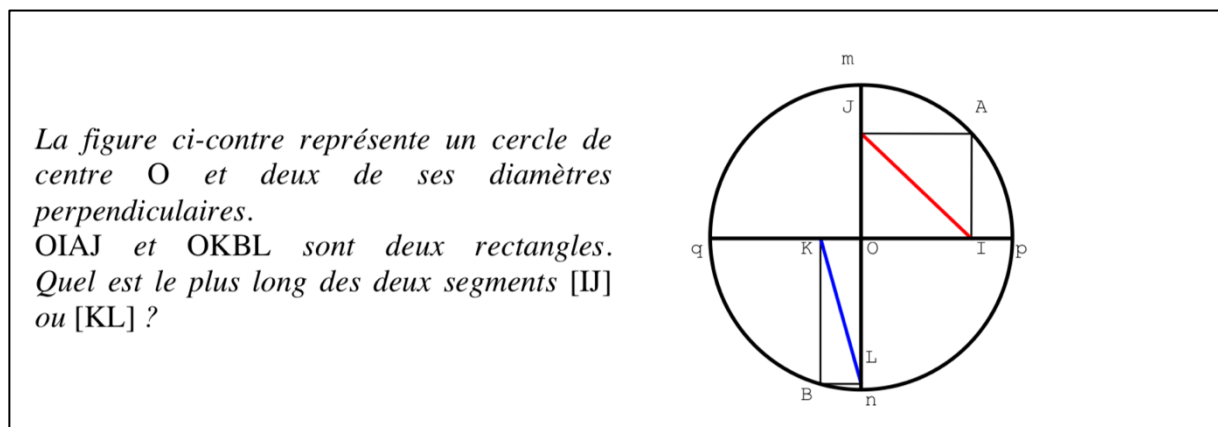


Figure 5 : problème des deux segments : conjecturer et prouver pour comparer les longueurs de deux segments (DGESCO, 2007, p7)

La situation centrale dans ce travail porte sur une première approche de la preuve et de la démonstration. En ce qui concerne le processus de preuve, je m'appuie sur les travaux d'Arsac (1987 et 1989) et de Richard (2004a et 2004b) qui soulignent que le passage de la phase de conjecture à la phase de démonstration est complexe et sur la distinction entre preuve

pragmatique et preuve intellectuelle (Balacheff, 1997). Une analyse de la situation du point de vue didactique est proposée au paragraphe 1. 3. 1. p.56

A partir de ces données, l'idée issue notamment du travail de Morge (2006) est de concevoir un premier artefact permettant de remplacer la diffusion d'une vidéo pour confronter les enseignants à la pratique de classe. Il était alors nécessaire de simuler des réactions d'élèves virtuels aux choix d'organisation de la classe et des apprentissages de l'utilisateur (un EA). Le simulateur doit donc permettre aux enseignants en formation de questionner cet apprentissage, de confronter leurs conceptions...

Les données recueillies m'ont permis de programmer de façon empirique c'est-à-dire sur la base des observations de classe, en JavaScript, un premier simulateur informatique de classe. Ce langage, embarqué dans des pages web à l'intérêt d'être utilisable, quel que soit le système d'exploitation de l'utilisateur puisque ce sont les navigateurs qui l'interprètent et de ne nécessiter que peu de ressources matérielles (une analyse des aspects informatique est proposée au paragraphe 1. 3. 3. p. 66. Les premières expérimentations en formation d'enseignants stagiaires du second degré et en formation continue du premier degré (EMPRIN, 2011) ont eu pour conclusion l'acceptabilité de l'artefact. Il a ensuite été reprogrammé en php, dans le cadre d'un projet incitatif Amont – La Délégation Régionale à la Recherche et à la Technologie (DRRT) — Champagne Ardenne (Sabra et al. 2014) (Emprin et Sabra, 2015). Ce projet : SIC- Simulation Informatique de Classe déposé par Hussein Sabra a fédéré une équipe autour du simulateur au sein du CEREP. Cette nouvelle version conserve dans une base de données les actions de l'utilisateur (avec son accord) et gère les accès. Elle collecte également des choix d'utilisateurs et de les mettre en relation avec les données sociologiques des utilisateurs. Du point de vue des interactions, les deux versions de SIC fonctionnent de la même façon :

À droite (Figure 6) les choix de l'utilisateur extraits de ceux qui ont été faits par les enseignants observés, à gauche l'enseignant voit l'effet immédiat de ses choix sur l'activité de l'élève, ce qui s'affiche à l'écran des ordinateurs ainsi que sur le niveau d'agitation des élèves qui apparaît sous forme de vumètre en dessous de chaque binôme (Figure 7). Ces effets sont issus majoritairement des observations de classe. En haut s'affiche la durée de la séance simulée.

SIC - Simulateur informatique de Classe

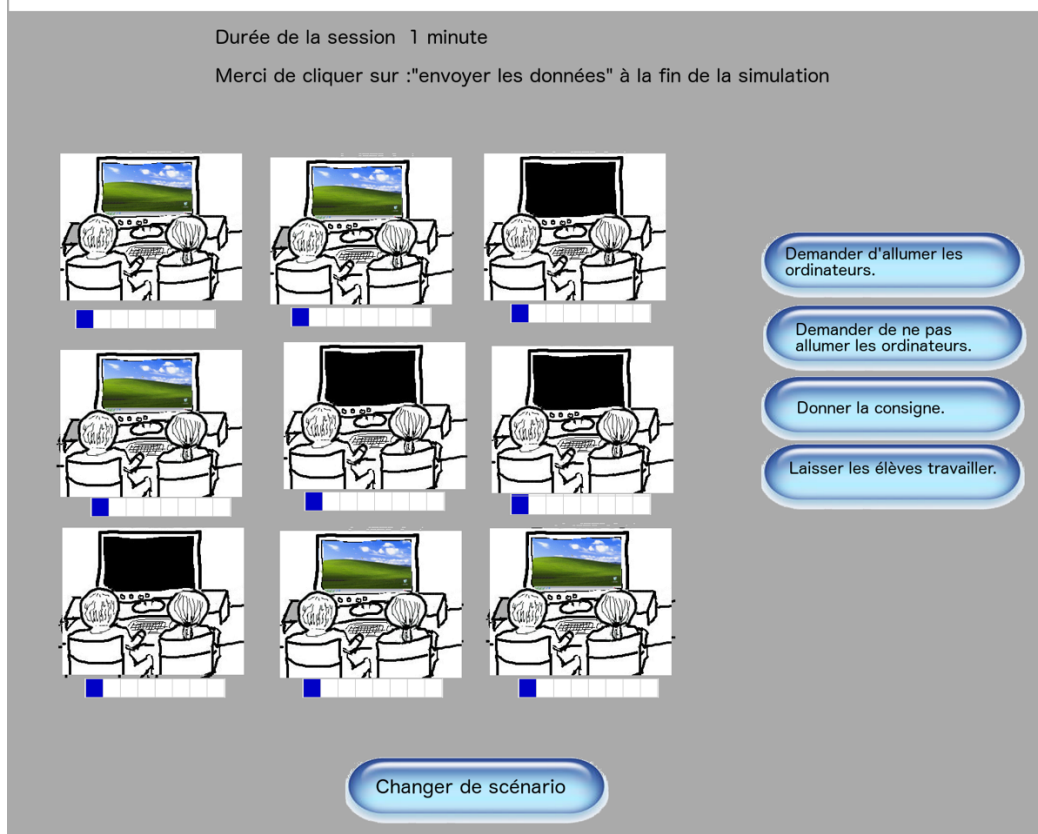


Figure 6 : interface du logiciel SIC : <https://fabien-emprin.pagesperso-orange.fr/SIC/>

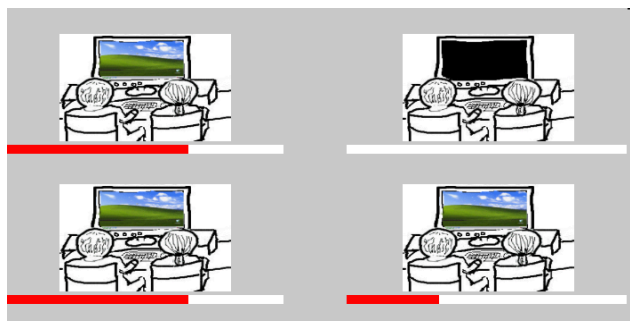


Figure 7 : Barre d'agitation — les barres rouges indiquent le niveau d'agitation des élèves.

En observant les séances de classe, j'ai repéré deux types d'interactions professeur \leftrightarrow élèves. C'est ce que j'ai programmé dans le logiciel : l'utilisateur peut interagir avec la classe entière comme sur l'illustration précédente ou avec un binôme d'élèves qu'il choisit :

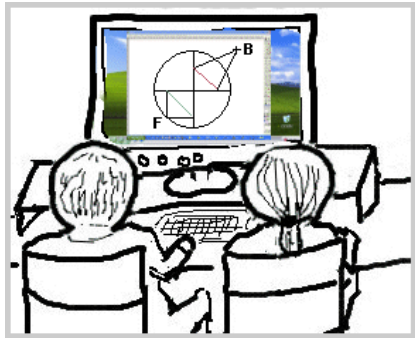
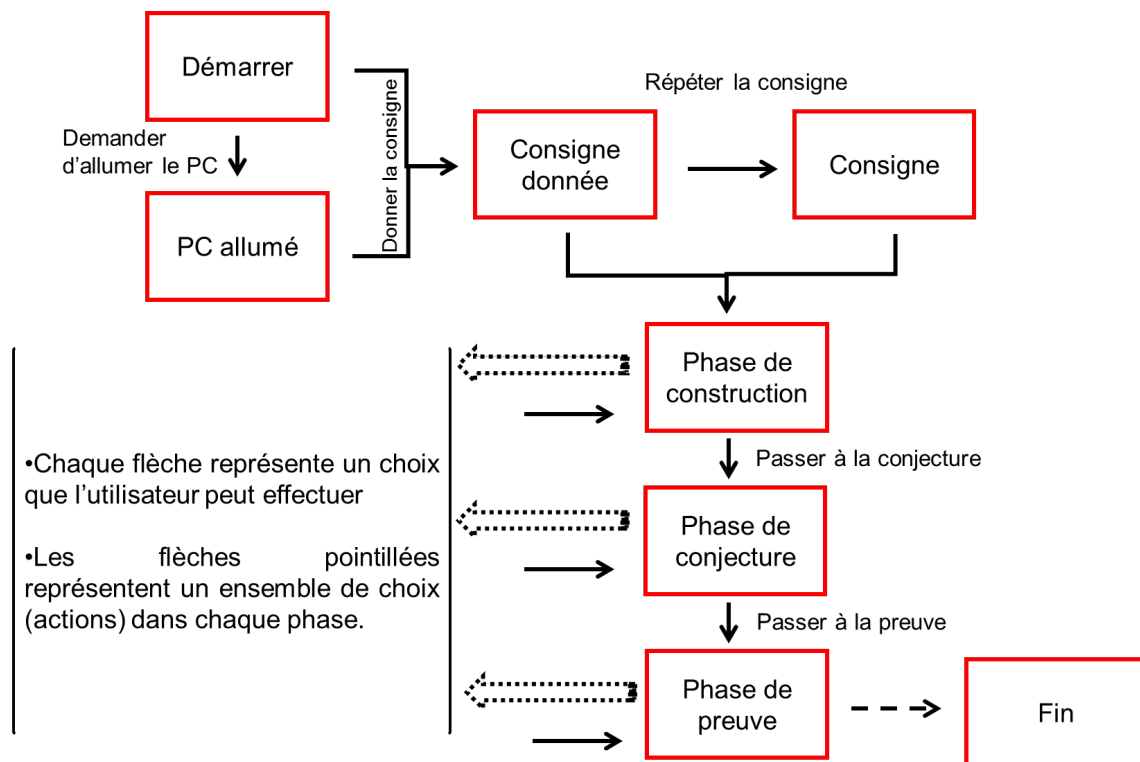


Figure 8 : Exemple de vision du travail de l'élève : ici la construction n'est pas résistante

En résumé, le SIC rend visible les éléments suivants qui sont donc au cœur de sa programmation (Emprin & sabra, 2014) :

- *les phases* : un scénario de séance en classe comporte plusieurs phases (Figure 9) caractérisant le processus de résolution d'un problème ouvert en classe de mathématiques (phase de consigne, phase de construction, phase de conjecture, phase de démonstration) ;
- *les actions de l'enseignant* (didactiques et pédagogiques). L'utilisateur choisit parmi une liste des actions : dire quelque chose à un binôme ou à toute la classe, intervenir sur le poste d'un élève, écrire au tableau ou encore ne rien dire ni faire ;
- *les états des élèves*. La progression de l'apprentissage est complexe à quantifier. Pour rendre compte de cette progression pour chaque élève, nous affichons sa production (ce qu'il est parvenu à faire avec le logiciel). Les productions doivent être analysées par l'utilisateur, elles sont révélatrices des erreurs de conception, de compréhension ou au contraire de la réussite de la tâche ;
- *le temps* (simulé). Chaque action « coûte » un certain temps, déterminé par les expérimentations. Lorsque cette variable atteint la valeur 55 ou plus, le scénario s'achève ;
- *Le niveau « d'agitation » des élèves*. Suivant l'action de l'enseignant, la barre d'agitation des élèves peut augmenter ou se réduire. Cela peut affecter un ou plusieurs élèves. Si la classe atteint un taux d'agitation fixé, cela stoppe le scénario et amène l'utilisateur à un « game over » ;
- *Le feedback global*. À la fin de la simulation, l'utilisateur reçoit pour chaque binôme trois informations : où en est-il dans la construction à l'aide du logiciel ? où en est-il de la démonstration (ou de la conjecture) ? Et de quoi se souvient-il une semaine après la séance ?

Mon hypothèse est que ces informations permettent à l'enseignant d'évaluer l'effet de ses choix sur les apprentissages et le travail des élèves.



30

Figure 9 : La structuration en termes de phases du scénario de résolution d'un problème ouvert intégrant un artefact TICE (Emprin et Sabra, 2014)

Ce simulateur a été à nouveau expérimenté en troisième année de licence dans le cadre de modules de préprofessionnalisation, en deuxième année de master « Enseignement éducation et formation » mention second degré parcours mathématiques, avec des professeurs des écoles stagiaires en formation initiale et continue. Lors de ces formations, nous faisons passer un questionnaire auprès des utilisateurs pour vérifier si le simulateur est reconnu comme un outil d'analyse de pratiques par les stagiaires. Cela semble être le cas (Sabra et al. 2014) sur les premiers échantillons. Lors des sessions de formation de deux heures, les enseignants réalisent en moyenne 4,8 essais ce qui montre bien le rôle d'accélérateur d'expérience qui était attendu. Les enseignants repèrent et formulent les contenus attendus pendant la formation : le fait que la situation comporte en fait deux objectifs et deux tâches qui ne peuvent être menées en même temps, la problématique de la relation conjecture/démonstration, les éléments pédagogiques liés à la gestion des interactions individuelles et collectives, des questions liées à l'usage du logiciel de géométrie dynamique (LGD) et les difficultés des élèves à s'appropriier le système de contraintes du LGD.

Ce simulateur a déjà reçu 1840 visites dont 42 % sont des survols (une seule page vue). Cela signifie donc que plus de 1000 simulations ont été réellement initiées.

L'ensemble de ces éléments nous permettent de conclure que ce type de dispositif, par simulation, est viable : nous avons en quelque sorte obtenu « une preuve de concept ».

L'investissement dans ce type d'artefact est donc pertinent et nous invite à en continuer le développement pour l'amener à dépasser l'état de prototype et les limites de la conception. En effet, notre simulateur ne contient actuellement qu'un seul scénario de classe et il nécessite, à chaque nouveau scénario, une reprogrammation quasi complète.

Les pistes de développement de l'artefact concernent la mise en place d'un générateur de scénarios, ce qui permettrait à des formateurs d'implémenter leurs scénarios, de les utiliser dans leur formation et de les partager. Dans cette optique, il est important de regarder les simulateurs existants.

1. 2. 2. Quelques éléments sur les simulateurs en formation professionnelle

Alvarez (2007) date l'entrée des simulateurs dans la formation à 1981, année d'entrée du logiciel « battlezone » encore appelé « The Bradley Trainer » dans la formation des pilotes de chars américains. Les formations par la simulation se développent comme le précise par exemple Lepinard (2014) à propos de la formation des pilotes d'hélicoptères de l'armée, en 2014 « *Près de 40 % des heures de vol dans l'aviation légère de l'armée de Terre (ALAT) sont dorénavant effectuées sur simulateurs.* » (Lepinard, 2014, p.39). Mais, malgré l'importance de ce type de formation, le même auteur identifie des manques de recherches sur les spécificités de ce type de formation : « [...] *il s'agit de combler un gap dans la littérature scientifique qui n'a pas identifié complètement certaines caractéristiques clés de la formation par la simulation* » (Lepinard, 2014, p. 41).

Des simulateurs existent dans des formations professionnelles qui supposent le développement des compétences dans les interactions humaines : relation client-vendeur, entretien d'embauche. Hamdi et *al.* (2014) analysent, dans ce dernier cas, les effets des interactions avec un agent conversationnel animé. Ils montrent que la simulation des émotions et des différents environnements dans lesquels se déroule l'entretien a une influence sur les réactions de l'utilisateur. Ce résultat ouvre donc un champ de possibles pour la formation des enseignants et des formateurs puisqu'une partie de l'activité professionnelle se situe dans le cadre d'interactions humaines.

Dans le monde de la formation professionnelle, apprendre par la simulation (Pastré 2005) est une démarche utilisée parce qu'elle présente moins de risques, qu'elle est moins coûteuse (temps, argent, humain, etc.) et qu'elle accélère le processus d'acquisition de l'expérience. En effet, elle confronte les utilisateurs à des situations contrôlées et plus nombreuses. Pastré (2005) met en évidence deux types de simulateurs :

- à échelle complète « full scale simulators » où le travail se réalise à l'échelle 1:1, avec une recherche de réalisme ;
- à échelle partielle « part scale simulators » où une partie de la réalité seulement est simulée et où le temps n'est pas le temps réel.

Si le premier type de simulateur apparaît comme bien adapté pour la répétition de gestes en temps réel et de réactions à des imprévus, le second nous semble plus adapté à l'analyse de pratique et à la réflexivité. Je m'intéresse plus spécifiquement, dans le cadre de mon travail, aux simulateurs à échelle partielle, mais pour comprendre les phénomènes en jeu dans l'usage de ces technologies numériques je dois choisir un cadre théorique suffisamment riche.

Dans le monde de la formation des enseignants, des simulateurs existent également. Dans Emprin et Sabra (2019) nous avons conçu une grille d'analyse des logiciels de simulation que j'utilise maintenant pour comparer les artefacts existants.

1. 2. 3. Analyse des simulateurs existant en formation des enseignants

Il s'agit ici d'étudier les artefacts existants : les simulations et si possible la situation de formation dans laquelle les artefacts sont utilisés.

Dans (Emprin et Sabra, 2019), nous avons d'abord identifié des caractéristiques de simulateurs, les paramètres à prendre en compte dans le processus de conception et des éléments à prendre en compte dans un scénario de formation basé sur l'utilisation de notre Simulateur Informatique de Classe (SIC). Ce travail nous conduit à esquisser les grandes lignes d'une grille qui apporte un regard analytique sur les simulateurs :

Catégories de choix	Types de choix	Choix possibles
Nature du simulateur	Échelle	Réelle (1 : 1) → réduite (écran d'ordinateur)
	Apparence	Réaliste → modèles (symbolisés)
	Temps	réel → simulé
	Unité simulée	Journée → séquence → séance → phase d'une séance → moment
Médiations	Interactions Enseignant/élèves	Collectives/individuelles
	Types de choix	Complet (formulation par l'utilisateur) → partiel (parmi une liste)
	Choix des temporalités	Complète (l'utilisateur choisit les phases) → fixe (les étapes sont fixées)
cognitif	Nature du savoir	Mathématique (disciplinaire)/transversal/attitudes
	Choix de l'enseignant	Choisit le savoir/choisit les tâches pour faire acquérir un savoir
Rétroactions	Type de rétroactions	Direct (voit ce que l'élève fait, pense)/indirect (doit interpréter)
	Nature des rétroactions	Activité de l'élève/attitude de l'élève (non verbal)/ressenti de l'élève/réponse à des questions de l'enseignant
	Temporalité	En direct (voit l'effet des actions)/a posteriori (a des informations sur les effets à long terme)

Connaissance des élèves a priori	Les connaissances des élèves sont	Paramétrables →fixées
	L'attitude des élèves est	Paramétrable →fixée
	Les façons d'apprendre des élèves sont	Paramétrables →fixées
Scénario du simulateur		il y a une stratégie gagnante/il y a une ou des stratégies optimales/le jeu est ouvert (je peux explorer les possibles sans qu'il n'y ait de stratégie privilégiée)
Autonomie du simulateur		Indépendant des scénarios de formation →dépendant d'un scénario

Légende : → indique qu'il y a une échelle de valeurs possible entre les deux choix possibles ; /indique une liste de choix déterminés.

Tableau 2 : grille d'analyse de la conception des simulateurs pour la formation des enseignants

Mon objectif dans ce paragraphe consiste à analyser les logiciels de simulation existant pour la formation des enseignants. Cette étude vise à comprendre la relation entre les choix techniques et les questions de formation. Elle a également pour objet d'analyser les connaissances en jeu et comment elles peuvent émerger de la pratique simulée.

J'ai trouvé principalement cinq simulateurs pour simuler l'enseignement dans une classe : trois dans le monde anglo-saxon et deux en France dont celui conçu par Emprin et Sabra (2019). Je commence par en faire une présentation synthétique avant d'en réaliser une analyse comparative grâce à la grille présentée dans le Tableau 2 p. 33. Cette mise en œuvre de la grille m'amène d'ailleurs à ajouter des éléments qui apparaissent comme manquants dans la grille initiale définie *a priori* pour bien comprendre les enjeux de ces artefacts.

Simschool (<https://www.simschool.org>), Figure 11, se concentre principalement sur les techniques de gestion de classe basées sur ce que les concepteurs définissent comme « des profils d'élèves liés aux styles d'enseignement et aux profils des apprenants » (<https://www.simschool.org>). Les informations fournies sur les élèves virtuels comprennent leurs comportements face aux autres et face aux tâches d'enseignement et leur niveau général de connaissances en français, maths, sciences, Par exemple, dans la Figure 10, on peut lire pour la personnalité de Mei, Melisa :

« est hyperactive, très sûre d'elle, a tendance à dominer les autres, n'écoute pas, est habituellement extravertie, se fait facilement des amis, est une bonne médiatrice, abandonne facilement, essaie une fois et puis s'arrête, peut être lunatique, prend les choses personnellement, a une faible estime d'elle-même, est intéressée par beaucoup de choses, aime réfléchir, aime les défis.

Quand il s'agit d'aborder les tâches, elle a besoin de beaucoup d'interactions, interrompt les autres, joue la comédie, analyse bien, est logique, est bien organisée dans

ses réflexions et fait preuve d'objectivité, évalue honnêtement, aime travailler à des tâches de découverte et d'exploration quand il n'y a pas de contraintes, va abandonner ou se rebeller si elle est mise sous pression, créative, est capable de formuler des hypothèses, répond de façon improvisée, prend des risques. » [Traduction personnelle]

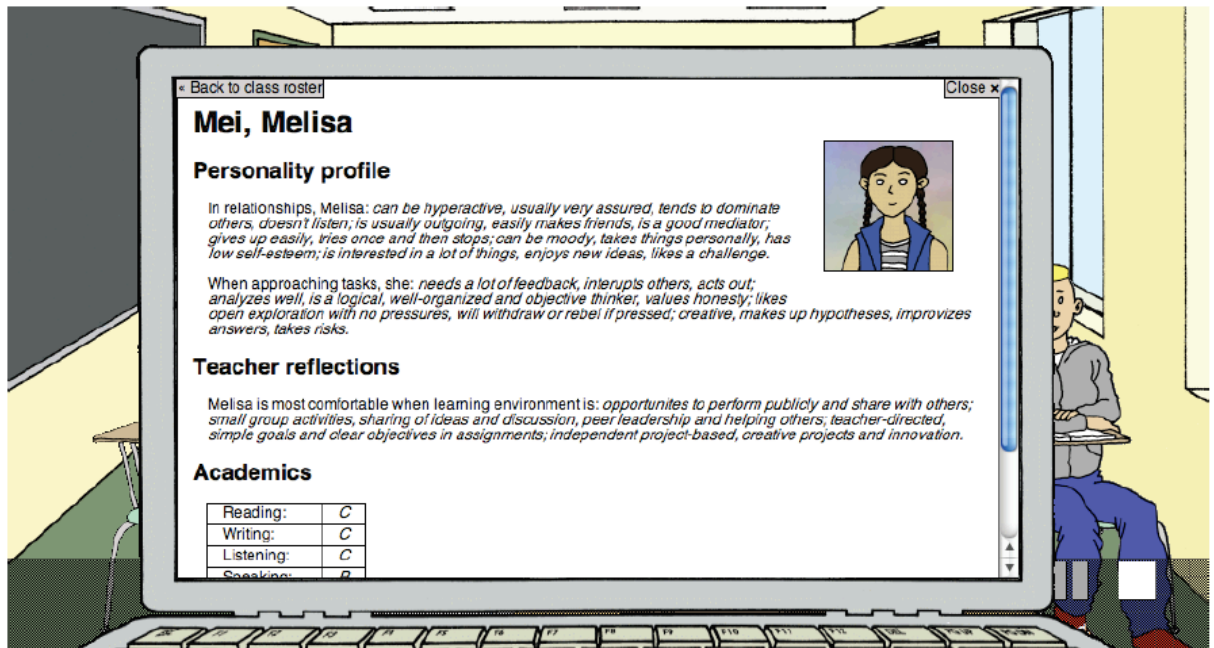


Figure 10 : exemple d'informations sur la personnalité des élèves fournies par simscool à l'utilisateur. (Gibson, 2009)

Il y a également des remarques sur les conditions de travail que l'élève préfère. Son échelle assez importante concerne l'organisation des séquences d'apprentissage : "SimSchool fait la promotion de l'expertise pédagogique en recréant la complexité des décisions prises en classe grâce à des représentations mathématiques de la façon dont les gens apprennent et de ce que font les enseignants quand ils enseignent. Le modèle s'appuie sur des domaines tels que la psychologie, les dimensions sensorielles et cognitives fondées sur la recherche, mais aussi à la taxonomie des objectifs éducatifs de Bloom (Bloom, Mesia, & Krathwohl, 1964). " (Christensen & al., 2011 [traduction personnelle]). Il inclut de nombreux feedback, diagrammes des progressions des élèves en direct durant la séance et a posteriori : ces feedbacks concernent l'évolution du niveau global de l'élève en maîtrise de la langue, en mathématiques, en sciences,... mais aussi sur sa mémoire à long terme ou court terme, ses capacités de raisonnement et son comportement.



Figure 11 : vue de simscool tirée de la vidéo de présentation : <http://simchool.com>

LessonSketch (www.lessonsketch.org) « est une plate-forme en ligne où les utilisateurs peuvent créer, visualiser, annoter et discuter des scénarios de pratique d'enseignement. » (Herbst & Al., 2016, [traduction personnelle]). Cet outil de création permet aux utilisateurs (formateurs, chercheurs ou enseignants) de créer des scénarios pédagogiques dans un environnement basé sur des avatars dessinés (Chieu et Herbst, 2011). Cet environnement est très ouvert, il autorise autant un travail d'analyse que de réalisation ou finalisation de scénario. LessonSketch est une plateforme multimédia qui donne aux enseignants et autres professionnels des services sociaux la possibilité de représenter, d'examiner, de partager et de discuter leurs propres pratiques, ainsi que celles des autres membres de leur profession. LessonSketch utilise des représentations de la pratique en hébergeant des artefacts tels que des vidéos ou des travaux d'étudiants dans des forums privés ou publics pour visionnement, annotation et discussion, et autorise également les utilisateurs à créer leurs propres représentations de la pratique sous la forme de story-board illustrant à la fois des scénarios exemplaires et courants.

Les utilisateurs ont accès à une suite d'outils de création, y compris des environnements d'annotation personnalisables et des forums de discussion centrés sur ces artefacts, ce qui donne l'occasion à leurs collègues praticiens d'apprendre des expériences et des perspectives des autres.

SimTeach associé à LessonSketch met à disposition des scénarios dynamiques sur la base de questions à choix multiple. Chaque réponse étant un choix de l'enseignant et permettant de diriger le scénario.

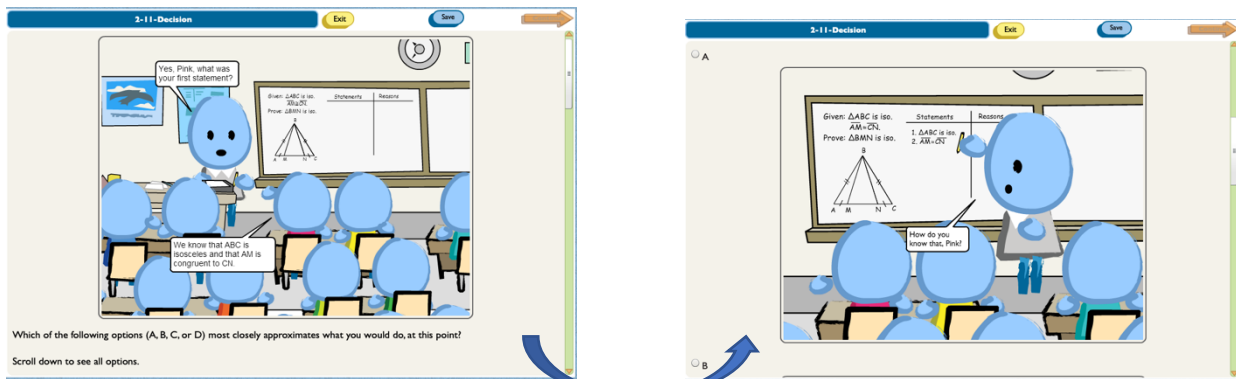


Figure 12 : exemple de prise de décision dans Simteach : à droite l'énoncé du choix et en faisant défiler l'écran les choix possibles (<https://www.lessonsketch.org>)

Teach live (<http://exceptionaleducation.buffalostate.edu/teach-live>) simule à grande échelle et en temps réel les interactions élèves-enseignants en fonction de leur motivation. C'est un logiciel immersif de réalité virtuelle. « TeachLive est une simulation de salle de classe utilisée pour préparer les enseignants aux défis du travail en classe de la maternelle à la 12e année. Son principal usage est de donner aux enseignants l'occasion de répéter leurs compétences en matière de gestion de classe, de pédagogie et de prestation de contenu dans un environnement qui ne nuit pas aux vrais enfants et qui ne fait pas en sorte que l'enseignant soit perçu comme faible ou peu sûr par une véritable classe d'élèves. » (Barmaki & Hughes, 2016, p. 663 [traduction personnelle]). Un enseignant qui utilise la simulation Teachlive se trouve face à un écran de grande taille avec cinq élèves virtuels pilotés à distance par un « marionnettiste » ou « interacteur ». Dans la salle de formation se trouve un Kinect X Box⁶ qui suit les mouvements de l'utilisateur pour lui donner l'impression qu'il se déplace dans la classe virtuelle en allant vers un élève pour lui parler individuellement ou en reculant pour s'adresser au groupe (O'Callaghan et Piro, 2016). Les interacteurs - qui règlent les étudiants de l'avatar - ont déjà étudié et préparé la leçon et les objectifs des stagiaires enseignants et répondent comme des étudiants types. Les comportements en classe des avatars peuvent être modulés sur une échelle de 1 à 5 (5 représentant les problèmes de comportement les plus intenses), selon les objectifs de la session. Ils sont basés sur des descriptions du développement de l'adolescent en utilisant la classification du comportement adolescent de William Long, combinée avec la théorie de Rudolf Driekur sur le comportement inadapté de l'adolescent et d'autres théoriciens du développement (Andreasen

⁶ Dispositif d'acquisition de mouvement de la console de jeu commerciale X Box de microsoft.

& Hacimeroglu, 2009). Le fait que cet artefact soit très axé sur la relation humaine a amené les chercheurs à l'utiliser dans le cadre de la formation des enseignants pour le traitement des élèves atteints de troubles du spectre autistique (Vince Garland et al., 2016). En termes de scénario de formation, les simulations sont jouées en formation par un stagiaire devant ses pairs comme illustré dans la photo de la Figure 13 p. 37



Figure 13 : exemple de situation de formation avec teachlive tiré de O'Callaghan et Piro, 2016, p 106).

À l'issue du déroulement, une séance de formation se déroule et s'appuie sur le principe de formation dans et sur l'action (Schon, 1983, 1987).

T-prof (<https://t-prof.fr>) est basé sur l'argument suivant « Seul face à la classe ? Aujourd'hui un futur enseignant a peu d'occasions de s'exercer avant le concours. Une fois lauréat, il a l'entière responsabilité d'une classe (en alternance avec la formation en Master 2 MEEF). C'est pourquoi nous avons créé le programme T-prof ». L'application, Figure 14 p. 38, se positionne donc comme permettant de faire construire une expérience pédagogique à un futur professeur, ce qui peut compenser le manque de stages et de pratique face aux élèves. Elle s'appuie sur les sciences de l'éducation, la psychologie de l'enfant. La centration des objets de formation sont dits « tous centrés sur pédagogie en classe ». Les scénarios sont encapsulés dans une plateforme de cours avec des informations et des simulations. Il n'y a, a priori, pas de scénario de formation associé. Les élèves simulés sont limités à 5 avatars 2D dans la version de septembre 2019.



Figure 14 : copie d'écran de T-Prof, au centre deux élèves se mettent à discuter entre eux pendant la séance... l'enseignant doit prendre une décision.

SIC, Computer Classroom Simulator (<http://cerp-sic.unic-reims.fr>), Figure 6, simule des interactions didactiques et des gestes professionnels dans une classe. Cet artefact a été conçu pour remplacer la confrontation à la vidéo afin de faire émerger une forme de réflexivité chez les enseignants (Emprin, 2011). Il se distingue des autres simulateurs dans la mesure où il centre les contenus de formation sur le triangle didactique avec un feed-back important sur les apprentissages des élèves, et a été conçu notamment pour combler ce manque dans les simulateurs existants.

Le tableau ci-dessous présente la comparaison des analyses des cinq simulateurs :

Catégories de choix	Types de choix	T-Prof	TeachLive	Simschool	Lesson Sketch	SIC
Nature du simulateur	Échelle	réduite	Quasi complète (non immersive, mais taille réelle)	réduite	réduite	réduite
	Apparence	Symbolisée avec attitude faciale : accord, désaccord, inattention	Réalistes (attitudes corporelles et faciales)	Symbolisée avec attitude faciale : posture	Symbolisée avec quelques attitudes faciales	Symbolisée + niveau d'attention
	Temps	Simulé	Réel	Simulé	Simulé	Simulé
	Unité simulée	Séance découpée en phases d'une séance	Séance ou moment	Séquence d'enseignement	Au choix de l'utilisateur	séance
Médiations	Interactions Enseignant/ élèves	Collectives + individuelles	Collectives + individuelles	Collectives + individuelles	Collectives + individuelles + Annotation d'un scénario + groupe de travail	Collectives + individuelles

	Types de choix	partiel (parmi une liste)	Complète	partiel (parmi une liste)	partiel (parmi une liste de diapos)	partiel (parmi une liste)
	Choix des temporalités	Fixe (les étapes sont fixées)	Complète	Fixe (le plan de la leçon est déterminé)	Fixe (les étapes sont fixées)	Fixe (les étapes sont fixées)
Cognitif	Nature du savoir	Pédagogique (patience, attention aux élèves, fermeté, solliciter les élèves, les faire réfléchir par eux-mêmes...)	Gestes professionnels + compétences de communication + analyse des comportements prototypique des élèves et réaction « à chaud ».	Stratégies de gestion de classe et impact sur les apprentissages	Apprentissage de la démonstration géométrique en collège et Travail de co-construction de scénarios Analyse de scénario	Didactique : processus d'enseignement apprentissage et professionnel
	Choix de l'enseignant	Tâche fixée, choix de gestion de la classe et des interactions	Enjeu planifié	Tâche fixée, choix de gestion de la classe et des interactions	Tâche fixée, choix de gestion de la classe et des interactions	Tâche fixée, choix didactiques et de gestion de classe
	Origine de savoir	Sciences de l'éducation (sans précisions)	Gestes professionnels, postures de l'enseignant, psychologie de l'adolescent	psychologie, les dimensions sensorielles et cognitives fondées sur la recherche, mais aussi à la taxonomie des objectifs éducatifs de Bloom	Didactique des mathématiques (démonstration en géométrie) et scénarios produits et commentés par les enseignants	Didactique des mathématiques et sciences de l'éducation + recueil empirique des données pour la conception de la situation
	Disciplines	toutes	toutes	toutes	STEM	Mathématiques
Rétroactions	Type de rétroaction	Directe	Directe	Directe et différée	Directe	Directe et différée
	Nature des rétroactions	Attitude de l'élève (non verbal) + réponse à des questions de l'enseignant	Attitudes élèves, gestes, paroles	Attitudes, réponses et acquisitions (diagrammes, liste des acquis...)	Attitudes élèves (smileys..), paroles, travaux d'élève	Activité de l'élève (travaux, réponses, productions mathématiques) + attention
	Temporalité	En direct (voit l'effet des actions) + bilan écrit sur l'attitude de l'utilisateur	En direct	En direct (voit l'effet des actions) + bilan écrit sur l'attitude de l'utilisateur	En direct et différé par échange dans le groupe	Direct + différé (bilan des apprentissages)
Connaissance des élèves a priori	Les connaissances des élèves sont	fixées	fixées par le formateur	fixées avec des profils d'apprenants, mais paramétrables par le formateur	fixées	fixées

	L'attitude des élèves est	fixée	fixée par avance, mais ajustable	Fixées avec des profils de comportements, mais paramétrables par le formateur	fixées	fixées
	Les façons d'apprendre des élèves sont	fixées	fixées par avance, mais ajustables	fixées avec des profils d'apprenants, mais paramétrables par le formateur	fixées	fixées
Scénario du simulateur		Il y a une ou des stratégies optimales	Il y a une ou des stratégies optimales	Il y a une ou des stratégies optimales	Inclus dans une scénarisation en ligne de travail collectif	Inclus dans un scénario d'analyse de pratique
Reproductibilité du scénario		À l'identique	Variable du fait des interacteurs	À l'identique	À l'identique	À l'identique
Autonomie du simulateur		Indépendant des scénarios de formation	Dépendant d'un scénario de formation : séance d'analyse réflexive a posteriori	Indépendant des scénarios de formation	Dépendance complète du scénario de formation	Dépendance du scénario d'analyse de pratique.
Modèle économique		Payant (une simulation en démonstration gratuite)	Associé à un matériel spécifique	Payant après un essai gratuit	Gratuit	Gratuit
langue		Français	Anglais	Anglais	Anglais	Français

Tableau 3 : comparaison des analyses des cinq simulateurs.

J'ai mis en évidence les similitudes et les différences entre les différents choix de simulations en laissant en noir les éléments communs à plus de 2 simulateurs, en rouge les éléments spécifiques et en bleu ou en vert les éléments communs à deux simulateurs.

La comparaison des 5 simulateurs existants met en évidence 3 grandes catégories

- TeachLive est complètement à part des autres logiciels (en rouge) par le fait qu'il est en temps réel et à échelle complète, mais aussi par sa centration sur un repérage d'indices posturaux, verbaux et psychologiques pour une réaction à chaud de l'enseignant.
- Ensuite Tprof et Simschool en vert sont caractérisés par leur centration sur des éléments pédagogiques et de gestion de classe, mais aussi par une assez forte indépendance de scénarios d'usages. Ces artefacts sont aussi utilisés dans plusieurs disciplines d'enseignement.

- Lesson Sketch et SIC se caractérisent par leur centration sur le processus d'enseignement apprentissage d'un contenu disciplinaire (le triangle EE – e – savoir) et la forte dépendance à un scénario de formation, en ligne ou en présentiel. Ces deux applications ont la particularité d'être attachés aux mathématiques et aux sciences. Elles mettent aussi en avant un ancrage dans la pratique avec un recueil de scénarios qui peut servir de base à la programmation.

Il y a donc trois grandes catégories de simulateurs : immersif d'interactions humaines (Teachlive), à échelle partielle de gestion de classe (Tprof et SimSchool) et à échelle partielle de situation d'enseignement-apprentissage (Lesson Sketch et SIC)

Nous pouvons remarquer que de nombreux éléments communs existent entre les simulateurs : les cinq simulateurs mettent en avant de façon plus ou moins explicite l'appui sur des connaissances issues de la recherche, les rétroactions en direct par des attitudes faciales (plus ou moins symbolisées) ou des réponses orales. Lessons Skech et SIC ajoutent une forte importance des activités des élèves de par leur centration sur les processus d'enseignement-apprentissage.

Mon travail de comparaison m'a amené à compléter la grille d'analyse initiale (Emprin et Sabra, 2019). J'ai ajouté :

- l'origine des savoirs enseignés et la discipline abordée dans la catégorie d'analyse liée aux aspects cognitifs. Cela me permet d'identifier les fondements sur lesquels les scénarios sont construits et la discipline d'enseignement simulée amène à voir si l'artefact en est dépendant ou non.
- un indicateur de reproductibilité du scénario. En effet un scénario qui aurait des embranchements aléatoires pourrait exister, mais aucun simulateur ne semble avoir fait ce choix. La reproductibilité autorise d'une part la comparaison les simulations entre elles pour un même utilisateur, mais également entre utilisateurs. Cet aspect est d'autant plus important dans les simulateurs adossés à des scénarios de formation.
- le modèle économique et la langue d'utilisation qui peuvent avoir un impact sur son usage.

Pour que TeachLive, lesson Sketch et SIC soient utilisables, un formateur doit être présent (éventuellement en ligne) en amont comme en aval du dispositif et capable de faire ressortir et de stabiliser les connaissances issues de l'expérience vécue. Le rôle du formateur est donc essentiel et sa capacité à faire discuter les stagiaires de leur pratique est déterminante. Notre hypothèse est que ce temps d'analyse de la pratique nécessite aussi un apprentissage et qu'il peut être simulé. C'est pourquoi nous nous sommes intéressés à la formation de ces formateurs.

1. 2. 4. D'un simulateur de classe à un simulateur d'analyse de pratiques pour former les formateurs

Un temps spécifique qui contribue à la formation des enseignants m'intéresse spécifiquement dans la suite de ce chapitre : les temps de dialogue et d'accompagnement, c'est-à-dire les temps où un regard extérieur est porté sur la pratique de l'enseignant qui devient ensuite objet d'analyse. Dans la littérature internationale, on trouvera les termes de supervision, supervision universitaire ou encore mentoring. Ce sont des moments où un formateur (professionnel ou académique) ou un pair échange avec l'enseignant sur sa pratique de façon à l'amener à développer sa réflexivité (Schon, 1994) et son analyse. C'est le temps qui apparaît dans plusieurs simulateurs de classe étudiés au paragraphe précédent, où les connaissances issues de la pratique et les connaissances théoriques peuvent émerger pour éclairer la pratique. Mais l'émergence de ces connaissances semble opportuniste, elle dépend des sessions analysées, des compétences des formateurs comme le soulignent Rogalski et Robert (2015) à propos d'une formation de formateurs utilisant l'analyse de pratiques :

« On voit la justification d'un temps long pour cette formation, dans la mesure où chaque analyse a un caractère opportuniste, dépendant de ce qui sort dans la séance. Sur la durée, l'aléatoire des apports des participants amène à rencontrer suffisamment de thèmes pour donner matière aux participants pour les adaptations dont ils auront besoin pour conduire leurs propres formations d'enseignants. » (Rogalski & Robert, 2015)

Pour réduire ces incertitudes, l'utilisation d'un simulateur de classe donne au formateur, comme nous l'avons vu dans les cinq simulateurs existants, la possibilité de mettre à disposition des enseignants, une séance à vivre de façon virtuelle et à analyser dont il a choisi les paramètres. Néanmoins, les réactions de l'enseignant ne sont pas totalement prévisibles. Pour former des formateurs à l'analyse de pratiques, des simulateurs d'interactions humaines peuvent alors apparaître comme une solution prometteuse. Ils permettent de créer une situation reproductible tout en réduisant les aspects émotionnels, interpersonnels, hiérarchiques...

L'analyse des pratiques enseignantes lors de l'accompagnement d'un formé par un formateur peut couvrir plusieurs aspects des pratiques : la gestion de classe, le calendrier d'apprentissage, l'organisation de la session, mais aussi et surtout ce qui est au cœur de notre travail en didactique : les processus d'enseignement et d'apprentissage proposés. Par exemple, lors d'une visite en classe, le formateur recueille des observations, les choix à chaud de l'enseignant, la session de préparation.... Ce sont ces aspects qui sont isolés dans les différents simulateurs.

A priori, tous ces aspects peuvent être traités dans un simulateur d'interactions humaines, mais j'ai fait le choix de me centrer sur les processus d'apprentissage des mathématiques.

À partir des simulateurs existants, mon objectif est de concevoir un modèle de simulation d'accompagnement et d'analyse de pratiques d'enseignement en mathématiques basé sur des connaissances didactiques (Emprin, 2018).

Une hypothèse qui peut sembler paradoxale est qu'en travaillant dans un contexte neutre et dépersonnalisé, les utilisateurs seraient plus susceptibles de préciser les éléments personnels qui ont guidé leur choix. C'est en appui sur cette hypothèse que je place le simulateur d'analyse de pratiques (SAP) au cœur d'un dispositif de formation de formateurs conduisant à faire émerger *a priori* les représentations de ces derniers sur leur posture d'accompagnement et de les analyser *a posteriori* (après la simulation). L'enjeu de SAP est de questionner la partie du dialogue qui porte sur l'analyse didactique d'une séance et les apprentissages mathématiques.

La conception d'un SAP nécessite trois éléments : des extraits d'une séance en classe qui sont censés avoir été menés par l'enseignant virtuel (elle est analysée du point de vue didactique au paragraphe 1. 3. 2. p.61) ; un modèle des pratiques actuelles des enseignants virtuels et un modèle de la relation de conseil. L'utilisateur du simulateur pourra consulter ou lire les transcriptions de la séance, faire des choix pour mener l'analyse de pratiques et obtenir une rétroaction de son choix (voir Figure 15 p.43).

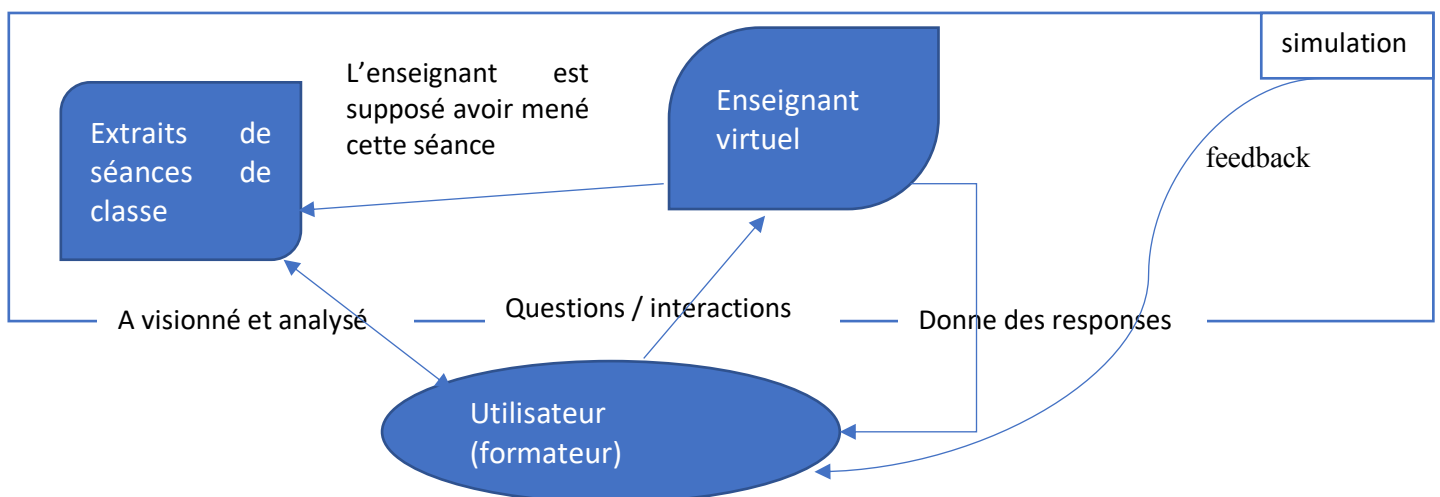


Figure 15 : modèle d'interactions SAP/formateur dans un simulateur d'analyse de pratiques SAP

Pour modéliser la relation de conseil et d'analyse de pratiques, j'ai choisi de coordonner (Prediger et al., 2008) les cadres théoriques précédemment spécifiés aux pratiques du formateur (double approche et approche instrumentale) et des cadres permettant de modéliser l'activité de

conseil. J'ai fait le choix de croiser deux modèles, l'un développé dans le contexte français donc bien adapté à mon contexte de travail, l'autre anglo-saxon visant plus de généralité.

Pour comprendre l'activité de conseil, les travaux de Brau-Antony & Mieusset (2013) s'appuient sur dix-huit instructions au sosie dans le cadre de la clinique de la théorie de l'activité (Clot, 2001b). Leur analyse révèle neuf facettes de ce travail :

- 1) l'accueil, l'intégration de l'enseignant stagiaire (ES) ;
- 2) travailler avec l'ES sur la conception de l'acte d'enseignement ;
- 3) l'observation des travaux de l'ES
- 4) l'analyse de la pratique professionnelle de l'ES ;
- 5) travailler avec d'autres professionnels avec et pour l'ES ;
- 6) réception de l'ES dans la classe du maître de stage ;
- 7) travailler avec l'ES sur des activités autres que l'acte d'enseignement ;
- 8) évaluation de l'ES ;
- 9) l'accès à la fonction de maître de stage et la formation à cette fonction.

Parmi ces facettes, le travail avec l'ES sur la conception de l'acte pédagogique (facette 2) et l'analyse de la pratique professionnelle de l'ES (facette 4) articule directement la pratique professionnelle sur le terrain et la formation didactique/disciplinaire. De plus, ces deux facettes peuvent être simulées dans la mesure où elles se jouent dans une interaction entre l'enseignant stagiaire et le tuteur. J'ai choisi de simuler d'abord la facette 4 en m'appuyant sur la facette 3, c'est-à-dire l'observation de l'enseignant stagiaire.

(Matteï-Mieusset, 2013) identifie quatre dilemmes associés à cette facette du travail qu'est l'analyse de pratiques professionnelles :

- Transmettre le métier ou faire réfléchir pour permettre à l'ES de construire sa réponse, ce qui est caractérisé par des discours du type :
« [...] quelles difficultés il a rencontrées, quelles difficultés, ça peut être gestion du groupe, ou pour faire passer tel contenu mathématique, comment d'abord il l'a vécue Parce que sinon la réflexion forcément elle s'arrête quoi, il va pas réfléchir si déjà tu lui donnes la solution Euh tu peux lui demander ce qu'il a pensé de sa séance, comment il l'a vécue, » (... , p ?) idem pour la suite
- Pointer les erreurs et les réussites de l'ES ou l'aider à les faire émerger, ce qui est caractérisé par des discours du type :
« je vais essayer de pas lui dire voilà ce que j'ai vu, je vais plutôt l'interroger, tiens j'ai constaté ça, qu'est-ce que tu en penses, comment ça se fait que, est-ce que toi tu as constaté alors je fais quoi là, je lui donne mes solutions ? Après on peut lui donner un éventail de solutions, »

- Soutenir l'ES ou l'évaluer.

qui est caractérisé par des discours du type :

« parce que encore une fois, j'évalue, et ils ont peur qu'on dise qu'ils s'en sortent pas, moi je veux dire, je le comprends bien ça. Psychologiquement, c'est-à-dire que, l'affectif, même si on peut trouver quelqu'un agréable, il faut aussi qu'on garde, c'est pas une distance, je suis le maître [...], mais il faut être bienveillant, »

- Guider, imposer un cadre, des outils à l'ES ou le laisser libre de ses choix

qui est caractérisé par des discours du type :

« Mais dans ce que tu dois transmettre à un futur enseignant, jusqu'à quel point tu dois poser un regard par rapport à ce que toi tu ne tolères pas ou ce que tu tolères, et ça je trouve, ça me pose toujours un problème, »

Ces dilemmes, identifiés dans le cadre de l'activité d'accompagnement pédagogique en France, peuvent être utilisés comme premier cadre pour modéliser les interactions entre l'utilisateur (formateur) et l'enseignant virtuel. Chaque proposition de choix d'interaction avec l'enseignant virtuel peut correspondre à un positionnement par rapport aux quatre dilemmes. De plus, cela peut permettre un travail de formation intéressant en demandant a priori au formateur de se positionner par rapport aux dilemmes et de comparer avec le positionnement a posteriori, tiré des choix effectués, que fournirait le logiciel.

Néanmoins, pour obtenir un niveau de généralité plus important j'ai combiné ce modèle avec un modèle plus englobant et détaché du contexte français : le modèle MERID.

2.5. MERID —MENTOR Role In Dialgoque (Hennissen & al., 2008).

Le travail d'accompagnement qui est étudié dans le contexte français renvoie à celui de mentoring dans le contexte anglo-saxon. Dans une étude documentaire (Hennissen & al, 2008), cinq aspects clés ont été identifiés : "En réponse à la première question de recherche, cinq aspects clés des dialogues de mentoring ont émergé des études empiriques sélectionnées, qui sont souvent au centre de la recherche : le contenu du dialogue, le style et les compétences de supervision des enseignants mentors, les commentaires des enseignants mentors, les aspects temporels du dialogue et les phases du dialogue. En réponse à la troisième question de recherche, les données empiriques des études sélectionnées indiquent que trois aspects clés sont liés au comportement distinctif des enseignants mentors dans les dialogues de mentoring : le style/compétences de supervision, les apports et les aspects temporels. Ces trois aspects sont des candidats plausibles pour constituer un cadre conceptuel. Nous avons relié ces aspects clés dans le modèle MERID, qui montre quatre rôles de mentor enseignant pendant les dialogues de

mentorat : imperator, initiateur, conseiller et "encouragement". » (Hennissen & al, 2008, [traduction personnelle]), Ce modèle est représenté par la Figure 16 p.46

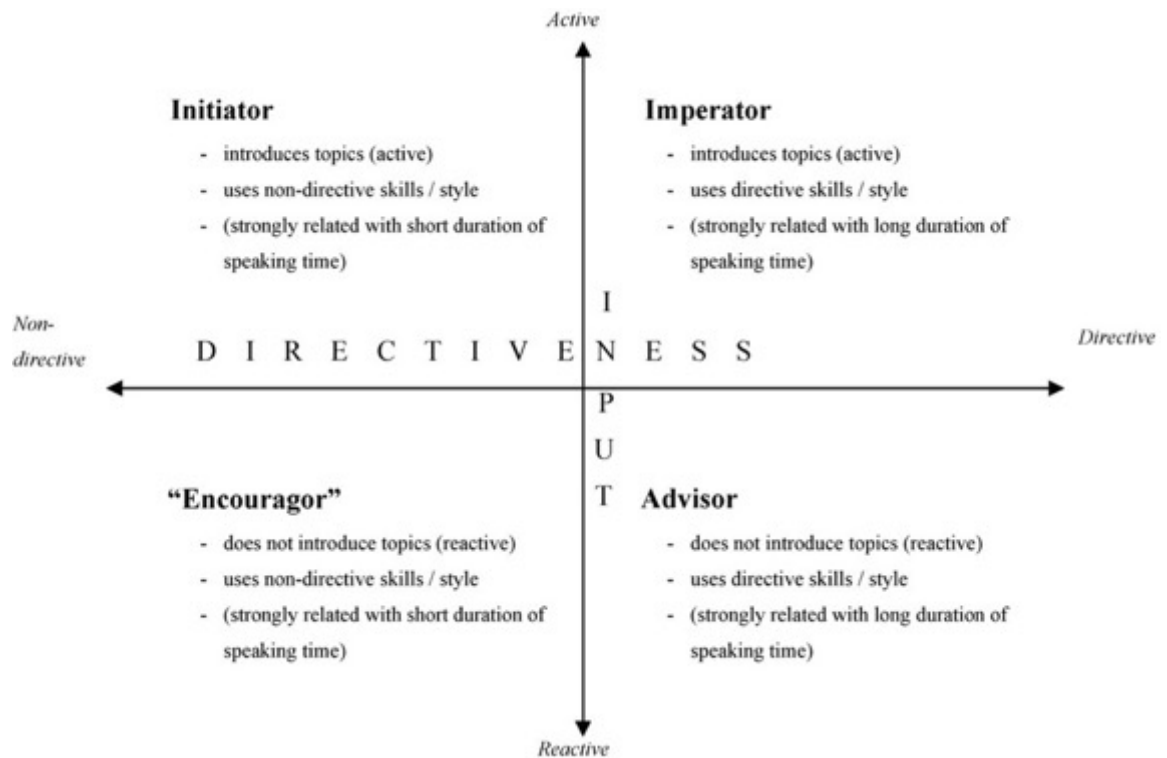


Figure 16 : Modèle MERID

Le modèle MERID offre un nouveau regard sur l'activité de mentorat. En superposant les modèles de Brau-Antony & Mieusset (2013) on se rend compte qu'ils sont complémentaires : en plaçant les dilemmes de la situation de conseil sur le modèle MERID précédent, on se rend compte qu'ils fournissent des analyses sur des dimensions transversales (ils représentent des diagonales sur la figure ci-dessous). J'ai donc choisi de coordonner ces deux modèles pour fournir un cadre général afin de modéliser l'interaction construite par le formateur au cours de l'activité de conseil

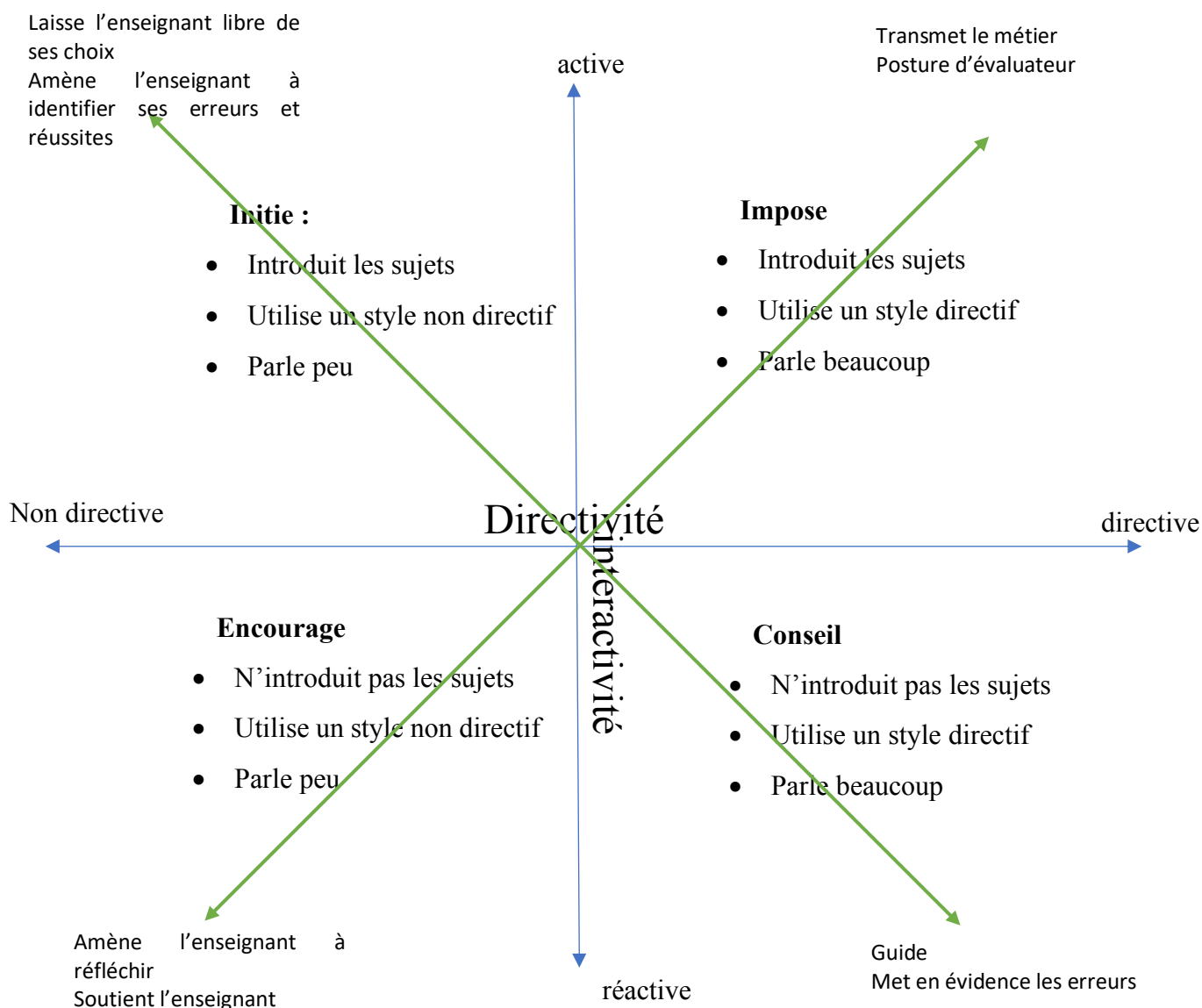


Figure 17 : croisement des deux approches

Le croisement de ces deux approches nous fournit donc une grille d'analyse très fine des pratiques professionnelles du tuteur/mentor en situation d'entretien.

Le nouveau modèle obtenu induit un système d'interactions : les choix de l'utilisateur (ce qu'il va dire à l'enseignant virtuel, la façon dont il va mener l'entretien) sont programmés en fonction du modèle. Mais l'enjeu central de mon travail concerne l'analyse de processus d'enseignement apprentissage en mathématiques. Les interactions doivent donc mettre en questionnement ce processus et donc porter sur un contenu mathématique et une analyse didactique de la situation support à l'entretien. Pour ce premier scénario, j'ai choisi de centrer la leçon support sur l'utilisation d'un logiciel de géométrie dynamique pour conjecturer et démontrer en classe de 4^e. Une analyse de la situation est proposée en 1. 3. 2. p. 61.

Pour simuler une situation d'entretien, j'ai utilisé le logiciel Virtual Training Software⁷. Ce logiciel permet de concevoir une simulation d'interaction humaine à partir d'une structuration en scénarios, scènes, événements, les relations étant représentées par des graphes.

Une ou plusieurs scènes constituent un scénario comme illustré Figure 18.

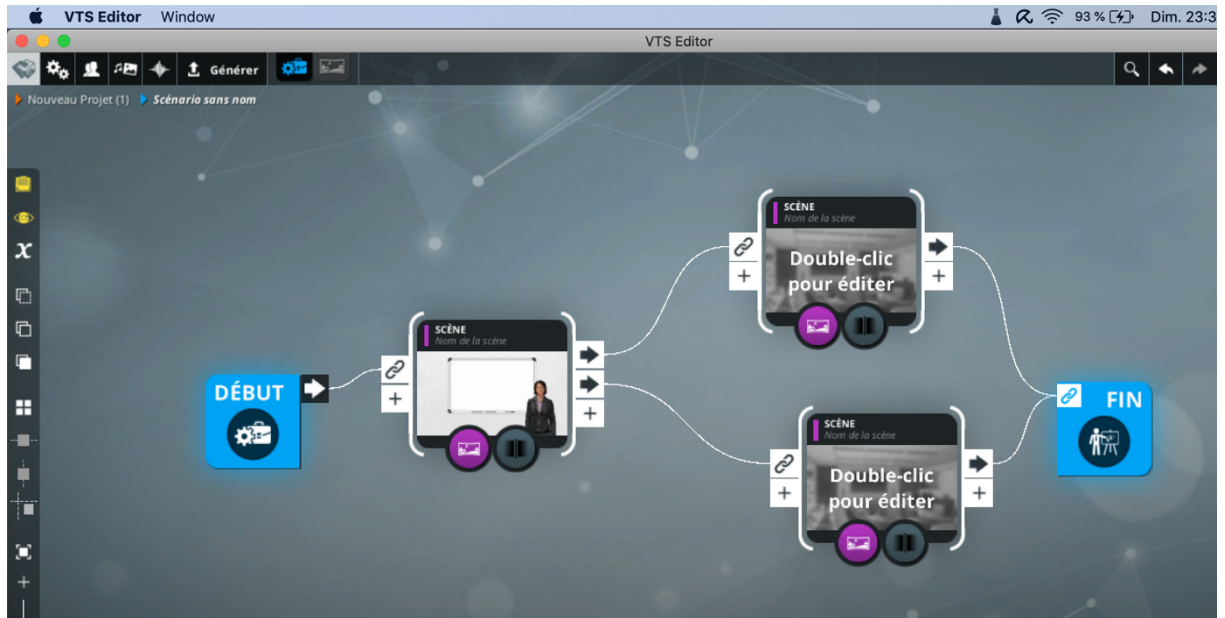


Figure 18 : Un scénario avec trois scènes reliées par un graphe dans VTS

Une scène est caractérisée par un environnement et des personnages (avatars) qui sont choisis par le concepteur (Figure 19).

Le concepteur dispose ensuite au sein d'une scène de différents événements qu'il peut relier dans un graphe qui constitue alors le déroulement (Figure 20). Il peut faire afficher des éléments multimédias (faire parler l'avatar, passer une vidéo...) en orange Figure 21, ouvrir des choix à l'utilisateur (choisir une phrase à dire, répondre à un QCM...) en vert Figure 21 ou utiliser des blocs logiques (affecter des variables, générer de l'aléa...) en bleu Figure 21.

Le logiciel utilise également un système de score. Il définit aussi une liste de compétences. À chaque choix, il est alors possible de modifier la valeur numérique de ces « compétences ». J'ai fait le choix d'utiliser cette fonctionnalité pour affecter au choix de l'utilisateur un poids sur l'échelle de chacun des dilemmes comme illustrés Figure 22 ou cinq compétences sont définies : les 4 dilemmes et le fait d'avoir identifié les questions didactiques attendues.

⁷ <https://www.seriousfactory.com/virtual-training-suite/>, licence accordée à l'université de Reims Champagne Ardenne (URCA)

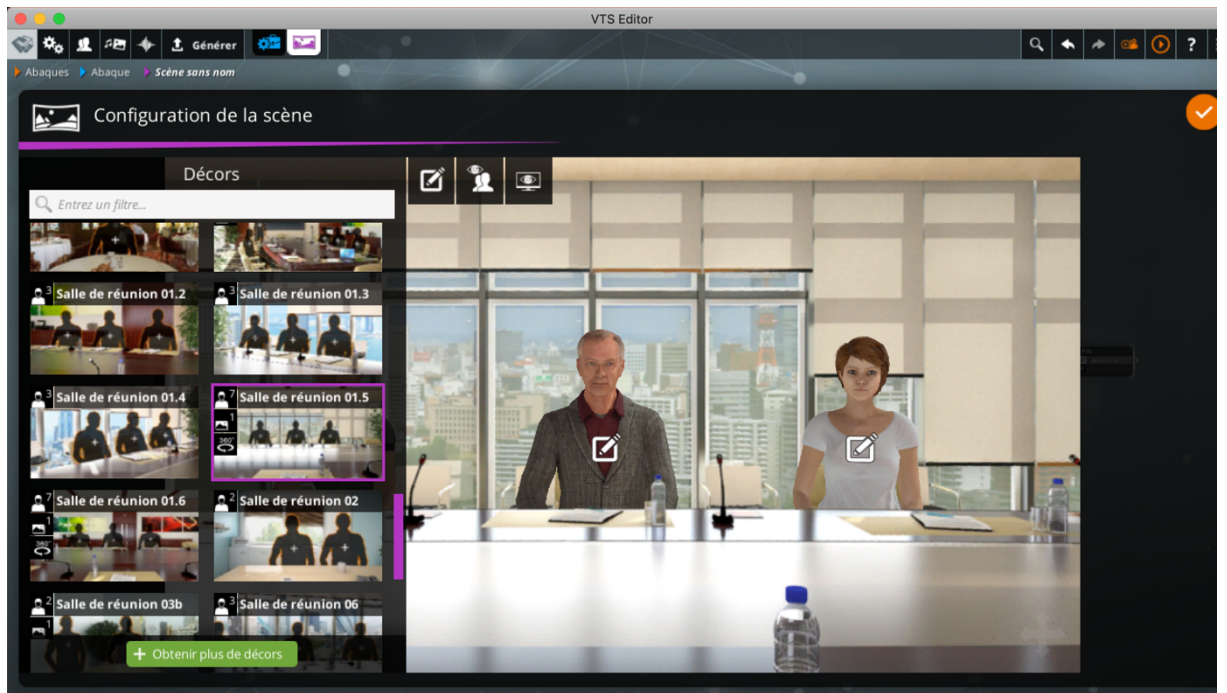


Figure 19 : différents environnements et avatars possibles dans une scène sous VTS



Figure 20 : exemple de graphe au sein d'une scène dans VTS.



Figure 21 : ensemble des blocs qui peuvent être insérés dans une scène dans VTS

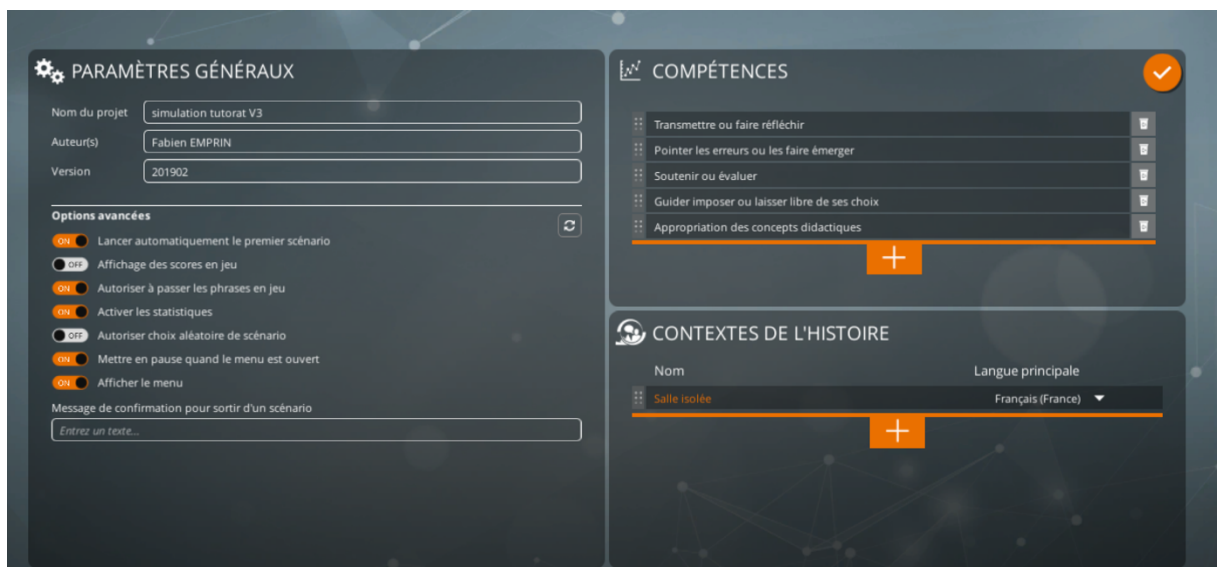


Figure 22 : paramètres généraux et définition des compétences dans VTS

J'ai conçu SAP en découpant l'entretien en 4 phases qui correspondent aux scènes pour VTS et qui abordent chacune un temps de la séance : les difficultés liées au manque d'appropriation du logiciel par les élèves (genèses instrumentales), à la place du vocabulaire

géométrie dans l'enseignement de la géométrie, au lien entre la résistance des objets dans un LGD et leurs propriétés géométriques, à la gestion par l'enseignant de la phase de mise en commun. Au sein de chaque scène, un graphe présente les choix de l'utilisateur, attribue à ces choix un poids dans le modèle théorique et renvoie des réponses de l'avatar. Pour déterminer ces réponses, j'ai utilisé les verbatim en annexes de la thèse de Matteï-Mieusset (2013) qui permettent d'avoir des formulations réalistes.

L'utilisateur voit donc, de son côté, une liste (à gauche Figure 23) avec les interventions et les actions qu'il peut choisir de faire.



Figure 23 : capture d'écran de la simulation d'analyse de pratiques (SAP).

Le contexte de l'entretien a été choisi pour correspondre aux usages de maîtres de stage qui indiquent s'installer dans un lieu isolé au calme avec leur stagiaire (Matteï-Mieusset, 2013).

Les questions et les réponses sont entendues par l'utilisateur, les avatars présents sont animés et peuvent exprimer différents sentiments par la voix, mais aussi par les attitudes faciales comme sur la Figure 24 ci-dessous. Cela constitue un feedback pour l'utilisateur.

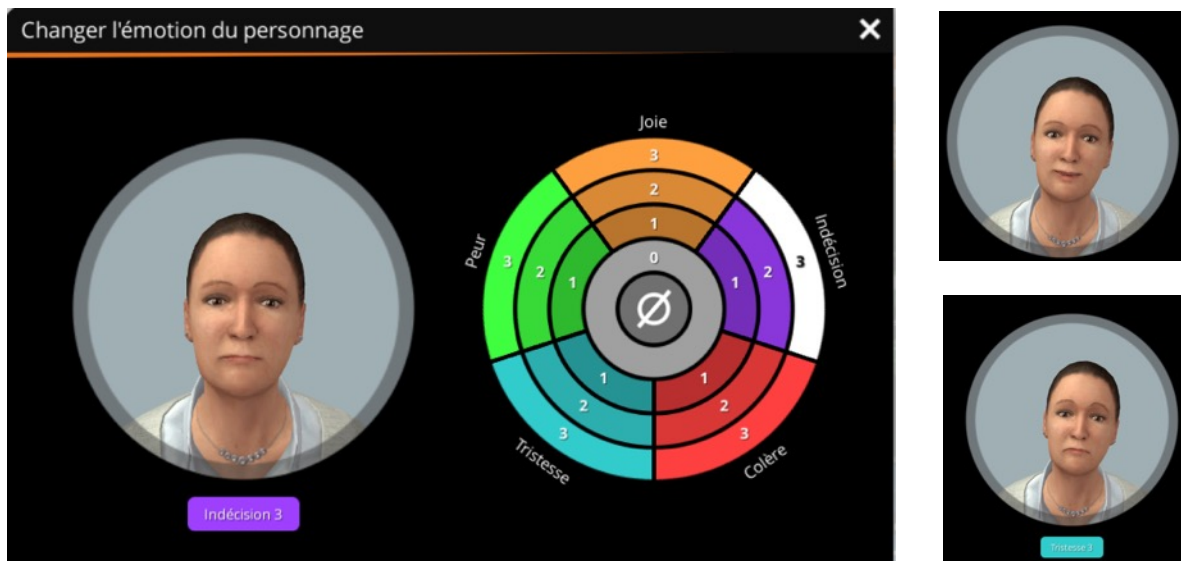


Figure 24 : attitudes faciales dans le logiciel VTS

À la fin du scénario, les utilisateurs reçoivent des informations sur les effets de leur entretien avec l'enseignant virtuel. D'abord par un temps de questions-réponses ils doivent dire s'ils pensent, OUI ou NON (Figure 25) que le stagiaire virtuel a repéré différents éléments qui pouvaient être en jeu lors de l'entretien, comme indiqué dans la capture d'écran Figure 25. La stagiaire répond ensuite pour dire si c'est vrai ou non.

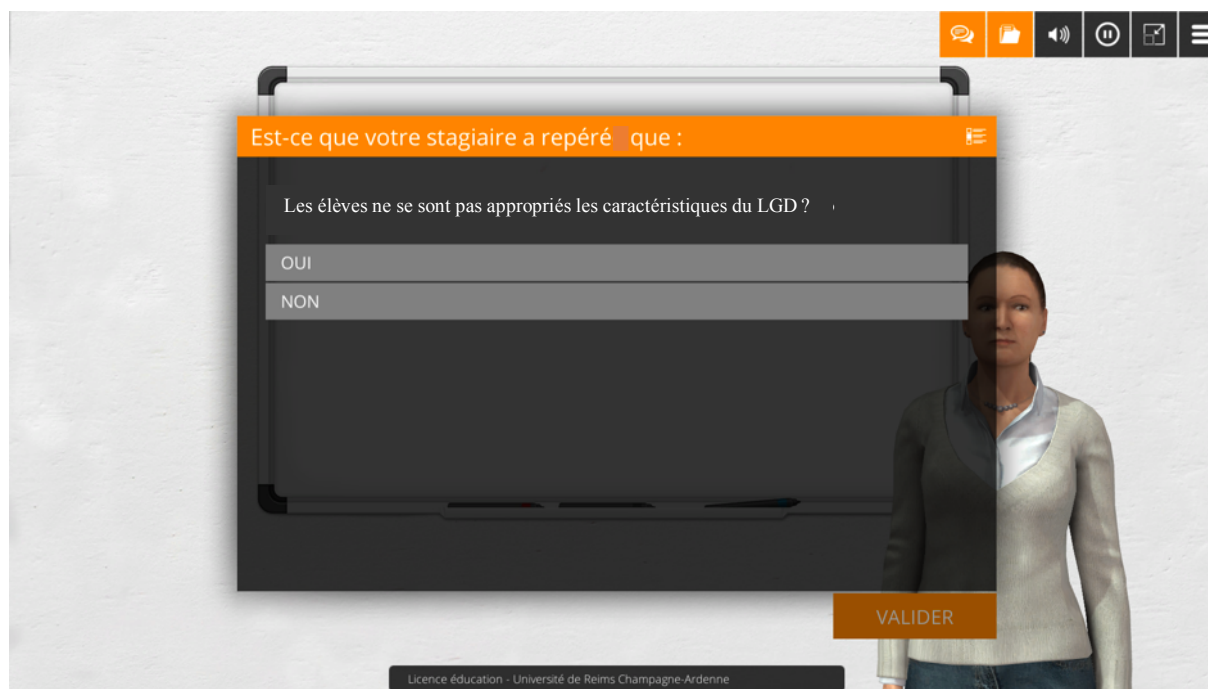


Figure 25 : questionnaire final, identifier ce que la stagiaire a repéré ou non.

Une fois le travail terminé le logiciel renvoie à l'utilisateur son positionnement, tiré de ses choix, par rapport aux différents dilemmes. Par exemple pour « transmettre » ou « faire réfléchir », « transmettre » est au centre du diagramme radar et « faire réfléchir » à l'extérieur.

Dans la Figure 26 ci-dessous on voit clairement que l'utilisateur est du côté de « transmettre », « pointer les erreurs », « guider » et plutôt vers « évaluer ». Le dernier score concerne l'appropriation des contenus didactiques possibles dans la séance. Le score de 2 sur 60 possible montre que la stagiaire n'a quasiment pas mobilisé et questionné les concepts didactiques lors de cet entretien.



Figure 26 : diagramme final : positionnement dans les différents dilemmes.

Il est clair pour nous que ce positionnement final est discutable, chaque choix pouvant être interprété en fonction du contexte. Il n'est de toute façon pas question de prétendre donner, sur la base des réponses à une simulation, un point de vue absolu sur la façon dont l'utilisateur aborde les dilemmes du tutorat. Ce logiciel est conçu pour être mis en œuvre au cœur d'un dispositif de formation afin de faire émerger des questionnements et des discussions. Remettre en cause les choix du concepteur fait partie de ce qui est autorisé par simulation tout comme les enseignants remettent en cause ce qu'ils voient lorsqu'ils analysent une vidéo de classe : « Mes élèves ne diraient jamais ça. Ce n'est pas une classe ordinaire... »

SAP est conçu pour former des formateurs. Or dans beaucoup de formations initiales, il existe ou il a existé des dispositifs de formation dans lesquels les stagiaires vont observer et analyser les pratiques de leurs pairs (dispositifs d'observation croisés, mémoires de master réalisés en binômes...). Ce dialogue sur la pratique existe également dans des dispositifs comme les « lesson study ». La question que l'on peut alors se poser est la possibilité d'utiliser ce simulateur en formation initiale, c'est-à-dire mettre les enseignants stagiaires en position de tuteur d'un pair virtuel pour l'amener à utiliser ses connaissances didactiques, mais aussi à mieux comprendre le processus de formation. C'est pourquoi j'ai également choisi d'expérimenter un scénario de formation utilisant SAP en formation initiale.

Avant de diffuser plus largement cette application, je l'ai expérimentée avec deux promotions, l'une de tuteurs et l'autre d'enseignants : douze enseignants universitaires et

quarante-huit enseignants en formation initiale (trente-six sur une plateforme à distance (Moodle) et douze en face à face).

Ma méthode d'analyse vise dans un premier temps, comme pour SIC à vérifier l'acceptabilité du dispositif des formateurs en formation et par des EA. Dans un second temps il s'agit de vérifier que les échanges permettent bien de questionner plusieurs dimensions des pratiques et de mettre les utilisateurs dans une posture réflexive durant le temps de formation. L'analyse des contenus de savoirs qui ont été institutionnalisés par le formateur en fin de session est également un point important. Elle amène à vérifier si les échanges sont parvenus à faire émerger des savoirs si ce n'est individuellement au moins collectivement. Je dispose des traces du travail des utilisateurs sur Moodle : le nombre de tentatives. Pour les utilisateurs en face à face, j'ai enregistré des écrans et les échanges. Pour tous, je dispose également d'un questionnaire rapide (annexe 4) qui vérifie l'acceptabilité du simulateur et les compétences que les utilisateurs pensent avoir acquises. Il porte sur le réalisme de l'artefact, le réalisme de la situation, le fait que l'utilisateur pense avoir travaillé des compétences sur l'enseignement des mathématiques et enfin un avis général sur l'artefact.

Étant donné le petit nombre de répondants et l'aspect exploratoire du travail, nous ne donnerons pas de statistiques détaillées, mais seulement quelques éléments qui devront être confirmés par d'autres études à grande échelle.

Les réponses au questionnaire confirmant le réalisme de la simulation, sa pertinence et le fait que les utilisateurs jouent 5 à 10 simulations au cours d'une formation de deux heures permettent de vérifier l'hypothèse d'acceptabilité, mais aussi le fait que le simulateur permet d'accélérer l'expérience. Les analyses des sessions sont toujours en cours, mais la première analyse montre que les questions des stagiaires abordent plusieurs dimensions de leurs pratiques ainsi que leur rôle dans les entretiens. L'analyse de la gestion de la mise en commun par l'avatar permet de s'interroger sur le rôle de la géométrie dynamique dans la dernière phase de travail, celle de démonstration. Les stagiaires émettent l'hypothèse que l'enseignant fait seul la mise en commun parce qu'il manque de temps. Tout au long des échanges, les étudiants s'interrogent sur ce choix qui est de vouloir tout clore en une seule séance. Après de nombreux échanges, parfois difficiles, ils proposent des alternatives : reprendre la partie démonstration de l'activité dans une salle normale (sans ordinateurs) avec un vidéoprojecteur sur lequel les élèves peuvent venir faire des vérifications. L'enjeu serait alors de vraiment laisser le temps aux élèves de faire une démonstration. Par exemple, au démarrage de la première simulation, ils se demandent quel est leur rôle dans le jeu : inspecteur, formateur, pair... ce qui permet ensuite de questionner leur représentation des différentes postures. Le travail en simulateur permet donc de questionner les

choix faits par les enseignants au moins aussi bien que l'analyse de vidéo. D'autres analyses doivent être effectuées, en particulier pour la formation des formateurs.

Ce travail sur deux simulateurs spécifiques pose la question des contenus et de la place de l'analyse didactique dans les scénarios de formation. Pour former les enseignants de mathématiques, des connaissances sur les pratiques d'enseignement et leurs effets potentiels sur les apprentissages des élèves sont nécessaires. Une partie de mes travaux porte sur l'ingénierie didactique des dispositifs complets d'enseignement. Ils fournissent une base pratique et théorique.

1.3. Le rôle de la didactique des mathématiques dans la conception des simulateurs

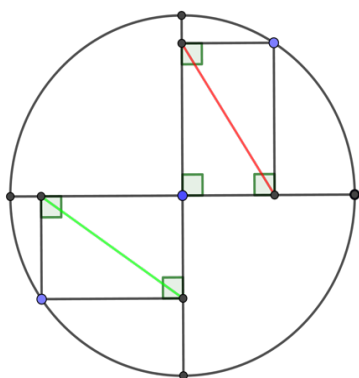
La didactique des mathématiques intervient à plusieurs niveaux dans la conception et la mise en œuvre de nos simulateurs. J'analyse ici les deux situations d'enseignement des mathématiques qui sont au cœur de SIC pour la première et de SAP pour la seconde. Ces deux situations ont été d'abord choisies dans ma thèse de doctorat (Emprin, 2007) comme support à l'analyse réflexive des pratiques enseignantes, à partir de l'analyse de vidéos, dans une ingénierie didactique de formation (Figure 4 p. 23) c'est-à-dire une méthode de recherche fondée sur l'ingénierie didactique (Artigue, 2002a et 2002b). Il s'agit de construire des hypothèses a priori, basées sur des connaissances théoriques et de les tester dans un dispositif permettant de les mettre à l'épreuve. Il y a alors un processus de validation interne par la confrontation des hypothèses à l'expérimentation.

Pour SIC, la situation d'enseignement se situe à la transition entre l'école et le collège. Pour SAP, elle concerne des élèves de 4^{ème}. Je disposais, lors de mon travail doctoral, de deux mises en œuvre complètes avec entretien *a priori* et *a posteriori* de l'enseignant de la classe, pour chacune des situations. Pour SIC, la situation a été ré-expérimentée et analysée en formation (préparation de séances, analyses *a priori* et *a posteriori* après visionnage de la vidéo). Pour SAP, la situation a été complétée à partir de cadres théoriques, sur lesquels je ne reviens pas dans ce chapitre, permettant de modéliser la situation d'accompagnement lors d'un entretien d'analyse de pratiques (le croisement du modèle MERID (Hennissen & al., 2008) et des dilemmes de Mieusset (2013) (voir paragraphe 1. 2. 4. p. 42)). L'ensemble des données recueillies est analysé au moyen des outils issus des cadres théoriques, présentés ci-dessous, de façon à modéliser les choix de l'enseignant, les réactions des élèves et les savoirs qui peuvent émerger lors d'une formation.

Pour les choix de l'enseignant, les cadres utilisés sont la DADE (voir paragraphe 1. 1. 1. p.6) et la TSD (Brousseau, 1987 et 1998). Les différentes composantes des pratiques sont utilisées pour analyser les choix de l'enseignant en termes d'itinéraires cognitifs proposés aux élèves mais aussi en termes de genèses instrumentales potentielles. La TSD permet : d'identifier des phases dans les séances qui sont ou qui ne sont pas de dévolution, a-didactiques, d'institutionnalisation ; d'analyser le milieu antagoniste ou non, en termes de rétroactions possibles et de l'existence d'une procédure optimale. Enfin, on peut identifier les concepts didactiques qui permettent de comprendre ou d'éclairer les procédures des élèves, leurs difficultés et d'analyser le problème proposé. Le fait que ces situations mettent en jeu des artefacts numériques nécessite d'utiliser un cadre adéquat pour regarder le processus de médiation de ces artefacts entre l'élève et le savoir, entre l'enseignant et la situation d'enseignement. L'approche instrumentale, AI (Rabardel, 1995) convient pour cette analyse.

1. 3. 1. Analyse de la conception de SIC

Éléments saillants dans l'analyse a priori du problème



Construisez cette figure géométrique dans votre logiciel de géométrie en respectant les informations données par le codage.

Dites lequel des deux segments, le rouge ou le vert est le plus grand.

Explique pourquoi.

Figure 27 : énoncé du problème utilisé dans SIC

Il s'agit ici d'un scénario proposé dans plusieurs ressources à destination des enseignants du second degré en papier crayon qui a été adapté au LGD. Ce problème, posé en 6^{ème}, est considéré dans ces ressources et par les enseignants qui l'ont expérimenté comme un problème ouvert au sens d'Arsac et Mante (2007).

Une façon de résoudre ce problème est d'abord d'identifier que les deux segments sont en fait les diagonales de deux rectangles, puis mobiliser le fait que les diagonales des deux rectangles étant isométriques elles sont donc toutes deux de longueur égale au diamètre du cercle. Elles sont donc de même mesure.

Il y a plusieurs difficultés analysables du point de vue didactique :

La construction à réaliser dans un LGD nécessite des connaissances spécifiques qui ne sont pas les mêmes que celles pour tracer la figure en papier crayon notamment l'ordre de construction, les outils à disposition dans le logiciel (les primitives du logiciel que l'enseignant peut choisir d'autoriser ou non) et la robustesse des dessins (Vandebrouck et Robert, 2017b).

En effet, si les élèves commencent par tracer le cercle, par exemple en utilisant la primitive (cercle de centre... passant par le point) ils sont confrontés à la difficulté du tracé d'un diamètre. Ils peuvent alors tracer une droite qui passe par le centre du cercle et le point de construction sur le cercle. Puis construire le point d'intersection de cette droite avec le cercle. Enfin, tracer le segment et masquer la droite de construction. La difficulté est la même pour obtenir le diamètre perpendiculaire. Les élèves doivent ensuite placer un point sur le cercle tout en pensant à lier au cercle (primitive « point sur un objet »), sinon la construction ne sera pas résistante...

Nous avons synthétisé dans (Emprin et Sabra, 2019) les éléments essentiels liés à cette situation :

« Le problème de construction dans le LGD nécessite donc a minima de la part de l'élève la connaissance des primitives : « droite perpendiculaire à... passant par... », « point sur », « point intersection », « point milieu », « cercle de centre... passant par... ». Les difficultés pour obtenir une construction résistante (Laborde et Capponi, 1994) sont dépendantes de l'ordre de la construction. Il est plus difficile de construire d'abord le cercle puis ses diamètres perpendiculaires que de commencer par les diamètres. La demande de l'enseignant de supprimer des traits de construction ajoute à la complexité de la tâche. Ce travail n'apporte de fait que peu d'informations à l'élève pour mener la phase de conjecture qui suit. En effet, la conjecture peut être réalisée en utilisant l'outil « mesure » du LGD, en déplaçant les points liés au cercle pour les superposer, et non en utilisant les primitives de construction. La phase de démonstration nécessite d'avoir remarqué que les deux segments sont les diagonales de deux rectangles dont la seconde diagonale est en fait le rayon du cercle. Ce problème nécessite pour l'élève de mobiliser la propriété des diagonales du rectangle. La partie construction et la partie conjecture/démonstration sont assez indépendantes, car elles ne mobilisent pas les mêmes connaissances. Le LGD est utilisé dans la première partie comme outil de construction avec ses contraintes propres (résistance de la construction) et dans la deuxième partie pour les aspects dynamiques (possibilité de déplacer les points) ainsi que pour les outils de contrôles (mesure) et la possibilité de réaliser de nouvelles constructions (second diamètre des rectangles). En termes de genèses instrumentales potentielles des élèves, le LGD peut être vu de deux façons : comme un lieu de conjecture qui permet de tester de nombreuses

configurations et de se faire un avis, ou comme un outil qui apporte un résultat en indiquant que les deux longueurs sont égales (comme la calculatrice donne le résultat d'un calcul).

Par ailleurs si en papier crayon les deux diamètres du cercle (comme sur la Figure 27 p. 56) sont horizontaux et verticaux dans le LGD, du fait de la possibilité de glisser des points, le dessin peut être en position non prototypique. Le fait qu'il y ait des sous-figures et des sur-figures (Mercier, 2005) à repérer présente une difficulté supplémentaire. En effet les secondes diagonales des rectangles ne sont pas tracées. De façon globale, ce travail permet donc de questionner le rôle du dessin dans la formulation de la conjecture et de la démonstration (Richard, 2004a ; Coutat et al. 2014).

Par ailleurs, la question posée aux élèves est floue quant aux intentions de l'enseignant. Est-ce que « expliquer pourquoi ? » renvoie à l'idée de preuve, de démonstration ou simplement d'explication ? La distinction entre ces trois termes (Balacheff, 1998 ; Arzarello et al., 1998 ; Richard, 2004b ; Richard et al., 2008), notamment quand un LGD est utilisé (Mariotti, 2000) est un point fondamental de l'enseignement des mathématiques.

En conclusion, cette situation et sa mise en œuvre peuvent conduire à plusieurs niveaux d'analyse en formation d'enseignants : l'utilisation du LGD pour construire un dessin, pour apprendre à utiliser un vocabulaire précis, pour conjecturer, pour interroger le statut de la preuve, pour amener à identifier des sous-figures et des sur-figures.

Éléments saillants dans l'analyse de mise en œuvre

La mise en œuvre d'une telle situation d'enseignement vise à recueillir les choix des enseignants. Ils sont de deux ordres : didactique et ce que je qualifierai de pédagogique (au sens commun). Le premier concerne les enjeux du problème que l'élève va avoir à résoudre : construction d'une figure dans le LGD ou non (le fichier est fourni partiellement ou totalement à l'élève) et rôle du dessin dans la conjecture, rôles des phases de conjecture, de preuve, d'institutionnalisation. Ici, la TSD permet de mesurer la distance entre ce qui est proposé et les concepts de dévolution, situation didactique, phase a-didactique (d'une situation), milieu antagoniste, institutionnalisation, gestion du temps des apprentissages... Les aspects pédagogiques sont ceux qui sont indépendants de la situation d'enseignement en mathématique : choix des conditions pour donner la consigne (ordinateurs allumés ou éteints), choix des modalités d'interactions avec les élèves (collectives, individuelles), gestion du temps du point de vue de l'attention des élèves...

Éléments saillants dans la conception du simulateur SIC

Le premier choix consiste programmer dans le simulateur des choix qui ont été observés dans les pratiques ou dans les préparations. Cela conditionne la nature de la simulation : elle simule des pratiques ordinaires au sens de celles étudiées par Coulange (2012). Ce choix a été mis en discussion lors de l'école d'été de didactique de 2017 (Emprin et al., 2017) : est-ce que, pour faire évoluer les pratiques, il ne faudrait pas plutôt proposer à l'utilisateur du simulateur des choix plus riches, basés sur les connaissances didactiques et donc auxquelles il n'aurait pas pensé ? Il me semble que nous avons alors deux types de simulateurs de classe : l'un qui permet de questionner les pratiques ordinaires et leurs effets, et l'autre qui permet de tester des nouvelles pratiques, plus riches. Mon hypothèse est que SIC basé sur des pratiques ordinaires pourrait être un préalable et une nécessité avant de passer à la conception de simulation du deuxième type : partir de là où en sont les enseignants pour les amener à analyser des pratiques habituelles, en comprendre les effets pour les remettre en question et ensuite les faire évoluer. Ce choix correspond à l'idée de Zone Proximale de Développement Professionnel (ZPDP) définie par Robert et Rogalski (2015).

Les procédures et les difficultés observées chez les élèves ont été quantifiées et restituées dans le logiciel en s'appuyant sur l'analyse *a priori*. Ainsi, le nombre d'élèves qui réussit à faire une construction résistante dans le LGD, à conjecturer à partir d'une construction juste ou fautive, à mobiliser ou à formuler la propriété d'égalité des longueurs des diagonales du rectangle correspond à la proportion observée. Les effets sur les apprentissages des élèves ont été quantifiés à trois étapes : à la fin de la séance par l'analyse des réponses des élèves à la question : est-ce que les longueurs sont égales ? Mais aussi par les arguments écrits ou formulés lors de la mise en commun et enfin en interrogeant les élèves une semaine plus tard pour savoir ce qu'ils avaient retenu de la situation. Les modèles que j'ai programmés dans SIC découlent des observations : les élèves qui n'ont pas une figure correcte (résistante) ne parviennent pas à conjecturer. Même avec une figure correcte la preuve est difficile à produire si les élèves ne sont pas habitués (ou incités) à utiliser les outils du LGD : déplacement des points, outils de mesure, ajout de segments supplémentaires. Par ailleurs, en l'absence d'institutionnalisation formelle faite lors de la séance ou à sa suite, même les élèves ayant trouvé des arguments corrects en restent aux aspects superficiels du problème, c'est-à-dire au fait que les deux segments étaient effectivement de même mesure. C'est la seule chose qu'ils retiennent.

Les choix pédagogiques de l'enseignant sont également programmés avec leurs effets sur les élèves. Ainsi, lorsque la consigne est donnée alors que les élèves font autre chose (allumage des ordinateurs par exemple) seul 1/3 des élèves est capable de restituer la consigne. En

revanche quand ils sont interrogés, si un élève reformule la consigne, même ceux qui n'avaient pas écouté au départ sont ensuite capables de la reformuler. Les enseignants qui privilégient les interactions individuelles passent beaucoup plus de temps que ceux qui interagissent avec le groupe mais ces dernières interactions ont plus de déperditions que les interactions individuelles. Enfin, certains choix sont aussi basés sur des hypothèses pédagogiques confirmées par de nombreuses observations : les élèves s'agitent dans le simulateur quand ils ne comprennent pas ou n'arrivent pas à faire la tâche, ou quand ils ont terminé le travail et n'ont pas de nouvelle consigne.

Le rapport de l'enseignant aux mathématiques (composante personnelle des pratiques notamment) est également questionné dans cette simulation. Quel est le rapport des mathématiques à la réalité ou encore quels sont les principes logiques qui régissent la démonstration en mathématique ? Cette question peut être abordée en formation avec des cadres didactiques sous l'angle du passage du spatial au géométrique (Berthelot et Salin, 1992) ou sous celui des différents niveaux de géométrie GI, GII, GIII (Houdement et Kuzniak, 1999 et 2006) mais aussi du point de vue des mathématiques. En effet, dans ce problème l'élève doit passer de la perception ou de la mesure (qu'elle soit papier-crayon ou informatique) à la démonstration d'une propriété. Or la géométrie Euclidienne, caractérisée par les axiomes d'Euclide (Peyrard, 1804) correspond à une mathématisation du réel alors que l'axiomatique de Hilbert (1900) donne à la géométrie un statut indépendant du réel. Le questionnement de formation peut donc renvoyer à des questionnements mathématiques. Les nombreux travaux comme ceux de Bkouche (1997) ou portés par les IREM permettent de questionner et d'éclairer les choix d'enseignement. En effet, dans les situations simulées se pose la question de la place du dessin et de la figure, en particulier le statut de ce qui est dessiné dans un LGD, de son rôle dans le processus de preuve : entre aide à l'intuition et obstacle à la démonstration (voir 1. 2. 1. notamment les travaux sur l'enseignement de la preuve).

L'ensemble de ces éléments fait du simulateur un artefact de la situation de formation qui permet l'accès à des concepts didactiques.

Principaux concepts issus de la didactique en jeu

L'analyse *a posteriori* de la conception du simulateur à partir des observations permet de questionner lors d'une situation de formation plusieurs aspects didactiques :

Quand les enseignants terminent la séance de simulation, le logiciel leur renvoie que peu d'apprentissages ont été réellement réalisés par les élèves. Ceci est réaliste par rapport au poids d'une unique situation dans l'ensemble des apprentissages : que peut réellement apprendre une

classe en 55 minutes ? Néanmoins cela va à l'encontre des représentations des enseignants qui se déclarent frustrés par ce résultat. Cela peut être révélateur de leur représentation de l'apprentissage (composante personnelle) ou encore du jeu sur l'ordinateur. En effet, dans un jeu sur ordinateur il est souvent possible de gagner.

Néanmoins il existe des stratégies qui favorisent des apprentissages chez les élèves virtuels. Elles sont de deux types : l'existence d'une réelle phase d'institutionnalisation et d'un temps suffisant de confrontation à la figure correctement construite dans le LGD pour conjecturer, chercher... Avec une figure erronée ou sans un temps suffisant, la confrontation de l'élève au milieu ne serait pas effective.

Par ailleurs, la programmation de la simulation empêche l'enseignant de construire seul le texte du savoir. C'est-à-dire qu'il ne peut écrire au tableau que ce que les élèves ont dit. Ce choix n'est pas issu des observations de classe mais est basé sur une volonté du chercheur de questionner le rôle de l'enseignant dans les phases d'institutionnalisation grâce à la simulation.

Les concepts didactiques de sous-sur figure (Mercier, 2005), de dessins vs figure (Duval, 1993 ; Laborde, 1985) et de preuve sont bien présents dans la simulation en ce sens qu'ils permettent d'analyser des difficultés ou des procédures des élèves : difficultés à repérer les rectangles dans le dessin et à voir que la deuxième diagonale est un rayon du cercle.

Le statut du dessin pour les élèves, en lien avec leur genèse instrumentale du LGD, reste très proche de celle du papier/crayon. Alors qu'ils sont, en fait, confrontés à une classe de dessins ayant les mêmes propriétés, ils ne l'utilisent, pour beaucoup, que comme un représentant unique de la figure.

Enfin la question de ce qui fonde la preuve en mathématiques peut être abordée (Mariotti, 2002) alors même que le logiciel fournit une réponse satisfaisante. En utilisant l'outil mesures, le logiciel indique que les longueurs sont égales. Certains élèves virtuels sont programmés pour ne pas proposer de démonstration à partir du moment où ils ont une réponse donnée par le logiciel.

La place de la situation de classe dans SAP est un peu différente mais a des caractéristiques didactiques proches

1. 3. 2. Analyse de la conception de SAP

Les notions didactiques qui peuvent être questionnées dans l'entretien simulé dans SAP viennent d'une analyse de situations de classe réellement observées qui a fait l'objet d'une analyse *a priori*.

Éléments saillants de l'analyse a priori de la situation dans SAP

La situation d'enseignement sur laquelle s'appuie SAP vise la démonstration par les élèves en classe de 4ème du fait que les médiatrices d'un triangle sont concourantes au centre du cercle circonscrit à ce triangle (fiche élève en annexe 2 et Figure 28 p.62). Les élèves doivent d'abord construire un triangle « quelconque » dans un LGD, puis les médiatrices de ces côtés (les deux propriétés des médiatrices : « droite passant par le milieu du segment et perpendiculaire au segment » et « ensemble des points équidistants des deux extrémités du segment » ayant été vues précédemment). Ils doivent ensuite conjecturer que les trois droites sont concourantes puis démontrer que ce point de concours est le centre du cercle circonscrit au triangle. Pour cela l'enseignant leur demande de placer le point O intersection des médiatrices et de mesurer les segments [OA], [OB], [OC]. (Figure 28 p.62).

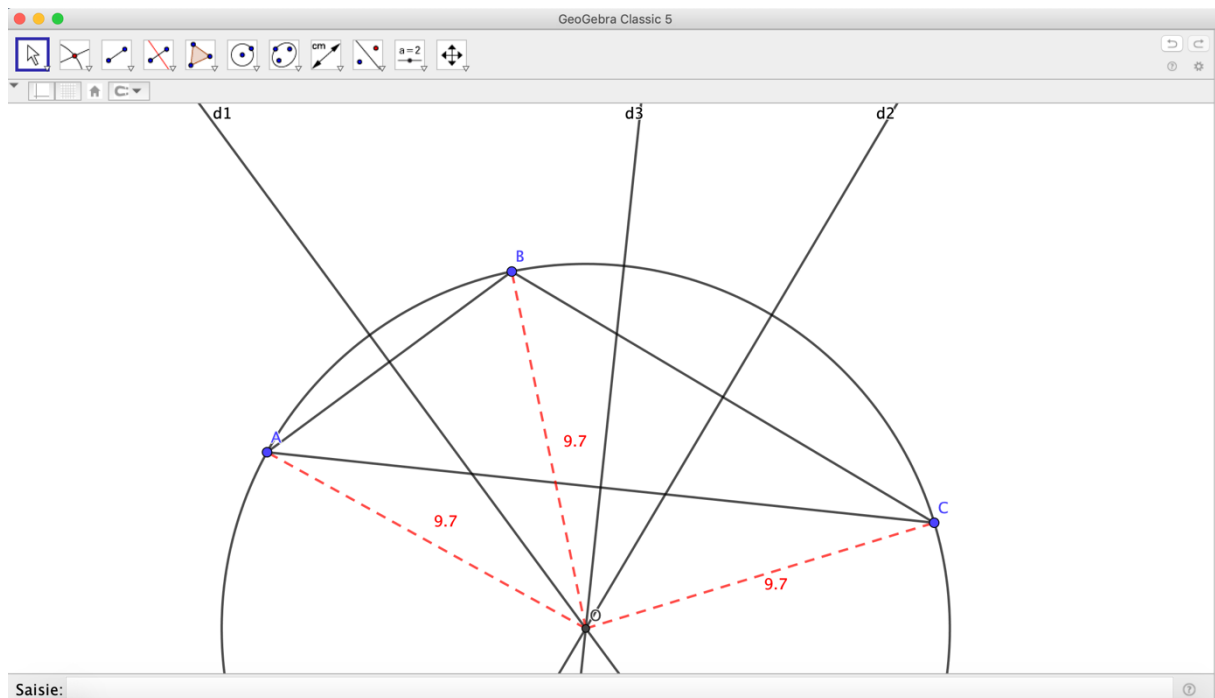


Figure 28 : réalisation attendue dans le LGD pour la situation de classe incluse dans SAP.

Au niveau des genèses instrumentales, l'élève doit avoir construit un rapport au dessin dans les LGD qui lui permette de comprendre qu'il a obtenu une classe de dessins ayant les mêmes propriétés et non un dessin unique. Un élément clé est la résistance de la construction (Laborde 2000, Restrepo 2008, Baccaglioni-Frank & Mariotti 2010) suggérée dans l'énoncé par les phrases « Attention : il faut toujours penser à lier les points aux objets tracés. » ou « Vérifier que les points A, B, et C sont « fixés » sur le cercle en déplaçant le point A par exemple ».

L'énoncé, dans le cas de la situation d'enseignement proposée dans le simulateur, est très guidant par la présence de questions intermédiaires (l'activité est découpée en « manipulations ») mais aussi par les phrases à trous qui nécessitent d'utiliser par exemple le nom « concours » (O est le point de [concours] des trois médiatrices). Le fait que les trois médiatrices sont concourantes n'est pas démontré par les élèves, il s'agit d'un constat basé sur le dessin obtenu dans le LGD. De fait, la démonstration nécessite de comprendre que « la médiatrice est l'ensemble des points équidistants des extrémités » signifie que tout point de la médiatrice est équidistant des extrémités du segment et que tout point équidistant des extrémités du segment appartient à la médiatrice. Par ailleurs, il faut considérer, par exemple, le point O intersection de d_1 et d_2 et démontrer qu'il appartient à d_3 . Il faut pour cela faire, en quelque sorte, abstraction de ce qui a été observé et ne pas considérer au départ que $O \in d_3$. On peut noter un problème lié au fait que les élèves n'ont peut-être pas conscience de ce qu'ils ont à démontrer (le fait que le point de concours est le centre du cercle circonscrit au triangle) et de ce qu'ils ont admis (l'existence du point de concours). Par ailleurs une fois la démonstration rédigée, l'enseignant demande de vérifier sur le dessin ce qui peut à nouveau questionner le statut de la démonstration.

Il est également probable que les élèves aient en tête des figures prototypiques des droites remarquables du triangle et notamment des configurations où l'intersection des médiatrices est « à l'intérieur » du triangle. Les déplacements des points dans le LGD vont amener les élèves à voir des configurations où le centre du cercle circonscrit est « extérieur » au triangle et les cas limites où le triangle est rectangle et le centre du cercle circonscrit est le milieu de l'hypoténuse. Ces configurations peuvent interpeller les élèves.

Éléments saillants dans l'analyse de la mise en œuvre

Pour montrer le potentiel de la situation, j'analyse trois extraits d'échanges entre l'enseignant et les élèves. Ils sont disponibles dans le simulateur sous forme d'extraits vidéos sous-titrés et de transcriptions (ces transcriptions sont reproduites en annexe 3). Il apparaît dès le départ que les élèves n'ont pas construit un instrument adapté à ce qui leur est demandé à partir de l'artefact LGD. En effet, dans le premier extrait (ci-dessous) on voit que les élèves, alors qu'ils ont à disposition toutes les primitives du logiciel dont [point milieu d'un segment], transposent les techniques papier-crayon en mesurant la longueur du côté puis en divisant par deux pour trouver le milieu. Cette technique conduit à un dessin non résistant dans un LGD comme le montre l'extrait ci-dessous :

Enseignant (P) : Alors qu'est-ce qui se passe ?

Élève (E) : Là c'est plus au milieu

P : Quel est le problème là ?

E : Y en a pas

P : Alors comment vous pouvez affirmer que c'est le milieu ? Vous allez me dire oui, j'ai mesuré et j'ai placé au milieu, mais est-ce que pour la figure c'est quelque chose qui est stable ?

E : Non

P : Bon, alors, est-ce que c'est comme ça qu'il faut faire ?

E : Non

P : Alors qu'est-ce qu'on va faire ?

E : On va recommencer

Les élèves utilisent des connaissances mathématiques correctes : la distance d'un point d'extrémité du segment au milieu est la moitié de la longueur du segment mais cette construction n'est pas résistante au déplacement. L'intervention de l'enseignant ne permet pas aux élèves de comprendre le contrat didactique (Brousseau, 1990) spécifique à la LGD. Il leur demande si elle est stable, mais ne se réfère pas à un contrat du type : "pour être correcte une construction doit résister à tous les mouvements". On remarque aussi que les genèses instrumentales du LGD sont pauvres pour ces élèves : ils ne déplacent pas les points par eux-mêmes et n'utilisent pas les constructions primitives implémentées dans le logiciel pour construire des points résistants. La genèse instrumentale de l'enseignant est également faible : il n'utilise pas le logiciel comme environnement d'apprentissage avec rétroaction du milieu et ne semble pas non plus utiliser le statut de classe de dessins de ce qui est produit dans le LGD avant la fin de la séance. Les élèves semblent donc raisonner sur un dessin statique.

Dans un deuxième extrait, présenté intégralement en annexe 3, l'enseignant demande aux élèves de donner une définition de la médiatrice. La réponse des élèves est : "Une droite qui passe par le milieu d'un segment et perpendiculaire". L'enseignant commence alors un échange sur le fait que l'élève n'a pas utilisé l'article correct — déclarant que l'élève n'aurait pas dû utiliser "UNE" mais plutôt "LA". Ce choix est discutable parce qu'il amène l'élève à se poser une question qui n'est pas directement liée à la résolution du problème — même si l'argument de l'enseignant est correct. Le risque pourrait être que l'élève, remette en cause l'ensemble de la propriété énoncée.

Le troisième extrait concerne « propriété et invariance ». Il se déroule alors qu'un groupe a correctement dessiné les trois médiatrices du triangle. L'enseignant leur demande ensuite de déplacer un sommet. Tout d'abord, l'élève s'inquiète de ce qu'il va "avoir tout faux",

puis il se demande pourquoi l'une des trois médiatrices ne bouge pas. L'élève ne peut rien conclure d'autre que le fait qu'il y a une "base" dans le triangle qui fait que la médiatrice de la base ne bouge pas. Ce qui est intéressant ici, c'est qu'il illustre comment des déplacements de points sur un dessin résistant peuvent amener les élèves à identifier des phénomènes qui leur permettent de mieux comprendre les propriétés mathématiques. Il démontre, une fois de plus, que la genèse instrumentale de l'élève et de l'enseignant est trop faible pour bénéficier du travail sur LGD. En conséquence, le défi de l'entretien pourra être d'amener l'enseignant à réaliser le potentiel du LGD.

Le dernier extrait concerne la mise en commun. Elle est très typique parce que seul le professeur parle. Il fait deviner les mots aux élèves à l'aide d'effets Topaze (Brousseau, 1997). Une question posée aux élèves est progressivement reformulée jusqu'à ce que la réponse attendue soit générée automatiquement : " Dans le cas où vous avez trois droites, quel est le mot que l'on utilise pour désigner le point ? Le point de.../con-cours, et on dit donc que les trois droites sont...//con-courrantes. Alors, là, vous voyez encore une fois, difficulté de la maîtrise du vocabulaire. Il s'agit de traduire les choses. ». L'enjeu de l'étude de cet extrait est d'interroger ce choix d'organisation de la mise en commun et d'en analyser les limites.

Il apparaît un décalage entre l'analyse a-priori et la mise en œuvre du aux genèses instrumentales réelles des élèves du LGD mais aussi à l'objectif de la séance qui n'est que partiellement abordé lors de la mise en commun. Ce décalage est utilisé comme sujet de l'entretien dans SAP. Il permet d'implémenter des objectifs en termes de concepts didactiques à travailler ou potentiellement travaillés avec l'enseignant virtuel.

Éléments saillants dans la conception du simulateur

SAP, comme artefact d'une situation de formation permet de faire apparaître deux types de questionnements, l'un sur les aspects didactiques de la situation d'enseignement support à l'entretien (voir paragraphe précédent) et l'autre sur les dilemmes de l'accompagnement dans une situation d'entretien. Je ne reviens pas sur le premier aspect qui a été développé en 1. 2. 4. P. 42. Sur les aspects didactiques, le simulateur a été programmé pour permettre à l'utilisateur de faire émerger 5 éléments :

- Les insuffisances dans les genèses instrumentales des élèves pour mener à bien les « manipulations » demandées par la consigne ;
- Les insuffisances dans les genèses instrumentales de l'enseignant notamment, l'absence d'instrumentalisation du rôle du déplacement ;

- Le fait que l'enseignant a des interventions didactiques qui apportent la réponse aux élèves, là où il était initialement prévu que les élèves cherchent. Cet élément est un corolaire du précédent, en effet les élèves ne peuvent pas utiliser les rétroactions du milieu dont les caractéristiques sont déterminées par le LGD.
- Le fait que certaines interventions de l'enseignant ne correspondent pas aux objectifs fixés a priori (différence entre UNE et LA) et que ce questionnement peut éloigner les élèves de l'enjeu de l'activité.
- Le rôle de la phase de mise en commun dans l'émergence des savoirs.

À la fin de la simulation, il est demandé à l'utilisateur de dire s'il pense que l'enseignant virtuel a pris conscience de ces aspects, puis l'avatar confirme ou infirme.

SIC et SAP sont deux artefacts utilisés dans une situation de formation des enseignants. Ils comportent, dans leur programmation une partie dépendante et une partie indépendante de la situation d'enseignement sur laquelle il s'appuie. Cette partie dépendante concerne la situation didactique, elle conditionne les concepts, issus de la didactique, qui pourront être questionnés dans la situation de formation des enseignants.

Dans la partie suivante nous regardons les aspects mathématique et informatique en jeu dans la conception de nos artefacts.

1. 3. 3. Synthèses des aspects liés à la programmation et à l'informatique

La conception de simulateurs informatiques nécessite de s'intéresser aux questions de programmation mais aussi liées à l'informatique elle-même.

La conception et le développement d'un simulateur correspondent à la construction d'une superposition de graphes orientés pondérés. Chaque interaction entre utilisateur et simulateur est un des sommets du graphe. Les chemins sont orientés : c'est un choix de conception. J'aurais pu laisser la possibilité à l'utilisateur de revenir en arrière sur un ou plusieurs choix mais cela aurait changé la focale de la formation : au lieu de travailler sur une séance de classe et donc les apprentissages, le risque aurait été de faire se focaliser sur des micro choix. Les chemins du graphe sont pondérés et il leur est attribué une valeur qui correspond à un des paramètres que j'ai déterminé d'une part pour SIC : l'avancement dans le parcours pour l'élève, l'appropriation des concepts, ce que les élèves savent sur la question posée et aussi leur niveau d'agitation et d'autre part pour SAP : le positionnement sur les différents dilemmes (cf. paragraphe 1.2.4) et les concepts didactiques abordés dans le cadre de la situation d'apprentissage. Ainsi, soit je

considère que les pondérations du graphe sont des n-uplets, soit je considère qu'il y a une superposition d'autant de graphes que de variables. Au niveau de la programmation j'ai fait le premier choix. Cette modélisation en termes de graphes me permet d'envisager la modélisation des simulateurs (sous forme matricielle par exemple) et des outils d'analyse par exemple grâce aux algorithmes de parcours de graphes. Cela permet d'envisager de formaliser le recueil d'informations lors de l'observation de classe (démarche que nous avons utilisée pour le simulateur informatique de classe). Une piste de travail intéressante pourrait être de mobiliser ces outils mathématiques pour analyser les simulations et de se demander comment interpréter les résultats obtenus d'un point de vue de la nature ou des effets de la simulation. Par exemple un indicateur simple à calculer comme la densité du graphe est-il pertinent pour la formation des enseignants ? Les futures simulations qui seront produites pourront ainsi donner lieu à une analyse mathématique.

Du point de vue informatique, mes choix en termes de langage de programmation et d'ergonomie ont évolué. J'ai programmé le premier simulateur en JavaScript et HTML. Ce langage ayant la particularité d'être interprété par le navigateur et n'ayant quasiment aucun accès au disque de dur de la machine qui l'exécute, il est à la fois transplateforme (Mac OS, Windows) et assez sûr. SIC a ensuite été reprogrammé en php pour autoriser un stockage des parcours des utilisateurs (si les utilisateurs l'acceptent expressément et de façon anonyme). Dans les deux cas, la programmation du simulateur était spécifique à chaque simulation. Pour programmer une nouvelle simulation, il fallait reprendre tout le code. La dernière solution technique, l'usage de VTS, nous permet de dessiner directement des graphes dans une interface graphique dédiée. Le logiciel prend alors en charge la transformation du graphe en une simulation animée. Une limitation existant dans les premières versions de VTS était qu'il n'utilisait que des variables booléennes. L'implémentation de graphes pondérés avec des variables multiples était alors quasi impossible. Cette limitation étant levée dans les nouvelles versions, nous utilisons ce système couplé à celui des variables nommées « compétences » dans le logiciel mais qui peuvent tout à fait être renommées.

Les simulateurs comportent deux modules, l'un spécifique à la situation simulée et qui est de fait interchangeable avec d'autres situations (situation didactique) et l'autre qui peut rester fixe concerne les aspects médiations (interactions humaines : parler à un individu ou au groupe, écrire au tableau...). Les ingénieries didactiques sont des sources sur lesquelles s'appuyer.

1. 3. 4. Des ingénieries didactiques sur lesquelles s'appuyer.

L'équipe ERMEL dont je fais partie depuis 1999 (Équipe de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques à l'École Élémentaire – IFé ENS-Lyon) conçoit, expérimente, et produit des ingénieries didactiques (Artigue, 2002a) sur l'ensemble de l'enseignement des mathématiques à l'école. Elle réunit des enseignants, des formateurs, et des enseignants chercheurs qui ont conduit des recherches sur les apprentissages mathématiques à l'école, d'abord dans le domaine numérique puis géométrique. Ces recherches ont abouti à la production de 6 ouvrages, « Apprentissages numériques et résolution de problèmes » de la GS au CM2 (de 5 à 11 ans) (ERMEL, 1990, 1991, 1992, 1999, 2000) et d'un ouvrage dans le domaine géométrique destiné à un enseignement du CE2 au CM2 ERMEL (2006). Actuellement, notre équipe travaille sur les apprentissages spatiaux et géométriques de la GS au CE1, dans la continuité de la recherche précédente dont certains travaux ont déjà été publiés dans des revues interfaces et des actes de colloques de formateurs (Douaire, Emprin et Rajain, 2009, 2007 ; Douaire et Emprin, à paraître, 2018, 2017, 2015a, 2015b, 2014, 2011 ; Argaud, Barbier, Douaire, Emprin, Gerdil-Margueron et Vivier, 2016). Ces ingénieries, expérimentées durant plusieurs années dans des contextes différents, fournissent une analyse du savoir mathématique en jeu, des informations sur les erreurs, les types de procédures, les raisonnements et les variables didactiques sur lesquelles jouer pour les faire évoluer des élèves, sur les processus d'apprentissages (Douaire et Emprin, 2014, 2015a, 2015b, 2017) et des situations « robustes » du point de leur résistance à la mise en œuvre en classe (Vandebrouck et Robert, 2017a, p. 9) et des savoirs (Assude, 2017) c'est-à-dire des situations dont les effets sont prévisibles et stables comme illustré sur la Figure 29. Ces analyses mobilisent des cadres théoriques comme la théorie des champs conceptuels (Vergnaud, 1990), la TSD (Brousseau, 1987, 1998).

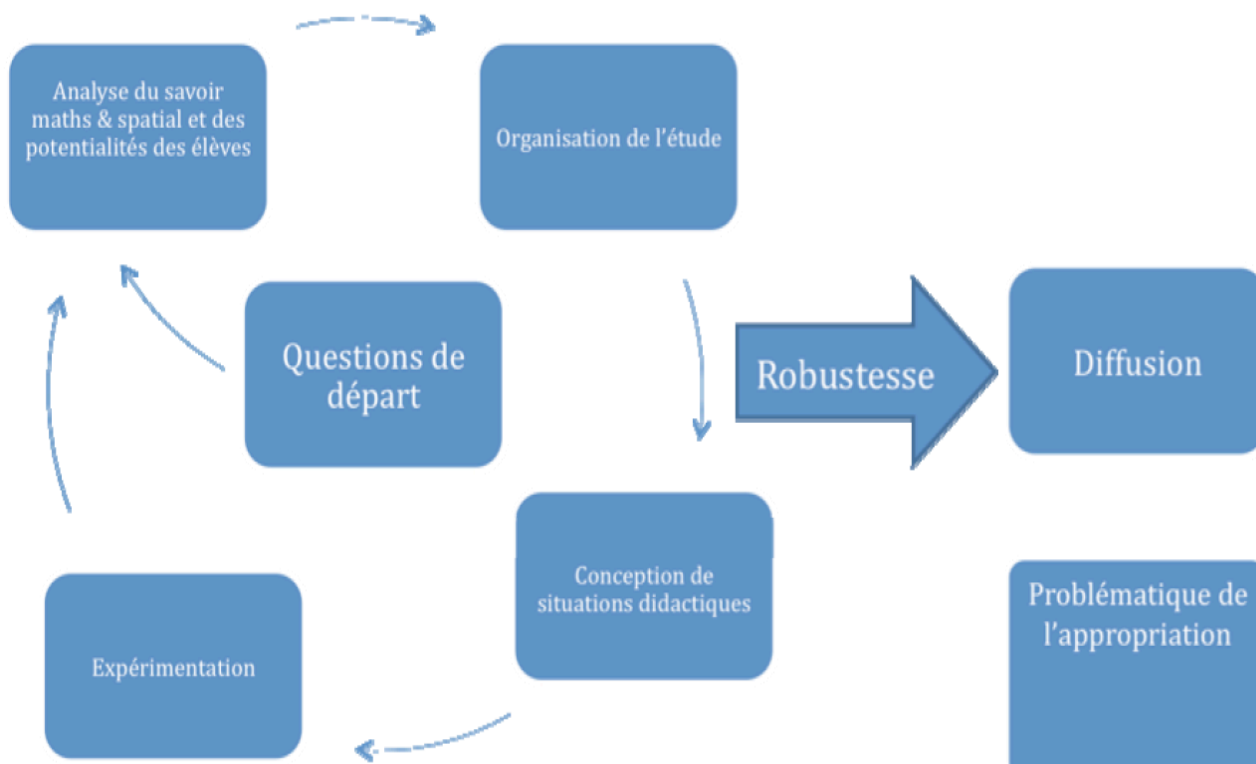


Figure 29 : démarche de l'équipe ERMEL tiré de Douaire et Emprin (2011)

Par ailleurs, l'équipe ERMEL se pose la question de la diffusion des résultats de ses recherches aux enseignants. Depuis 2016, cette question est traitée en prenant en compte les gestes l'appropriation par enseignants et a donné lieu à une nouvelle forme de ressource (Argaud, Douaire, Emprin, 2017 ; Argaud, Douaire, Emprin, Emprin-Charlotte, Gerdil-Margueron, 2016 ; Argaud, Douaire, Emprin, Gerdil-Margueron, 2017, 2018). Ces publications contiennent des éléments d'analyse didactique mais aussi des gestes professionnels, de leurs effets sur le processus d'apprentissage, des chroniques de déroulement de situation de classe. Ce sont autant de données qui, en plus des données d'expérimentation sur lesquelles nous nous sommes appuyés, mais qui ne sont pas publiées, fournissent une base à la programmation de nouveaux simulateurs.

1. 4. Conclusion sur les travaux en cours

1. 4. 1. Que doivent savoir les enseignants pour enseigner? Et les formateurs d'enseignants pour former?

L'ensemble de mes travaux converge vers les pratiques de formation. Ces travaux, notamment en lien avec les pratiques simulées, amènent plusieurs questions : pour le concepteur, la programmation des applications nécessite qu'il identifie des « lois » qui régissent

le fonctionnement du logiciel. Ce sont ces lois qui seront perçues, analysées, voire discutées par l'utilisateur de la simulation, et donc qui feront l'objet du travail de formation. La simulation rend donc publics les connaissances et les savoirs de formation que les concepteurs ont embarqués au sein du simulateur. Le formateur quant à lui doit pouvoir concevoir un dispositif de formation qui fasse émerger les connaissances de formation et formuler les savoirs. Il y a donc plusieurs strates de savoirs et de connaissances (je reviens sur cette distinction dans la partie 2) qui peuvent être questionnés : quels savoirs et connaissances doivent avoir les formateurs pour former des enseignants ? Quels savoirs et connaissances doivent avoir les enseignants pour enseigner ? Quels savoirs et connaissances doivent être transmis par le formateur pour que les enseignants acquièrent les savoirs et connaissances attendus ?

Goodwin et al (2014) mettent en avant que : « Le raisonnement du bon sens veut que la qualité de la formation des enseignants repose sur la qualité des formateurs d'enseignants. Pourtant, on accorde peu d'attention à ce que les formateurs d'enseignants devraient savoir et être capables de faire. Incontestablement, les formateurs d'enseignants ne peuvent pas enseigner qu'ils ne savent pas ; mais que devraient-ils savoir, et devraient-ils être préparés ?

[...] Bien qu'il y ait un plus grand consensus sur ce que les enseignants doivent savoir pour bien enseigner aux élèves (cf. Darling-Hammond & Bransford, 2005 ; Interstate Teacher Assessment and Support Consortium, 2011 ; National Board for Professional Teaching Standards, 2013), on ne peut en dire autant d'une base de connaissances pour la formation des enseignants » (Goodwin et al, 2014, p. 284).

Il semble effectivement que la question de ce que les formateurs doivent savoir soit très peu identifiée, mais sait-on vraiment, contrairement à ce qui est énoncé par ces auteurs ce qu'un enseignant doit savoir ? En France il existe des référentiels de compétences dans lesquels les connaissances didactiques sont attendues sans être précisées. Les programmes des concours de l'enseignement peuvent aussi laisser entrevoir ce que l'employeur attend de ses futurs agents.

1. 4. 2. Référentiels pour l'enseignant

Aux États-Unis, des normes pour les professionnels de l'enseignement existent également (National Board for Professional Teaching Standards, 2016). Elles précisent, par exemple, dans la proposition 2 : les enseignants connaissent les matières qu'ils enseignent et savent comment enseigner ces matières aux élèves.

« Les enseignantes et enseignants apprécient la façon dont les connaissances dans leurs matières sont créées, organisées et reliées à d'autres disciplines.

Les enseignants qui maîtrisent bien leur matière comprennent l'information factuelle ainsi que les principaux thèmes et concepts. Ils comprennent également le processus d'investigation et d'investigation créative, par lequel des découvertes sont faites et de nouvelles connaissances sont formées, comme le démontrent les travaux des chercheurs et des artistes. Par exemple, les enseignants de physique connaissent le rôle de la formulation d'hypothèses et de l'expérimentation dans la recherche scientifique ; les enseignants de géométrie connaissent les modes de justification des affirmations mathématiques ; les enseignants de beaux-arts comprennent comment les idées créatives se développent et le sens est transmis par la performance ; les enseignants d'études sociales savent comment les historiens utilisent les preuves pour interpréter les événements passés ; les enseignants en anglais comprennent la relation entre lecture, écriture, expression et écoute. La littératie, composante fondamentale de l'apprentissage dans tous les domaines de contenu, est essentielle pour comprendre la matière et relier une discipline à une autre. » (National Board for Professional Teaching Standards, 2016 ; [traduction personnelle]).

Ou encore pour l'enseignement des mathématiques : « Les enseignants connaissent les structures et les interconnexions des sujets mathématiques. Ils sont habiles à modéliser les processus et les pratiques qui fournissent aux jeunes enfants les moyens de développer et d'utiliser des idées mathématiques et structurent régulièrement les occasions pour les enfants de s'engager dans des pratiques telles que la représentation et l'explication de leur pensée mathématique. Les enseignants accomplis savent comment les enfants conçoivent leurs concepts, procédures et pratiques. Ils connaissent bien les idées fausses répandues sur les mathématiques chez les enfants et les aident à les clarifier à mesure qu'ils se présentent. » (National Board for professional teaching standard, ⁸ 2012 [traduction personnelle])

Mais est-ce suffisant pour caractériser ce que l'enseignant doit savoir et construire un programme de formation ?

1. 4. 3. Référentiels pour le formateur

Concernant ce que doit savoir un formateur, des initiatives de référentiel de compétences sont en cours en France et ont déjà été proposées, par exemple aux États-Unis par l'ATE

⁸ <https://www.nbpts.org/standards-five-core-propositions/>

(Association Teachers Educators), aux Pays-Bas (Koster et Dengerink, 2001) ou en Turquie (Celik, 2011)

Là encore, ce référentiel détaille des indicateurs qui n'abordent que des aspects généraux des compétences. Je décris ci-dessous les chapeaux qui définissent ces normes, elles sont par ailleurs déclinées en artefacts et indicateurs : [traduction personnelle]

- Norme 1 : Enseignement
Être un modèle démontrant le contenu et les connaissances professionnelles, les compétences et les dispositions reflétant la recherche, la maîtrise de la technologie et de l'évaluation, et les meilleures pratiques acceptées en matière de formation des enseignants.
- Norme 2 : Compétence culturelle
Appliquer la compétence culturelle et promouvoir la justice sociale dans la formation des enseignants.
- Norme 3 : Scolarité
S'engager dans la recherche et contribuer à l'érudition qui élargit la base de connaissances liée à la formation des enseignants.
- Norme 4 : Développement professionnel
Analyser ses pratiques, avoir une attitude réflexive et s'améliorer et démontrer son engagement en faveur du développement professionnel continu.
- Norme 5 : Développement du programme
Assurer un leadership dans l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation de programmes de formation d'enseignants rigoureux, pertinents et fondés sur la théorie, la recherche et les meilleures pratiques.
- Norme 6 : Collaboration
Collaborer régulièrement et de manière significative avec les parties prenantes concernées pour améliorer l'enseignement, la recherche et l'apprentissage des étudiants.
- Norme 7 : Défense des intérêts du public
Servir en tant que défenseurs informés et constructifs pour une éducation de haute qualité pour tous les étudiants
- Norme 8 : Professionnalisation des enseignants
Contribuer à l'amélioration du métier de formateur.
- Norme 9 : Vision

Contribuer à créer des visions pour l'enseignement, l'apprentissage et la formation des enseignants qui prennent en compte des questions telles que la technologie, la pensée systémique et les visions du monde. »

Sont évoquées dans la norme 1 et la norme 5 les meilleures pratiques reconnues dans la profession ; la norme 4 évoque l'implication dans la recherche. La question reste ouverte de ce que ce sont ces pratiques et par qui elles sont reconnues.

Les travaux de Goodwin et al. (2014) concluent une étude mixant analyse quantitative et qualitative sur les formateurs d'enseignants en mettant en évidence les manques suivants :

« if teacher educators are ill-prepared in the work of teacher educating, and if that work is perceived as peripheral to the high status work (i.e., “research” disassociated from teacher education and other work not associated with teaching) of the university, they cannot be expected to design quality teacher preparation programs, envision innovation, and conduct meaningful research in teacher education. Becoming a teacher educator is not a simple two-step process: from teacher to teacher educator. Yet, the voices and experiences of study participants illustrate that the field of teacher education has focused minimal attention on what teacher educators should know and be able to do, on how they should be deliberately prepared to know it, and on how they must be supported, mentored, and appropriately inducted into the profession as scholar-practitioners. » (Goodwin et al., 2014, p 299)

Cette analyse succincte met en évidence le besoin de définir les connaissances et les savoirs en jeu dans la situation de formation.

Dans la partie suivante, je tente de modéliser le système de formation. Cette modélisation a pour objectif de mettre au jour des questions qui amèneront à mieux comprendre les savoirs que nous venons d'identifier et de poser de nouvelles questions.

Il faudra également approfondir le déjà existant sur les savoirs des enseignants et des formateurs dont j'ai cité quelques exemples au paragraphe précédent.

Partie 2 - Une proposition de modèle d'analyse du système de formation

Jusque-là, j'ai employé les termes savoir et connaissance dans leur sens courant ou celui des auteurs que je citais. La partie 1 montre la nécessité de bien les définir pour pouvoir les caractériser.

2. 1. Savoirs et transposition

2. 1. 1. Les savoirs et les connaissances

Une première distinction entre connaissances et savoirs nous vient des travaux de Brousseau (1990, p 316) :

« à propos d'une même notion mathématique on peut donc envisager une famille de situation dans laquelle cette notion fonctionne comme une connaissance (situation d'action), une famille de situation où elle figure comme un savoir (par exemple situation de validation), une famille de situation où apparaît l'identification d'un besoin de connaissance et la possibilité de le satisfaire par la communication du savoir correspondant »

que Margolinas (2012, p. 8) spécifie :

« Ce que l'on peut retenir schématiquement de ces distinctions, c'est déjà que la connaissance vit dans une situation, alors que le savoir vit dans une institution. »

Ainsi, ces définitions nous amènent, concernant les savoirs et les connaissances de formation à rechercher et identifier des institutions dans lesquelles vivent les savoirs de formation et des situations dans lesquelles vivent les connaissances de formation.

Une seconde approche, proposée par Conne (1992, 2003) défend « l'idée que savoir et transposition vont de pair », il donne une définition liée au système d'interaction entre le sujet et la situation : « Lorsque le sujet reconnaît le rôle actif d'une connaissance sur la situation, pour lui, le lien inducteur de la situation sur cette connaissance devient inversible, il sait. Une connaissance ainsi identifiée est un savoir, cette connaissance utile et utilisable, dans ce sens qu'elle permet au sujet d'agir sur la représentation. » (Conne, 1992, p 235)

Cette dernière n'est pas incompatible avec la précédente. Le critère d'utilité du savoir amène également l'auteur à faire bouger les lignes entre savoir et connaissance en définissant, en plus des savoirs savants, des savoirs pragmatiques qui sont des savoirs en situation de deux

types : le savoir-faire qui porte sur le résultat de l'action, la transformation de la situation et le savoir-réfléchi qui « réfléchit la manière dont le produit a été obtenu, ne s'arrête pas à produire quelque chose, mais essaye de connaître ce produit ou encore sa production » (Connes, 1992, p 254).

La question de l'analyse de la situation de formation m'amène donc à m'intéresser aux concepts de transposition didactique des savoirs.

2. 1. 2. Les transpositions en jeu dans la formation

Dans l'analyse de la transposition didactique (Chevallard, 1982 et 1991) pour l'enseignement apparaissent des systèmes didactiques constitués de triplets enseignant/savoir/élèves, de noosphères et différents acteurs du système d'enseignement que sont les mathématiciens, les parents, le Ministère de l'Éducation Nationale... Au sein de cet environnement « *La transposition didactique a lieu quand des éléments du savoir savant passent dans le savoir enseigné.* » (Chevallard, 1982, p174)

Mon hypothèse, suivant celle de (Houdement, 2013, p 10) considérant « le système de formation comme un système didactique, mais en distinguant deux niveaux », celui de la situation d'enseignement et celui de la situation de formation, est qu'en regardant la situation de formation comme une situation d'enseignement particulière (ce qui s'est montré pertinent dans mes travaux antérieurs) dans laquelle les apprenants sont des enseignants (EA), je pourrais mettre en évidence des questions qui pourront éclairer différemment la question des savoirs de formation.

Pour travailler sur les savoirs dans l'environnement de formation, il est alors possible de prendre en compte d'autres systèmes et d'autres acteurs en les adaptant : les systèmes de formation constitués des triplets formateur/savoir/enseignant (formés), des nouvelles noosphères et de nouveaux acteurs comme les chercheurs en didactique.

Ces deux environnements ne sont pas disjoints, l'enseignant qui est dans le système didactique en position d'enseignant est le même que celui qui est le formé dans le système de formation ; les mathématiciens et le ministère qui interviennent dans l'environnement d'enseignement sont aussi dans l'environnement de formation.

La mise en évidence de ces deux environnements imbriqués et de savoirs savants didactiques (c'est-à-dire issu d'une communauté de recherche structurée avec un processus validation des travaux basés sur un contrôle interne par les pairs) m'amène alors à considérer

la transposition didactique qui s'opère pour obtenir des savoirs de formation comme schématisée Figure 30 p 76.

J'examine les différents composants de ce schéma dans le chapitre suivant.

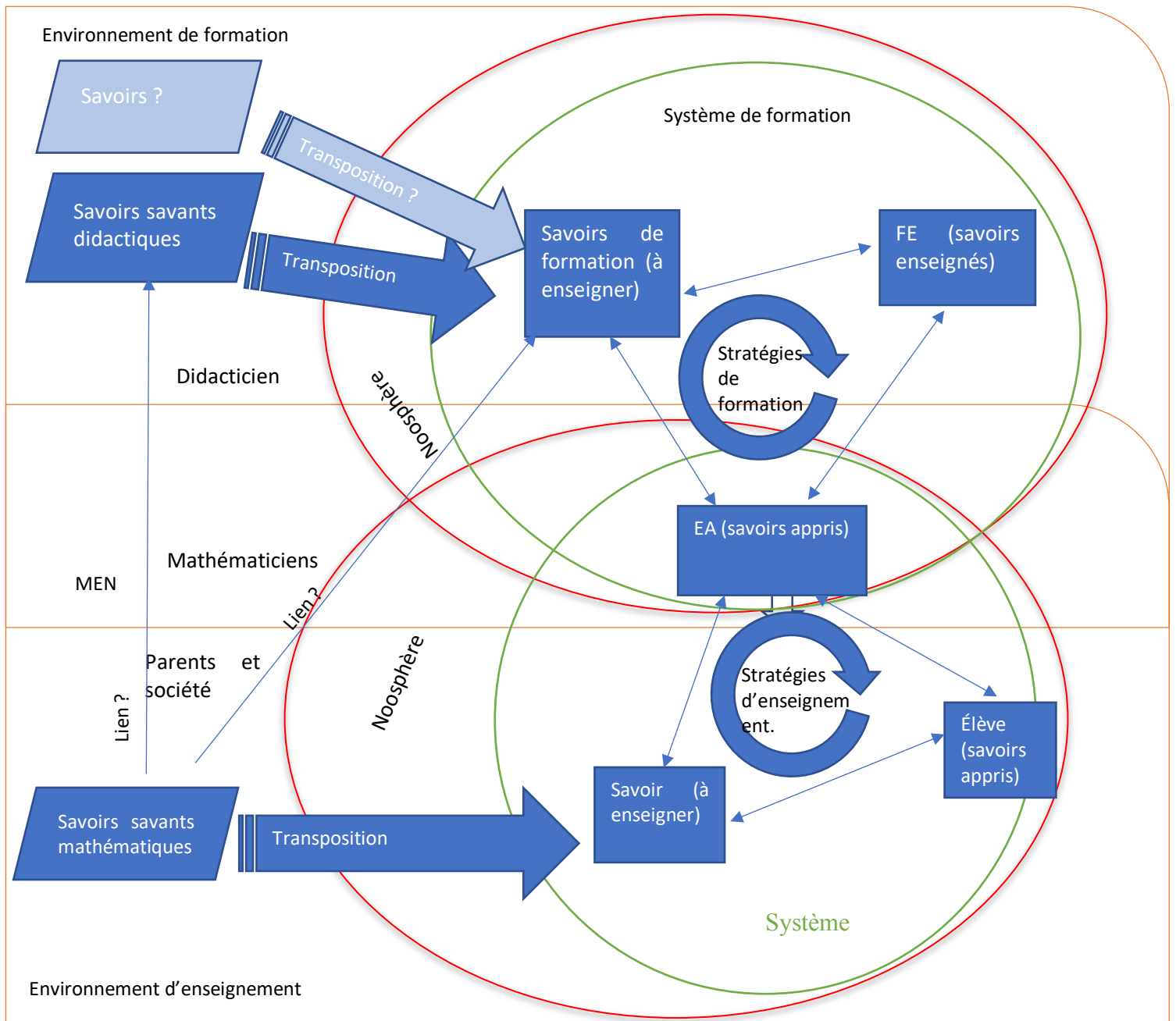


Figure 30 : proposition de modélisation du système de formation

2. 2. Modélisation du système de formation

Mon objectif est d'articuler ces différents types de savoirs et de connaissances, à partir des différentes définitions proposées et des cadres théoriques en jeu. Les définitions des termes institutions et systèmes sont pris au sens de la TAD (Chevallard, 1998, 1999, 2011, 2013).

2. 2. 1. Schématisation des relations pour construire un modèle

Ce schéma illustre la modélisation d'un système de formation « idoine ». Il met en évidence plusieurs hypothèses et conduit à poser plusieurs questions :

Hypothèse 1 : il existe des savoirs de formation au sein d'un système de formation qui seraient produits par une transposition de savoirs savants issus de la didactique vers des savoirs de formation. Eux-mêmes sont transposés vers des savoirs à enseigner aux EA puis vers des savoirs enseignés par les FE aux EA.

Alors que les savoirs enseignés à l'école par les EE semblent pouvoir être issus d'une transposition des savoirs mathématiques, en est-il de même des savoirs de formation ou existe-t-il une autre source de savoir qui contribuerait à l'apparition de ces savoirs ? Quelle est la part des savoirs savants didactiques dans les savoirs de formation à enseigner et enseignés ? S'il y a d'autres types de savoirs de formation, quelle en est la source ? Cette affirmation peut sembler une évidence pour l'enseignement des mathématiques, mais mérite également d'être questionnée. En effet, dans certaines disciplines comme la géographie, la discipline scolaire est apparue avant la discipline universitaire ce qui pose la question de la communauté dans laquelle vivent les savoirs. Ainsi Philippot et al. (2016) détermine ce que j'appelle des institutions de production des savoirs à partir desquels sont transposés les savoirs scolaires :

« Si ce modèle affirme la relative autonomie des savoirs scolaires (Audigier, 1995), nous considérons toutefois que la géographie scolaire est elle-même inscrite dans le vaste champ du savoir géographique structuré autour de quatre pôles : la géographie savante, la géographie scolaire, la géographie appliquée et la géographie grand public (Chevalier, 2003). » (Philippot et Al., 2016, p 45)

Je considérerai que pour la situation d'enseignement des mathématiques, il y a d'abord une transposition des savoirs savants mathématiques via les programmes qui extraient et reformulent des savoirs à enseigner eux-mêmes transposés en savoirs enseignés.

2. 2. 2. Spécification des institutions en jeu

Dans le cas de la formation des enseignants de mathématiques, quelles sont les institutions et les communautés qui produisent ces savoirs savants ? Je considère la communauté des didacticiens de mathématiques comme productrice d'un tel savoir sur le système didactique. En effet *« le didacticien des mathématiques s'intéresse au jeu qui se mène – tel qu'il peut l'observer, puis le reconstruire, en nos classes concrètes – entre un enseignant, des élèves, et un savoir mathématique. Trois places donc : c'est le système didactique. Une relation ternaire : c'est la relation didactique. »* (Chevallard, 1982b, p169)

Mais il existe aussi une communauté des sciences de l'éducation, de psychologie, de sociologie (Altet, 1996) qui peuvent produire des savoirs qui pourraient être pris en compte dans les savoirs de formation. C'est ce que j'ai pu aussi constater avec les savoirs implémentés dans les simulateurs de classe. Mais les simulateurs sont aussi programmés sur des données empiriques, des usages. Cela nous amène à questionner l'existence, d'une communauté d'enseignants et/ou de formateurs qui produirait des savoirs issus de la pratique.

Dans le cas de la transposition didactique se pose également la question de la noosphère.

Dans le cadre de l'enseignement, la définition suivante est proposée :

« Pour cela, j'ai avancé pour elle le nom parodique de noosphère. Dans la noosphère donc, les représentants du système d'enseignement, mandaté ou non (du président d'une association d'enseignants au simple professeur militant), rencontrent, directement ou non (par le libelle dénonciateur, la requête comminatoire, le projet transactionnel, ou les débats assourdis d'une commission ministérielle), les représentants de la société (les parents d'élèves, les spécialistes de la discipline qui militent autour de son enseignement, les émissaires de l'organe politique). » (Chevallard, 1982b, p174)

Dans le cas de la formation professionnelle des enseignants, la structuration des noosphères est encore plus complexe. Le ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse définit les programmes en s'adossant au conseil supérieur des programmes. En ce qui concerne les savoirs de formation, il n'existe pas actuellement de programme unique en France. Deux ministères sont à l'œuvre ainsi que plusieurs instances : ministère de l'enseignement supérieur dont dépendent les instituts ou écoles de formation et Ministère de l'Éducation Nationale dont dépend le recrutement des enseignants, les programmes d'enseignement et des concours, mais cela n'a pas toujours été le cas, le ministère a parfois regroupé éducation nationale, enseignement supérieur et recherche. L'éducation nationale définit des référentiels de compétences et les programmes de recrutement des concours ; les universités autonomes construisent des offres de formation qui sont accréditées par le Ministère de l'Enseignement

supérieur, de la Recherche et de l'innovation. Ces offres de formation sont évaluées par les universités elles-mêmes et par un organisme externe : l'HCERES — Le Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (HCERES)

« l'HCERES est l'autorité administrative indépendante chargée d'évaluer l'ensemble des structures de l'enseignement supérieur et de la recherche, ou de valider les procédures d'évaluations conduites par d'autres instances. Par ses analyses, ses évaluations, et ses recommandations, il accompagne, conseille et soutient la démarche d'amélioration de la qualité de l'enseignement supérieur et de la recherche en France. »⁹

Les offres de formation, construites au sein des universités, le sont par les formateurs eux-mêmes et les responsables de diplômes. Il y a donc une forte valeur locale à ces phénomènes de transposition et une première forme de confusion entre formateurs et noosphère, les formateurs étant impliqués beaucoup plus directement dans la noosphère que les enseignants.

Ce système présente un autre niveau de confusion, celui de la définition même de formateur. En effet, les formateurs peuvent être des formateurs universitaires, des enseignants devenus formateurs (PRAG c'est-à-dire Professeurs agrégés enseignant dans l'enseignement supérieur, PRCE c'est-à-dire Professeurs certifiés enseignant dans l'enseignement supérieur ou PREC, Professeurs des écoles enseignant dans l'enseignement supérieur) ou encore des enseignants qui sont formateurs à temps partagé c'est-à-dire formateur une partie du temps et enseignant l'autre, titulaires d'un diplôme de formateur (CAFFA, certificat d'aptitude aux fonctions de formateurs académiques ou CAFIPEMF, Certificat d'aptitude aux fonctions d'instituteur ou de professeur des écoles maître formateur) ou non. Par ailleurs des combinaisons de ces statuts peuvent exister dans l'histoire personnelle des formateurs : enseignant chercheur ayant été professeur certifié après avoir été professeur des écoles ou PRAG titulaire d'un doctorat par exemple.

Ma réflexion sur les savoirs de formation m'amène également à questionner les éventuelles relations entre les savoirs mathématiques et les savoirs didactiques ainsi qu'avec les savoirs de formation

Pour résumer, dans le système de formation professionnelle des enseignants je vais centrer mon travail sur les savoirs didactiques au sens de ceux produits par l'institution « communauté des chercheurs en didactique », sans pour autant perdre de vue que certains savoirs didactiques de formation pourraient être produits par d'autres communautés.

⁹ <https://www.hceres.fr/fr/faire-connaissance>

Le modèle que je viens d'esquisser laisse ouverte la question des pratiques de formation, c'est-à-dire ce qui se passe au sein du triangle FE – EA – Savoirs de formation tout comme dans le triangle EE — e – Savoirs à enseigner.

2. 2. 3. Analyser les pratiques, les savoirs et les savoir-faire à l'éclairage de la TAD

La notion de praxéologie renvoie à l'analyse des Tâches t , types de tâches T , techniques τ , technologies θ et théorie Θ (Chevallard, 1999, 2002).

Ce cadre donne un nouvel éclairage et fournit des outils d'analyse des savoirs et savoir-faire en jeu dans la formation :

« Savoir-faire et savoirs. – Autour d'un type de tâches T , on trouve ainsi, en principe, un triplet formé d'une technique (au moins), t , d'une technologie de t , q , et d'une théorie de q , Q . Le tout, noté $[T/t/\theta/\Theta]$, constitue une praxéologie ponctuelle, ce qualificatif signifiant qu'il s'agit d'une praxéologie relative à un unique type de tâches, T . Une telle praxéologie – ou organisation praxéologique – est donc constituée d'un bloc pratico-technique $[T/t]$, et d'un bloc technologico-théorique $[\theta/\Theta]$. Le bloc $[\theta/\Theta]$ est, ordinairement, identifié comme un savoir (alors que le bloc $[T/t]$ constitue un savoir-faire). Par métonymie ; on désigne couramment comme étant un savoir la praxéologie $[T/t/q/Q]$ tout entière, ou même une partie quelconque de celle-ci. Mais cette manière de faire encourage à minorer le savoir-faire, notamment dans la production et la diffusion des praxéologies : ainsi qu'on l'a noté, on rencontre souvent des technologies qui « attendent leur premier emploi », ou qui ont « perdu leur emploi ». » (Chevallard, 1998, p 5)

Pour compléter cette analyse, les savoirs pragmatiques définis précédemment renvoient aux techniques et les savoirs réfléchis aux technologies c'est-à-dire au discours sous-tendu sur la technique.

2. 2. 4. Stratégies de formation

Pour terminer la description de ces modèles interviennent les stratégies de formation et d'enseignement qui relient les différents pôles respectivement des triangles (FE – EA – savoirs de formation et EE – e – savoirs mathématiques à enseigner).

Pour ce qui est de la situation de formation, Houdement et Kuzniak (1996) proposent une classification :

« Les stratégies culturelles. Nous désignons ainsi les stratégies qui privilégient l'accroissement des connaissances des étudiants dans un domaine précis, sans préjuger de la mise en œuvre opérée dans les classes par les étudiants.

Les stratégies basées sur la monstration. Ces stratégies privilégient la transmission d'un modèle par l'observation de sa mise en œuvre dans les classes élémentaires. Il s'agit de transmettre une pratique en la montrant aux étudiants et en la faisant imiter. C'est le mode le plus ancien (« leçon modèle ») d'initiation aux pratiques professionnelles.

Les stratégies basées sur l'homologie. C'est aussi un modèle donné sur l'imitation, mais une imitation complexe et transposée par l'étudiant. Ce dernier devrait mettre en place un modèle de formation inspiré de celui qu'il a pu vivre en tant qu'étudiant dans le centre de formation. Les formateurs enseignent conformément à leur conception ce que doit être l'enseignement à l'école élémentaire.

Les stratégies basées sur la transposition. Elles s'opposent aux précédentes par l'insistance mise sur la distanciation théorique. Elles se proposent de transmettre des savoirs de référence mais portant sur la pratique de la classe, ce qui les distingue des stratégies culturelles. » (Houdement et Kuzniak, 1996, p 310-311)

Les recherches que j'ai menées sur les formations (Emprin, 2007) et sur l'usage des simulateurs (Emprin, 2011) m'amènent à analyser la stratégie de formation par l'analyse de pratiques qui peut se décliner en fonction du support de l'analyse de pratiques. Le point commun est le fait de viser la réflexivité. Cette stratégie est aussi caractérisée par la dimension collective du travail. Il y a trois stratégies basées sur l'analyse de pratiques à partir de :

- vidéo de l'enseignant lui-même, présent dans la formation ;
- vidéo d'un enseignant inconnu, donc en partie dépersonnalisée ;
- simulées. La pratique simulée est un objet d'étude au même titre que la vidéo mais elle implique l'enseignant, utilisateur du simulateur, dans le travail et renvoie à l'analyse des modèles d'interactions « pratiques des enseignants – actions des élèves » implémentés dans le logiciel.

Une hypothèse que je me propose de tester est que la TAD permettrait l'analyse des tâches en termes de types de tâches, techniques, technologies et théories dans les formations et ainsi amènerait une description des stratégies de formation tout en mettant en évidence les savoirs, savoir-faire, savoirs pragmatiques et réfléchis.

Avant d'aller plus loin dans la construction de nouvelles pistes de recherche ouvertes par cette modélisation, je m'intéresse aux cadres théoriques permettant d'analyser les savoirs de formation, les savoirs des formateurs et ceux des enseignants. Je m'intéresse donc aux rectangles bleus de la Figure 30 p. 76.

2. 3. Des cadres d'analyse des savoirs dans les pratiques d'enseignement et de formation professionnelle

2. 3. 1. Cadres d'analyse des pratiques d'enseignement et de la formation professionnelle

Une question théorique se pose alors, celle des cadres permettant d'appréhender la nature de ces connaissances et savoirs. Puisque ces savoirs sont liés à la pratique professionnelle, les cadres d'analyse des pratiques pourraient-ils mener, en identifiant sur quelles dimensions des pratiques ces savoirs jouent, à une première catégorisation ? Dans ce cas, la double approche (Robert, 1999), la structuration du milieu (Margolinas, 2002), la théorie de l'action conjointe (Sensevy, 2008 ; Schubauer et al., 2007), the four parameters (Saxe, 1991), le praticien réflexif (Schon, 1994), la clinique de l'activité (Clot, 2001b), la didactique professionnelle (Pastré, 2011) et la théorie de l'activité (Engestrom, 2000) sont des cadres à considérer au regard des savoirs que nous allons identifier. Par ailleurs, au moins un cadre spécifique, PCK : pedagogical content knowledge (Shulman 1986, 1987 ; Hill et al., 2008) aborde explicitement une typologie de connaissances à et pour enseigner. Ce cadre devra donc également être analysé. Enfin, notre travail porte sur les pratiques d'enseignement des mathématiques utilisant les technologies et le cadre PCK a été étendu en incluant ces usages : Technological Pedagogical Content Knowledge TPCK (Mishra et Koehler, 2007, 2008). Là encore, il nous faut explorer les potentialités de ce cadre.

Par exemple Bécu-Robinault (2007) propose une typologie issue des travaux de Schulman (1986, 1987) en deux grands types de connaissances

La première met en jeu les connaissances en lien avec les contenus à enseigner telles que :

1a — les connaissances disciplinaires sur les savoirs [...];

1b — les connaissances pédagogiques liées au contenu disciplinaire (« pedagogical content knowledge », notées PCK dans la suite du texte), concernant des aspects liés aux caractéristiques spécifiques à l'enseignement ou à l'apprentissage [...];

1c — les connaissances sur les programmes ou autres références institutionnelles, tant du point de vue des concepts à enseigner que des compétences exigibles.

La deuxième catégorie rassemble les connaissances ne relevant pas spécifiquement des contenus disciplinaires :

2 a – les connaissances pédagogiques générales, en relation avec la gestion de la classe et des activités des élèves tant dans ses aspects organisationnels, temporels que matériels ;

2b — les connaissances sur les élèves, la classe et leurs caractéristiques ;

2c — les connaissances sur le contexte de l'établissement, de la classe ;

2 d — les connaissances sur les buts et les valeurs de l'éducation.

D'autres auteurs comme Clivaz (2011, 2014, 2015c), Clivaz et al (2012) s'appuient sur une catégorisation dérivée de celle de Schulman (ibid) et de Ball et al. (2008) comme Figure 31.

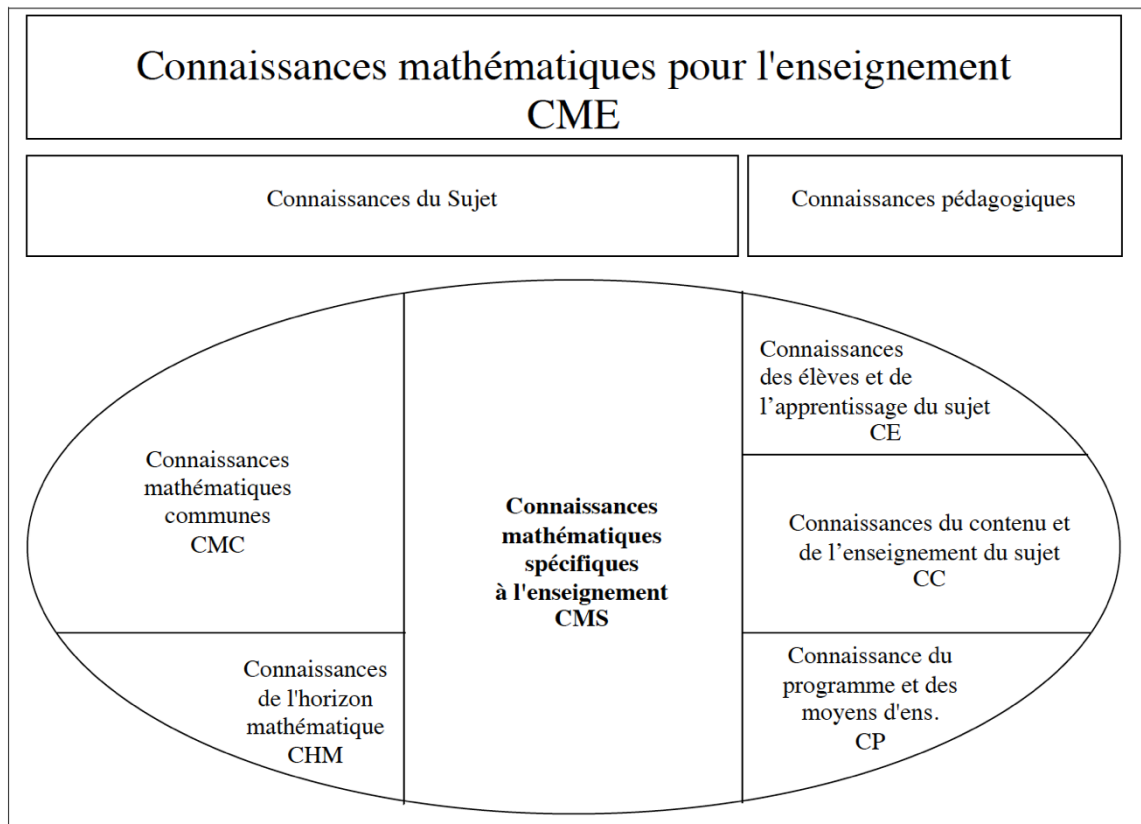


Figure 31 : connaissances mathématiques pour l'enseignant issues de (Ball et al. 2008, p 403)

Sayac (2012) propose de spécifier cette approche au contexte français (Figure 32) :

SAVOIRS DE FORMATION		
Savoirs disciplinaires	Savoirs transversaux	
D1 : relatifs aux connaissances mathématiques pures et aux savoirs épistémologiques	D3 : savoirs relatifs à la didactique des mathématiques	T1 : relatifs aux gestes professionnels du métier d'enseignant
D2 : relatifs à la construction de programmations, de progressions par cycle...		T2 : relatifs aux connaissances portant sur les élèves et sur les apprentissages
		T3 : relatifs aux programmes et aux instructions officielles

Figure 32 : spécification de la définition des savoirs de formation (Sayac, 2012, p 121)

Pour prendre en compte la place des technologies, Mishra et Koehler (2007) développent un nouveau schéma de connaissance, Figure 33 : TPCK. Il inclut le schéma ci-dessus.

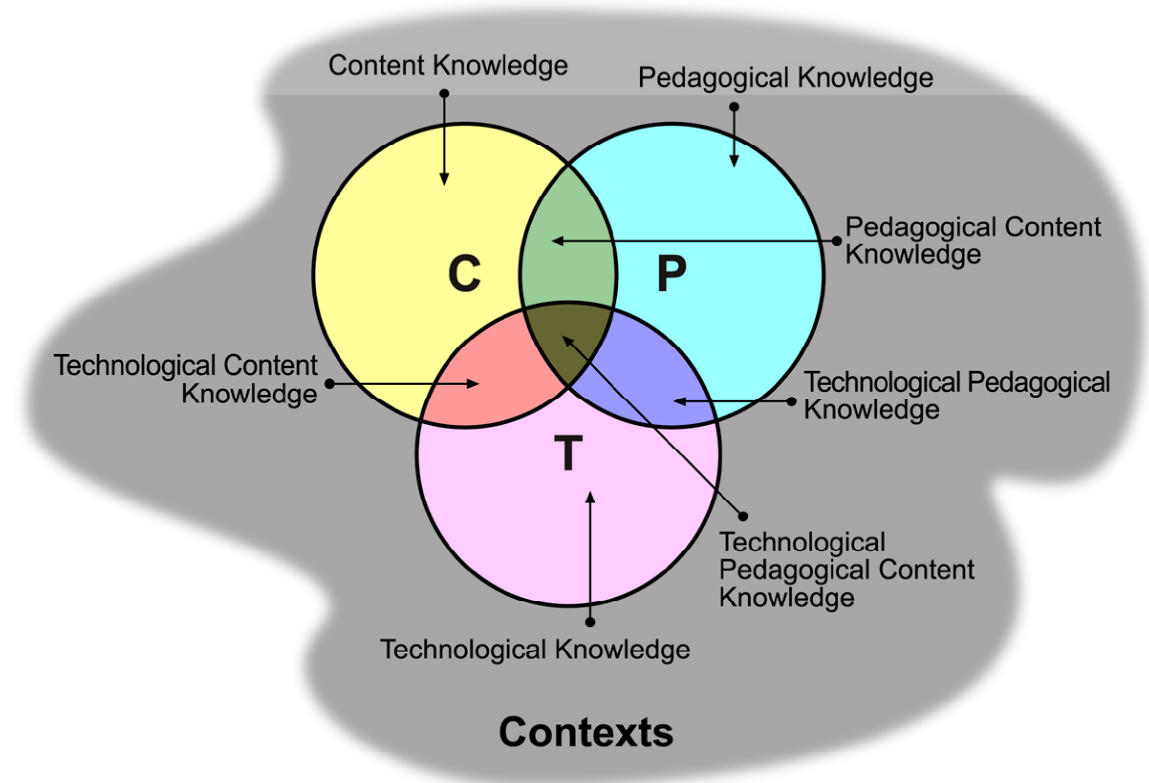


Figure 33 : The TPCK framework and its knowledge components

2. 3. 2. Vers une typologie des savoirs et des connaissances pour enseigner

Mon analyse m'amène à distinguer les savoirs, les savoir-faire, les savoir réfléchis et les connaissances : S, SF, SR et C.

Les savoirs (S) sont institutionnalisés et reconnus dans une institution

Les savoir-faire (SF) sont des savoirs pragmatiques qui portent sur le résultat de l'action

Les savoirs réfléchis (SR) sont des savoirs pragmatiques qui portent sur la manière dont le résultat de l'action est produit

Les connaissances (C) sont locales, attachées à une situation donnée et non identifiées par le sujet comme ayant une utilité plus générale.

Par ailleurs, nous l'avons vu dans l'utilisation de la DADE et dans la définition de la transposition didactique, il existe des savoirs de l'enseignant qui portent sur le triangle didactique qui ne sont pas explicitement détaillés dans le schéma issu de l'approche PCK. Seules apparaissent des connaissances mathématiques spécifiques à l'enseignement et connaissance des programmes (Figure 33 p. 84). D'ailleurs, un des enjeux identifié par Ball (2017) est bien d'identifier et de nommer le travail mathématique de l'enseignant c'est-à-dire ce qui se passe dans le triangle du système d'enseignement (instructional triangle).

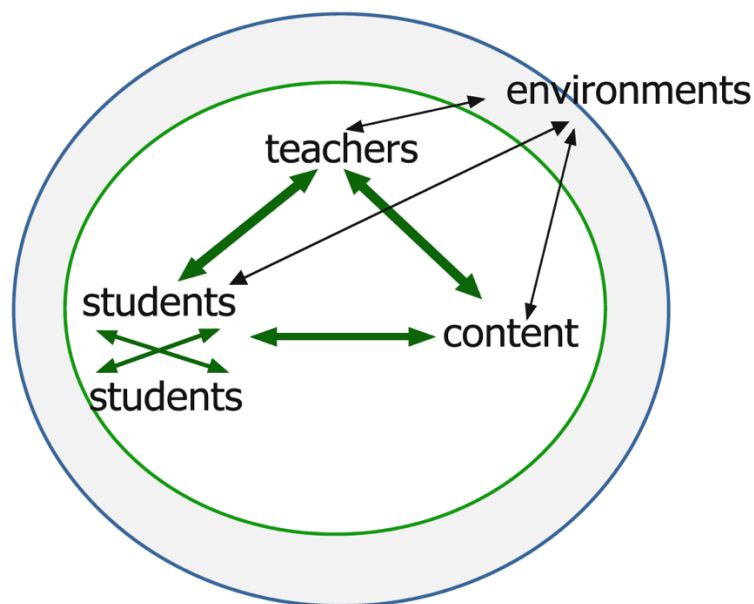


Figure 34 : Instructional triangle (Cohen, Raudenbush, & Ball, 2003)

Je propose donc de faire une nouvelle catégorisation mettant au jour des S, SF, SR, et C didactiques c'est-à-dire portant sur les mathématiques issues de la transposition ou sur la transposition elle-même, sur la relation de l'élève aux objets spécifiques d'enseignement des

mathématiques, obstacles épistémologiques, didactiques... qui ne sont pas de l'ordre de la pédagogie ; sur les processus d'enseignement apprentissage (situations...). On retrouve ici les trois côtés du triangle didactique tout comme les préoccupations du système d'enseignement de Cohen, Raudenbush, & Ball (2003).

Le terme pédagogie est utilisé au sens où l'utilisent Clivaz (2011 et 2012) et Ball et Al. (2008) c'est-à-dire pour désigner tout ce qui n'est pas spécifique à un contenu.

En ajoutant la dimension technologie numérique, on obtient la catégorisation suivante :

- S, SF, SR et C du thème de l'enseignement
 - S, SF, SR et C mathématiques
 - S, SF, SR et C technologiques : maîtrise des outils numériques, informatiques, algorithmiques et méthodes numériques.
- S, SF, SR et C didactiques
 - S, SF, SR et C mathématiques à enseigner (issus de la transposition didactique ou sur la transposition elle-même)
 - S, SF, SR et C des élèves, des obstacles épistémologiques, didactiques spécifiques à l'apprentissage des élèves en mathématiques
 - S, SF, SR et C sur les processus d'enseignement apprentissage (situations...)
 - S, SF, SR et C des élèves et des obstacles à l'utilisation des technologies, connaissances sur les genèses instrumentales des élèves
 - S, SF, SR et C sur les usages des technologies à et pour enseigner
- S, SF, SR et C pédagogiques
 - S, SF, SR et C des élèves et des processus généraux d'apprentissages (psychologie, sociologie...)
 - S, SF, SR et C des élèves face aux technologies (aspects STIC – sciences et techniques de l'information et de la communication)

Un des enjeux (E1) des travaux à venir sera de vérifier la validité d'une telle typologie sur les savoirs pour enseigner les mathématiques. Le même travail peut être réalisé pour les savoirs des formateurs.

2. 3. 3. Vers une typologie des savoirs et connaissances pour former.

Si former c'est transmettre les savoirs et connaissances pour enseigner, les savoirs et connaissances pour former portent sur les 3 dimensions : mathématiques, didactiques et pédagogiques. J'obtiens donc la typologie suivante en incluant la dimension technologique :

- S, SF, SR et C du thème de la formation
 - S, SF, SR et C des mathématiques
 - S, SF, SR et C didactiques des mathématiques
 - S, SF, SR et C pédagogiques
 - S, SF, SR et C technologiques des technologies

- S, SF, SR et C de formation
 - S, SF, SR et C des mathématiques que doit connaître un enseignant (Clivaz, 2011 et 2014) (issus de la transposition didactique ou sur la transposition elle-même). Ces derniers ne sont pas nécessairement ceux que doit connaître un élève.
 - S, SF, SR et C de didactique des mathématiques que doit connaître un enseignant (issus de la transposition didactique ou sur la transposition elle-même).
 - S, SF, SR et C pédagogiques que doit connaître un enseignant, issus de la transposition didactique ou sur la transposition elle-même.
 - S, SF, SR et C des enseignants, des obstacles épistémologiques, didactiques spécifiques au choix des situations d'apprentissage des mathématiques. Il s'agit là de S, SF, SR et C sur la façon dont les enseignants peuvent apprendre les concepts nécessaires pour enseigner. Si on prend l'exemple de l'apprentissage de l'enseignement de la géométrie, on peut retrouver des travaux sur les difficultés en géométrie des enseignants-débutants : en Espagne « conception of school geometry is that it is a difficult subject. » (Barrantes and Blanco 2006, p 425) ou en grande Bretagne, “initial findings from one particular institution, gathered over four years, indicate that geometry is the area of mathematics in which trainees perform most poorly in initial baseline tests.» (Jones et al., 2002). Ces travaux fournissent des éléments au formateur pour construire des dispositifs de formation s'appuyant sur les connaissances et les difficultés mathématiques des enseignants. Cela nécessite également d'identifier quelles mathématiques un enseignant doit connaître pour enseigner. Les travaux de Ma (1999) ou Clivaz (2011 et 2015) proposent des réponses.
 - S, SF, SR et C des enseignants et des obstacles à l'utilisation des technologies en classe, connaissances sur les genèses instrumentales des enseignants. Les travaux sur les difficultés d'appropriation des technologies numériques sont nombreux, par exemple (Lagrange et Grugeon, 2003)
 - S, SF, SR et C des enseignants, des obstacles épistémologiques, didactiques spécifiques à la formation de la didactique. Il s'agit là de questionner les processus d'appropriation des S, SF, SR C didactiques par l'enseignant. Définir ce qu'il doit savoir sur la didactique pour enseigner et quels sont les obstacles à cet enseignement.
 - S, SF, SR et C des enseignants, des obstacles épistémologiques, didactiques spécifiques à formation de la pédagogie.

- S, SF, SR et C sur les processus de formation (situations...). C'est en particulier le travail que j'ai mené en analysant les stratégies de formation ou les travaux de Houdement et Kuzniak (1996 et 1998), Houdement (2013) ou Vergnes (2001). À ce niveau, les connaissances portent sur les organisations praxéologiques pour la formation, les tâches, types de tâche, techniques technologie et théorie. Ce niveau d'analyse relie donc plusieurs autres niveaux : S, SF, SR, C sur le thème de la formation, mais aussi sur la formation d'adultes.
- S, SF, SR et C des enseignants et des obstacles à la formation des enseignants aux technologies. Ce point a été analysé par Abboud (1998), Emprin (2007), (Abboud et Emprin, 2010)
- S, SF, SR et C sur la formation d'adultes
 - S, SF, SR et C des élèves et des processus généraux de formation (psychologie, sociologie, didactique professionnelle, ergonomie, clinique de l'activité...)
 - S, SF, SR et C des enseignants face aux technologies (aspects STIC – sciences et techniques de l'information et de la communication)

Cette typologie fait apparaître un nouveau champ, celui de la formation d'adultes. Là encore, cette première approche montre que des travaux existent pour appréhender différentes dimensions des S et C et ouvrent de nouvelles pistes de travail.

Une piste de travail est ouverte (E2) par ce travail théorique d'analyse : la vérification de la validité d'une telle typologie et l'analyse des savoirs et des connaissances pour former des enseignants.

Toutes ces définitions s'intéressent aux savoirs et connaissances pour enseigner et pour former. Le problème est que les savoirs de formation sont mal connus et mal définis. Il me semble nécessaire de regarder plus spécifiquement la nature de ces savoirs.

2. 3. 4. La question de l'épistémologie des savoirs de formation

J'adopte comme définition de l'épistémologie celle de (Piaget, 1967) qui amène à poser trois questions : la question gnoséologique : qu'est-ce que la connaissance ? La question méthodologique : comment est-elle constituée ou engendrée ? Comment est appréciée la valeur ou la validité de cette connaissance ? Cela amène la caractérisation de l'enquête épistémologique par les questions suivantes :

- Qu'est-ce qu'une connaissance ?
- Comment est-elle produite ?
- Comment est-elle validée ?
- Sur quoi se fonde-t-elle ?
- Comment les connaissances sont-elles organisées ?
- Comment progressent-elles ?

Pour déterminer l'épistémologie des savoirs de formation, il faut d'abord les identifier. L'institution définit effectivement des compétences professionnelles attendues pour les enseignants du primaire. Si on prend une définition simple du concept de compétence comme le triplet connaissances, capacités et attitudes, cela nous amène à regarder ce qui est défini par l'institution. Si des capacités et des attitudes semblent apparaître, les connaissances sur les contenus mathématiques sont peu explicitées. Elles sont implicitement accessibles dans les épreuves des concours de recrutement des enseignants.

Cela me conduit à une seconde hypothèse :

Hypothèse 2 : une plus grande explicitation des savoirs de formation favoriserait, en lien avec l'explicitation des compétences professionnelles, la conception de dispositifs de formation et leur mise en œuvre.

et m'amène à deux nouvelles pistes de travail :

Quelle épistémologie des savoirs didactiques dans la communauté de la recherche (E3) et quelle épistémologie des savoirs de formation dans la communauté des formateurs ? La deuxième question pouvant être reliée à celle de la transposition didactique (E4).

Partie 3 - Les questions ouvertes par le modèle d'analyse et les projets de recherche

L'analyse des pratiques de formation professionnelle, les ingénieries didactiques de formation et le travail de simulation m'ont amené à questionner les savoirs et connaissances (S et C) de formation et à dégager deux pistes pour des recherches à venir : comprendre l'épistémologie des savoirs de formation en s'appuyant sur la démarche d'enquête épistémologique (Piaget, 1967); analyser les savoirs de formation sous l'angle de la transposition didactique et leur relation avec les savoirs produits dans les institutions. Ces deux pistes devraient conduire à une meilleure connaissance des savoirs de formation et ainsi à poursuivre le travail sur les pratiques simulées. En effet, le modèle de formation nécessite d'articuler savoirs de formation et types de tâches de formation (dispositif de formation dans sa globalité).

3. 1. Définir des savoirs de formation et leur épistémologie

Pour comprendre ce qu'est le savoir de formation, ses processus de production et de validation, ses fondements et son organisation, sa progression, je propose trois méthodes : l'analyse des revues à destination des formateurs, l'analyse des syllabus des cours et l'analyse du travail du formateur.

- D'abord l'analyse du texte du savoir produit par les FE. Ce texte du savoir existe dans les formations elles-mêmes. C'est l'étude qu'a réalisée Sayac (2012) auprès de six formateurs en IUFM (Instituts Universitaires de Formation des Maîtres) en 2008-2009. En s'appuyant sur la double approche pour analyser les pratiques de formation, elle analyse les stratégies de formation avec la typologie d'Houdement et Kuzniak (1998) et utilise la double approche pour accéder aux pratiques. Mais ces savoirs sont aussi accessibles dans plusieurs revues professionnelles et actes de colloques de formateurs en mathématiques (Houdement, 2013). Des méthodes d'observation, d'entretien, d'analyse du travail, d'analyse de texte sont alors envisageables.

- Ensuite l'analyse d'autres traces laissées dans les programmes de formation, les syllabus des cours...

- Enfin l'étude des pratiques des formateurs pour déterminer la façon dont ce savoir se constitue au sein de la communauté.

Une difficulté importante de ce travail est liée aux résultats que nous avons déjà obtenus à propos des technologies : l'aspect fortement local, voire attaché au formateur. Ce résultat s'il se confirme rend la tâche d'identification des savoirs de formation plus complexe en démultipliant les institutions notamment.

3. 1. 1. Analyse des revues professionnelles et des actes de colloques de formateurs

En dehors des revues de recherche comme RDM (recherches en didactique des mathématiques), il existe, en France, des revues interfaces ou destinées aux formateurs : grand N, petit x, Repère Irem, des brochures des IREM, des ouvrages des éditeurs privés. Il existe également des colloques plutôt à destination des formateurs : COPIRELEM, CORFEM... et plutôt axés sur la recherche EMF (Espace Mathématique Francophone) et des associations telles que l'ARDM (Association pour la recherche en didactique des mathématiques). Des analyses ont déjà été menées, sur un sujet donné : les pratiques enseignantes par Roditi (2011) dans les revues RDM) et RFP (revue française et de pédagogie), ou encore une méta-analyse des

publications d'innovation et de recherche en mathématiques (Lagrange et Grugeon, 2003) mais pas dans l'optique d'analyser l'émergence de savoirs de formation.

Une analyse de ces textes, de leur contenu, notamment en utilisant des méthodes mixtes avec des outils lexicométriques, fournira une information sur ces savoirs.

Pour exploiter cette analyse, elle doit être complétée par une recherche sur la place de ces textes dans les S et C des formateurs. Ces documents sont-ils connus ? Utilisés ? Par tous ? Certains ? Quelle est leur influence réelle ?

Quelques enquêtes ont été menées, par exemple au sein de l'ADIREM, sur la connaissance et les usages des ressources des IREM par les formateurs. Elles sont un point d'appui pour un questionnement mais nécessitent d'être confrontées à des études prenant en compte d'autres types de sources.

Il est également possible que certaines situations de formation puissent être portées par des formateurs au-delà de ceux qui en connaissent l'origine. La situation « napperon » ou « la boîte du pâtissier » apparaissent dans plusieurs publications et peuvent être transmises, indépendamment de ces publications de formateurs en formateurs. Ainsi, un formateur qui ne connaît pas le colloque COPIRELEM peut utiliser des situations qui y ont été travaillées et présentées. Il est donc nécessaire de croiser l'analyse des pratiques de formation avec l'analyse des ressources utilisées.

Enfin l'accès aux revues d'autres pays peut donner lieu à des travaux de comparaison et d'analyse de la diffusion des savoirs dans et entre les différents pays. Il n'y a pas de limitation technique, par exemple à l'usage de logiciels tels qu'IRAMUTEQ dotés des systèmes de lemmatisation dans plusieurs langues (anglais, espagnol...)

3. 1. 2. Analyse des programmes de formation

L'analyse des programmes de formation de leur évolution est, là encore, une piste d'analyse des savoirs de formation au niveau national et international

3. 1. 3. Analyse du métier de formateur et de la transposition

Il s'agit là non pas de comprendre le métier de formateur agissant dans la situation de formation, mais dans la façon dont il s'approprie des savoirs de formation, au niveau personnel et dans les collectifs auxquels il appartient. Cette question est intimement liée à la définition des savoirs de formation comme produit d'une transposition à l'échelle du formateur ou de la

formation. Les FE construisent des maquettes de formation, des scénarios de formation font des choix praxéologiques, définissent des tâches...

Pour l'analyse du travail du formateur, plusieurs cadres conceptuels et théoriques sont disponibles et fournissent des accès complémentaires au travail : la clinique de l'activité, la théorie de l'activité (en lien avec la double approche), l'ergonomie, la didactique professionnelle... ces cadres et les méthodes de recherche associée : auto confrontation simple ou croisée, analyse de l'activité, instruction au sosie... offrent des accès différents au travail du formateur. L'exploration et la comparaison des résultats de la mise en œuvre des différents cadres sont une piste de recherche.

L'ensemble de ces éléments éclaire donc le processus de transposition entre le savoir didactique institutionnalisé et les savoirs de formation. Cette étude de la transposition nécessite de caractériser plus finement la noosphère, mais également de prendre en compte la diversité des situations de formation : formation en cours, travaux dirigés ou travaux pratiques en dehors du temps de classe ; sur le terrain professionnel suivi d'entretiens professionnels et de tutorat ; les lesson study, le travail collaboratif ou participatif, les recherches-actions...

3. 1. 4. La place des travaux dans d'autres disciplines que les mathématiques et dans d'autres pays

Je collabore avec des chercheurs issus de plusieurs disciplines : automatique, odontologie et je participe à des recherches comme le projet CCC (Mieusset, Promonet-Thérèse, Emprin, et Philippot, 2019), interdisciplinaire. L'intérêt de ces travaux est multiple :

- Confronter les cadres théoriques et les typologies à d'autres contextes permet d'en vérifier la robustesse et l'utilité
- Travailler avec d'autres disciplines conduit à mettre en évidence ce qui est spécifique aux mathématiques et ce qui ne l'est pas.
- Importer des concepts et des cadres conçus dans d'autres domaines éclaire différemment les problématiques de formation en mathématique.

Sur toutes ces questions, formulées dans le contexte français, l'analyse comparative avec d'autres pays conduirait à dégager des invariants et des variations et à comprendre l'importance du contexte sur l'émergence de ces savoirs.

3. 2. Savoir de formation, ingénieries didactiques et simulation

Pour concevoir des simulateurs, des savoirs de formation sont nécessaires. C'est pourquoi je continue à m'intéresser à la production de ce type de savoirs notamment en ce qui concerne l'usage même des simulateurs pour l'enseignement. Mieux comprendre le système d'enseignement amène à identifier des savoirs de formation qui sont peu documentés notamment en ce qui concerne les processus d'apprentissage en classe des élèves en situation de handicap (Booms, 2016).

3. 2. 1. Simulation et situation de handicap

La scolarisation des élèves en situation de handicap pose un triple problème à la formation des enseignants : la diversité des situations de handicap, le temps de formation et le fait que les élèves sont souvent équipés d'outils numériques pour « compenser » leur handicap ce qui ajoute à la question de la formation celle de la place des technologies numériques.

La production de savoirs dans ce domaine est donc essentielle.

La thèse de Peteers (2018) que j'ai co encadrée sur la dyscalculie vue sous l'angle de la didactique des mathématiques établit un inventaire commun des difficultés de l'enfant exploitable par chacun des professionnels en charge de l'élève (enseignant et professionnels paramédicaux et médicaux), facilitant ainsi leurs échanges.

La thèse en cours de Booms (2016), que je co encadre, s'intéresse à l'analyse des pratiques enseignantes quand un élève handicapé est scolarisé avec un ordinateur pour compenser son handicap. La collaboration avec Édith Petitfour dont le travail porte sur l'enseignement de la géométrie aux élèves dyspraxiques (Petitfour, 2015 et 2017) conduit à développer un artefact qui prend la forme d'un agent conversationnel animé (virtuel), réalisant la construction géométrique sous la dictée de l'élève dyspraxique.

Le projet BYOD (Bring Your Own Device) avec le collège lab Coubertin de Reims auquel une thèse de doctorat est également associée vise à comprendre les changements dans la forme scolaire induits par l'introduction du BYOD.

Ces quatre travaux ont produit ou produiront des résultats qui pourront être implémentés dans des simulateurs de formation et/ou dans le SIC.

3. 2. 2. Simulations dans les domaines scientifiques et recueils de données

Des collaborations sont en cours sur l'usage de la simulation d'interactions humaines dans la relation patient — praticien en odontologie (Gudin De Vallerin, Emprin, Azogui et

Bruno Gohin, 2019) et sur la simulation de parties opératives en automatique (Emprin et Riera, 2014) (Riera et Al., 2016) (Philippot et al., 2017). Elles ont pour objectifs de dégager des savoirs pour la formation des formateurs universitaires dans ces domaines qui s'appuient sur une composante scientifique forte : la chimie, la biologie et la médecine dentaire pour l'un et l'automatique et l'informatique pour l'autre, tout en ayant une composante humaine importante. La relation patient — praticien dans la première et la relation d'opérateur à la machine de l'autre. Dans tous les cas, c'est bien la question de l'apprentissage qui est à l'œuvre : comment le praticien peut-il apprendre à interpréter et analyser les demandes et les questions du patient sur simulateur, comment l'opérateur peut-il s'approprier l'usage d'un simulateur pour apprendre son métier ?

Un enjeu important de ce type de travail est de définir, analyser et traiter les savoirs et connaissances de formation dans des domaines qui ne sont pas la didactique des mathématiques. Pour ce faire, deux techniques sont envisagées : le travail avec les formateurs pour identifier les savoirs par des techniques d'explicitation et le recueil de données par observation.

J'envisage d'explorer ces deux pistes. Pour la dernière il s'agirait de la captation, du stockage et du traitement des informations sur les pratiques à grande échelle. En enregistrant et en synchronisant des données telles que les actions sur une machine ou un logiciel, les déplacements, les échanges verbaux, les écrits (prises de notes), est-il possible d'accéder aux pratiques des formateurs ? Ce type de travail nécessite de résoudre les questions techniques, éthiques, liées au respect de la réglementation générale sur la protection des données (RGPD) et celle du consentement des usagers. Le traitement de ce type de données ouvre le champ à des recherches entre plusieurs disciplines telles que l'informatique, la sociologie, la psychologie ou l'ergonomie en plus des disciplines directement concernées par les contenus de formation.

Pour la conception des simulations, j'ai noué des relations avec la société Serious Factory qui développe le logiciel Virtual Training Suite (VTS). Cet outil Figure 23, Figure 24, Figure 25, Figure 26 permet de concevoir facilement des simulations et incorpore des agents conversationnels porteurs d'émotions. Ce travail avec des agents conversationnels enrichit le système d'interactions avec l'utilisateur et augmente le nombre de retours possibles. Des études sur les agents conversationnels intégrés - ECA — (Krämer & Bente, 2010) montrent qu'ils ont un potentiel prometteur pour améliorer la motivation et l'apprentissage des utilisateurs, mais l'étude détaillée nécessite des collaborations spécifiques notamment dans le domaine de la psychologie.

3. 2. 3. Simulation de pratiques de formation : former les formateurs

L'analyse des savoirs de formation ouvre la voie à des recherches sur l'utilisation et la conception de scénario de formation utilisant des simulations.

Le simulateur d'analyse de pratique (SAP) est actuellement implémenté avec un scénario d'entretien basé sur l'analyse d'une séance en classe de 4^e sur la géométrie dynamique visant la conjecture et la démonstration de propriétés. Il est déployé sur la plateforme M@gister accessible à tous les formateurs de l'éducation nationale. L'analyse des premières utilisations montre la pertinence de l'outil en formation de formateur et en formation d'enseignant, mais le déploiement à grande échelle peut nous donner accès aux usages de formateurs non concepteurs de l'artefact et ainsi atteindre un niveau de généralité des résultats plus grand. En effet, jusque-là, les scénarios ont été conçus et expérimentés au sein de l'équipe qui les a produits, ce qui est une limite méthodologique importante. Cette utilisation à grande échelle permet également d'envisager des collaborations avec la sociologie et la psychologie. En effet, les avatars peuvent être changés : d'une femme jeune à un homme plus âgé par exemple. En ne changeant que cette variable de la simulation, il est alors possible d'observer ou non des variations dans le comportement des enseignants et des formateurs et d'en déduire une influence de la perception de l'avatar sur les choix.

L'enjeu est à présent de développer de nouvelles simulations. C'est la raison pour laquelle j'ai, par exemple, proposé un atelier au Colloque COPIRELEM 2019 pour initier et proposer à des formateurs de concevoir des simulations sur le logiciel VTS. Mon objectif est de constituer une communauté de formateurs collaborant à la création des simulations ouvertes (modifiables par les autres).

3. 2. 4. Simulation de pratiques de classe : vers de nouvelles pratiques de formation

Fort d'un travail sur les savoirs de formation, de la même façon que pour SAP, mon objectif est de continuer le travail sur le simulateur de classe dans deux directions : en faisant concevoir dans VTS des environnements de classe et des avatars enfants qui n'existent actuellement pas et/ou en rejoignant la plateforme LessonSketch ou T-prof pour continuer à développer des scénarios avec un environnement moins réaliste.

L'objectif est bien sûr de travailler sur des scénarios en mathématiques, mais également en collaboration avec les sciences, le champ des STEM au niveau international.

Conclusions

Dans cette note de synthèse, j'ai tenté de montrer comment, en partant de la question de l'analyse des pratiques de formation à l'enseignement des mathématiques avec les technologies numériques j'ai pu envisager la conception de simulateurs de classe. Ces simulateurs m'ont amené à questionner les savoirs de formation et à proposer une modélisation de la situation de formation mettant en évidence deux niveaux potentiels de transposition didactique. Au niveau de la formation, cette transposition pourrait s'opérer entre des savoirs constitués dans l'institution « recherche en didactique » qui se transposerait dans le système de la formation. Mais les savoirs existant dans le système de formation pourraient également provenir d'autres sources qui restent davantage à comprendre et analyser. Cette modélisation permet d'envisager de nouvelles recherches qui amèneront à mieux comprendre les savoirs pour former des enseignants. Je propose une typologie qui doit être mise à l'épreuve pour définir ces savoirs. L'objectif est donc de comprendre la construction de ces savoirs, leur niveau de généralité pour le système de formation. Le travail sur les simulateurs contribuera à faire évoluer les pratiques de formation d'enseignants et de formateurs.

Mon plan de recherche pour les années à venir réside donc en trois axes : l'analyse des savoirs de formation au travers des pratiques de formation à l'enseignement des mathématiques avec les technologies numériques, le développement de scénarios de formation utilisant les simulateurs informatiques et l'analyse des situations d'apprentissage au service d'une meilleure compréhension du système didactique.

Ce plan soulève plusieurs questions et points de vigilance. Le premier porte sur la spécificité des apprentissages mathématiques utilisant les technologies dans l'ensemble de ces questions. Il sera donc important d'analyser ce qui est dépendant du fait que l'activité d'enseignement porte sur les mathématiques et utilise les outils technologiques de ce qui peut être généralisé aux mathématiques, aux autres disciplines scientifiques ou à d'autres champs d'apprentissage. Le fait de se concentrer sur l'enseignement des mathématiques avec les technologies numériques a d'abord été pragmatique, lié aux questions de mon travail doctoral mais il est également basé sur une hypothèse de travail qu'il faudra vérifier : l'usage des technologies numériques facilite l'accès aux pratiques en ayant une sorte d'effet de loupe. En effet, l'artefact numérique comme médiateur entre l'élève et le savoir, comme entre l'enseignant et l'élève permettrait de rendre plus visibles (puisque passant par un média qui en conserve plus de traces) les interactions dans le triangle didactique.

Le second point porte sur la volonté de découpage du travail de l'enseignant. Le modèle que je propose pour l'analyse des savoirs en jeu dans la situation de formation a pour ambition de décrire finement les savoirs et leurs transpositions. Tout découpage d'une activité humaine prend le risque de perdre le sens global de l'activité comme le rappellent Ball (2017) à propos de l'effort d'analyse des compétences et des connaissances nécessaires pour enseigner ou Robert et Rogalski (2002) à propos de l'analyse des pratiques par les composantes de la double approche.

« The emphasis on measurement, however, drew focus away from fundamental questions about the role of teachers' mathematical knowledge in teaching and its importance for students' learning. Although many researchers viewed teaching from sociocultural perspectives, asking about what teachers do with students in classrooms, the development of assessment tools was based in more individualistic and cognitivist perspectives. Many started out trying to understand the mathematics in teaching, but more often ended up measuring individual cognitive capabilities of teachers instead. For many scholars, this invisible but significant shift in lens meant that the questions that were being asked and answered drifted away from the fundamental problems about mathematics knowledge and teaching. » (Ball, 2016, p 13)

« Nous admettons comme hypothèse de travail que les pratiques des enseignants et des enseignantes sont complexes, [au sens non réductible à la somme des composantes] stables et cohérentes, et qu'elles résultent de recompositions singulières (personnelles) à partir des connaissances, représentations, expériences, et de l'histoire individuelle en fonction de l'appartenance à une profession. » (Robert & Rogalski, 2002, p 50)

Le processus de mise en cohérence et de recomposition est un enjeu essentiel des travaux à venir.

Le troisième point de vigilance concerne l'usage des simulateurs informatiques eux-mêmes qui présentent des pratiques simulées et non réelles. La tentation peut être importante de les considérer comme la pratique, or, même s'ils en ont de fait certaines caractéristiques rien ne dit que, pour la formation des enseignants, ils ont a priori un impact sur les pratiques réelles. La relation entre pratiques simulées et pratiques réelles doit être investiguée au travers des scénarios et des stratégies de formations. Quelle est la place des simulateurs dans les scénarios ?

Enfin, la question du contexte national lié à l'enseignement et à la formation doit également être pris en compte. La modélisation que je propose prend en compte l'environnement de formation tout comme celle que proposent Cohen et al (2003) Figure 34 p. 85 ce qui amène à envisager des études de comparaisons internationales mais également faisant intervenir plusieurs domaines de recherche.

Bibliographie

Abboud-Blanchard, M. (1994). *L'intégration de l'outil informatique à l'enseignement secondaire : symptômes d'un malaise*, Thèse de doctorat, Université Paris VII

Abboud-Blanchard, M. (1998). Réflexions sur la formation des enseignants à l'utilisation de logiciels dans leur enseignement. Le cas DERIVE. *Faire des mathématiques avec un système de calcul formel, Tome1*, 137-154.

Abboud-Blanchard, M., & Emprin, F. (2010). Pour mieux comprendre les pratiques des formateurs et de formations TICE. *Recherche et formation*, 62, 125-140.

Abboud-Blanchard, M., & Lagrange, J. B. (2007). Uses of ICT by Pre-service Mathematics Teachers: Towards a Professional Instrumentation?. *International Journal for Technology in Mathematics Education*, 13(4).

Abboud-Blanchard, M., Robert, A., Rogalski, J., & Vandebrouck, F. (2017). Pour une théorie de l'activité en didactique des mathématiques. Un résumé des fondements partagés des développements récents et des perspectives. *Cahiers du Laboratoire de Didactique André Revuz. Num. 18*. Université Paris VII.

Altet, M. (1996). Les compétences de l'enseignant-professionnel : entre savoirs, schèmes d'action et adaptation, le savoir analyser. *Former des enseignants professionnels. Quelles stratégies*, 27-40.

Alvarez, J. (2007). *Du jeu vidéo au serious game : approches culturelle, pragmatique et formelle*. Doctoral dissertation, Toulouse 2.

Andreasen, J. B. & Haciomeroglu, E. S. (2009). Teacher training in virtual environments. In S. L. Swars, D. W. Stinson & S. Lemons-Smith (Eds). *Embracing diverse perspectives. Proceedings of the 31st Annual Meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (pp. 1317-1324). Atlanta, GA : Georgia State University. Retrieved from <http://www.pmena.org/pmenaproceedings/PMENA%2031%202009%20Proceedings.pdf>

Argaud H.-C., Douaire J., Emprin F., Emprin-Charlotte F., Gerdil-Margueron G. (2016). *Les Essentielles ERMEL CP*, Hatier.

Argaud H.-C., Douaire J., Emprin F., Gerdil-Margueron G. (2017). *Les Essentielles ERMEL CE1*, Hatier.

Argaud H.-C., Douaire J., Emprin F., Gerdil-Margueron G. (2018). *Les Essentielles ERMEL CE2*, Hatier.

Argaud, H.-C, Barbier, L., Douaire, J., Emprin, F., Gerdil-Margueron, G., Vivier, L. (2016). Ressources pour la résolution de problèmes et les apprentissages géométriques au cycle 2 : une approche spatiale des figures courbes et du cercle. *In actes du XLIIème colloque international des formateurs de professeurs des écoles en mathématiques COPIRELEM : former et se former... quelles ressources pour enrichir les pratiques et améliorer les apprentissages mathématiques à l'école primaire ?* Besançon les 16, 17 et 18 juin 2015. [CD-ROM]. ARPEME.

Argaud, H.-C, Douaire, J., Emprin, F. (2017). Quelle prise en compte des gestes professionnels du maître dans la production de ressources issues de recherches. *In Actes du XLIIIème colloque international des formateurs de professeurs des écoles en mathématiques COPIRELEM : Enseignement des mathématiques et formation des maîtres aujourd'hui : quelles orientations, quels enjeux ?* Le Puy-En-Velay 14, 15 et 16 juin 2016. [CD-ROM]. ARPEME.

Arsac, G. (1987). L'origine de la démonstration : essai d'épistémologie didactique. *Publications mathématiques et informatique de Rennes*, (5), 1-45.

Arsac, G. (1989). Les recherches actuelles sur l'apprentissage de la démonstration et les phénomènes de validation en France. *Publications mathématiques et informatique de Rennes*, (S6), 27-30.

Arsac, G., & Mante, M. (2007). *Les pratiques du problème ouvert*. Lyon, France : SCEREN-CRDP Académie de Lyon.

Artigue, M. (2002a). Ingénierie didactique : quel rôle dans la recherche en didactique aujourd'hui, *Revue Internationale des Sciences de l'éducation*, 8, 59-72.

Artigue, M. (2002b). Quelques leçons des ingénieries didactiques, In D. Guin & L. Trouche (eds), *Calculatrices symboliques, faire d'un outil un instrument du travail mathématique : un problème didactique*, Grenoble : La Pensée Sauvage.

Artigue, M. (2002c). Learning mathematics in a CAS environment: The genesis of a reflection about instrumentation and the dialectics between technical and conceptual work. *International journal of computers for mathematical learning*, 7(3), 245.-274

Artigue, M. (2004). L'enseignement du calcul aujourd'hui : problèmes, défis et perspectives. *Repères IREM*, 54, TOPIQUES éditions, 23-39.

Arzarello, F., Micheletti, C., Olivero, F., Robutti, O., & Paola, D. (1998). A model for analysing the transition to formal proofs in geometry. In *PME CONFERENCE*, 1(2), 2-24.

Assude, T. (2017). Questionner les liens entre numérique et accessibilité didactique : un exemple avec les calculatrices. *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, (2), 11-24.

Audigier, F. (1995). Histoire et géographie : des savoirs scolaires en question entre les définitions officielles et les constructions scolaires. *SPIRALE-Revue de Recherches en éducation*, 15(1), 61-89. Cité par (Philippot et al., 2016)

Baccaglioni-Frank, A., & Mariotti, M. A. (2010). Generating conjectures in dynamic geometry: The maintaining dragging model. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 15(3), 225-253.

Baillat, A., Emprin, F. & Ramel, F. (2016). Des mots et des discours, du quantitatif au qualitatif. In G. Devin (Dir), *Méthodes de recherche en relations internationales*. Paris : Presses de Sciences Po, 227-246.

Baillat, A., Emprin, F. & Ramel, F. (2018). On Words and Discourse: From Quantitative to Qualitative In G. Devin (Dir), *Resources and Applied Methods in International Relations*, Palgrave Macmillan, 151-165. DOI : 10.1007/978-3-319-61979-8

Bakhtine, M. (1979) — [1984]. *Esthétique de la création verbale*. Paris : Gallimard.

Balacheff, N. (1987). Processus de preuve et situations de validation. *Educational Studies in mathematics*, 18(2), 147-176.

Ball, D. L. (2017). Uncovering the special mathematical work of teaching. In *Proceedings of the 13th International Congress on Mathematical Education*. Springer, Cham, 11-34.

Ball, D. L., Thames, M. H. & Phelps, G. (2008). Content knowledge for teaching: What makes it special? *Journal of Teacher Education*, 59(5), 389-407. Consulté le 27/02/19, dans <http://jte.sagepub.com/cgi/content/abstract/59/5/389>

Barmaki, R., & Hughes, C. E. (2016). Towards the Understanding of Gestures and Vocalization Coordination in Teaching Context. In *EDM*, 663-665.

Barrantes, M., & Blanco, L. J. (2006). A study of prospective primary teachers' conceptions of teaching and learning school geometry. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 9(5), 411-436.

Beaudouin, V. (2016, June). Retour aux origines de la statistique textuelle : Benzécri et l'école française d'analyse des données. In *journées internationales d'analyse statistique des données textuelles JADT 2016*, 17-36.

Bécu-Robinault, K. (2007). *Connaissances mobilisées pour préparer un cours de sciences physiques*. Aster.

- Béguin, P., & Rabardel, P. (2000). Concevoir pour les activités instrumentées. *Revue d'intelligence artificielle*, 14(1-2), 35-54.
- Benzecri J.-P. & Benzecri F. (1984). *Pratique de l'analyse des données. Analyse des correspondances and classification. Exposé élémentaire*. 2e éd. Dunod, Paris, 456 p.
- Benzecri, J.-P. (1973). *L'analyse des données (Vol. 2)*. Dunod Paris.
- Berthelot, R., & Salin, M. H. (1992). *L'enseignement de l'espace et de la géométrie dans la scolarité obligatoire* (Doctoral dissertation).
- Bkouche, R. (1997). Epistémologie, histoire et enseignement des mathématiques. *For the learning of mathematics*, 17(1), 34-42.
- Bloch, I., & Gibel, P. (2011). Un modèle d'analyse des raisonnements dans les situations didactiques : étude des niveaux de preuves dans une situation d'enseignement de la notion de limite. *Recherches en didactique des mathématiques*, 31(2), 191-228.
- Bloom, B. S., Mesia, B. B., & Krathwohl, D. R. (1964). Taxonomy of educational objectives (two vols : The affective domain & The cognitive domain). New York. David McKay, 9, 122-136. Cité par Christensen & al. (2011)
- Booms, A. (2016). La prise en charge des troubles de l'acquisition de la coordination par l'ordinateur portable, de l'impensé à l'instrument. In Niclot, D. (Dir). *L'inclusion scolaire : des rhétoriques aux pratiques*, ÉPURE, 71-84.
- Bournois, F., Point, S. & Voynnet-Fourboul, C. (2002)., L'analyse de données qualitatives assistée par ordinateur : une évaluation, *Revue française de Gestion*, 137. Cité par (Fallery et Rodhain, 2007).
- Brasseur, A (2018). Les filles et les mathématiques, une déconstruction stéréotypique possible ?. *Sciences de l'Homme et Société*. (dumas-01818509)
- Brau-Antony, S., & Mieuxset, C. (2013). Accompagner les enseignants stagiaires : une activité sans véritables repères professionnels. *Recherche et formation*, (72), 27-40.
- Brousseau, G. (1987). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 7(2), la pensée sauvage.
- Brousseau, G. (1990). Le contrat didactique : le milieu. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 9(9,3), 309-336.
- Brousseau, G. (1997). *Theory of didactical situations in mathematics*. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. La Pensée Sauvage, Grenoble.

Brunot-Gohin, C. & Emprin, F. (2012). Virtual course in dental prosthesis: e-learning place in primary dental education, *Association for Dental Education in Europe 2012* (AMEE, Lyon, 24-29/08/2012)

Busa, R. (1998). Dernières réflexions sur la statistique textuelle. in Mellet, S. (éd.), *JADT 1998, 4e Journées internationales d'analyse des données textuelles*, UNSA-CNRS, Nice, 179-183. Cité par (Mayaffre, 2005)

Celik, S. (2011). Characteristics and competencies for teacher educators: Addressing the need for improved professional standards in turkey. *Australian Journal of Teacher Education*, 36(4), 73-87.

Chappet-Pariès, M. & Robert, A. (2011). Séances de formation d'enseignants de mathématiques (collège et lycée) utilisant des vidéos (exemples). *Petit x*, 86, 45-77.

Chevalier, J. P. (2003). *Du côté de la géographie scolaire. Matériaux pour une épistémologie et une histoire de l'enseignement de la géographie à l'école primaire en France. Rapport de synthèse*. Doctoral dissertation, Université Panthéon-Sorbonne-Paris I. cité par (Philippot et al., 2016)

Chevallard, Y. (1982a). *Sur l'ingénierie didactique*. Preprint. IREM d'Aix Marseille.

Chevallard, Y. (1982b). Pourquoi la transposition didactique. Communication au Séminaire de didactique et de pédagogie des mathématiques de l'IMAG, *Université scientifique et médicale de Grenoble*. Paru dans les Actes de l'année 1981-1982, 167-194.

Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique*. Grenoble : La pensée sauvage.

Chevallard, Y. (1998). Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques : l'approche anthropologique. *Actes de l'UE de la Rochelle*, 91-118.

Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 19(2), 221-266.

Chevallard, Y. (2011a). La notion d'ingénierie didactique, un concept à refonder. Questionnement et éléments de réponse à partir de la TAD. In C. Margolinas, M. Abboud-Blanchard, L. Bueno-Ravel, N. Douek, A. Fluckiger, P. Gibel, F. Vandebrouck & F. Wozniak (Eds.), *En amont et en aval des ingénieries didactiques* (pp. 81-108). Grenoble : La pensée sauvage.

Chevallard, Y. (2011b). Les problématiques de la recherche en didactique à la lumière de la TAD. *Séminaire de l'ACADIS*. ADEF, Marseille.

Chevallard, Y. (2013). *Éléments de théorie anthropologique du didactique (TAD) Une initiation à la didactique fondamentale*

Chieu, V. M. and Herbst, P. (2011). Designing an intelligent teaching simulator for learning to teach by practicing. *ZDM—The International Journal of Mathematics Education*, 43(1), 105–117.

Christensen, R., Knezek, G., Tyler-Wood, T., & Gibson, D. (2011). SimSchool: An online dynamic simulator for enhancing teacher preparation. *International Journal of Learning Technology*, 6(2), 201-220.

Clivaz, S. (2011). Des mathématiques pour enseigner, analyse de l'influence des connaissances mathématiques d'enseignants vaudois sur leur enseignement des mathématiques à l'école primaire. Thèse de doctorat. Université de Genève. Genève. Consulté le 26 décembre 2011, <http://archive-ouverte.unige.ch/unige:17047>.

Clivaz, S. (2012). Connaissances mathématiques de l'enseignant et bifurcations didactiques : analyse d'un épisode. *Recherches en didactiques*, (2), 29-45.

Clivaz, S. (2014). *Des mathématiques pour enseigner? Quelle influence les connaissances mathématiques des enseignants ont-elles sur leur enseignement à l'école primaire?*. La Pensée Sauvage.

Clivaz, S. (2015a). French Didactique des Mathématiques and Lesson Study : a profitable dialogue ?. *International Journal for Lesson and Learning Studies*, 4(3), 245-260.

Clivaz, S. (2015b). Les Lesson Study : Des situations scolaires aux situations d'apprentissage professionnel pour les enseignants. *Conférence des directeurs des HEP et autres institutions assimilées de Suisse romande et du Tessin (CDHEP)*.

Clivaz, S. (2015c). Des mathématiques pour enseigner ? Quelques réflexions à partir d'un cas de combinaison de cadres théoriques. Dans L. Bacon, D. Benoit, C. Lajoie et I. Oliveira (Eds.), *Croisements variés de concepts, d'approches et de théories : les enjeux de la création en recherche en didactique des mathématiques*. Colloque du groupe de didactique des mathématiques du Québec 2014. 1-10. <http://hdl.handle.net/20.500.12162/468>

Clivaz, S., Proulx, J., Sangaré, M. S., & Kuzniak, A. (2012). Articulation des connaissances mathématiques et didactiques pour l'enseignement. *Pratiques et formation. Enseignement des mathématiques et contrat social : enjeux et défis pour le 21e siècle—Actes du colloque EMF2012*, Geneva.

Clot, Y. (2001a). Bakhtine, Vygotski et le travail. *Travailler*, 6, 9-12.

Clot, Y. (2001b). Psychopathologie du travail et clinique de l'activité. *Éducation permanente*, 146, 35-49.

Clot, Y., & Faïta, D. (2000). Genres et styles en analyse du travail : concepts et méthodes. *Travailler*, 7(4), 7-42.

Cohen, D. K., Raudenbush, S. W., & Ball, D. L. (2003). Resources, instruction, and research. *Educational evaluation and policy analysis*, 25(2), 119-142.

Connan, P. Y., & Emprin, F. (2011). Le portfolio numérique : quelles évolutions des usages et des représentations chez les formateurs d'enseignants?. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 18(1), 229-262.

Conne, F. (1992). Savoir et connaissance dans la perspective de la transposition didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 12(2,3), 221-270.

Conne, F. (2003). Interactions de connaissances et investissement de savoir dans l'enseignement des mathématiques en institutions et classes spécialisées. *Éducation et francophonie*, 31(2), 82-102.

Coulangue, L. (2012). L'ordinaire dans l'enseignement des mathématiques. Les pratiques enseignantes et leurs effets sur les apprentissages des élèves. Éducation. Université Paris-Diderot — Paris VII. {tel-00801863}

Coutat, S., Laborde, C., & Richard, P. R. (2016). L'apprentissage instrumenté de propriétés en géométrie : propédeutique à l'acquisition d'une compétence de démonstration. *Educational Studies in Mathematics*, 93(2), 195-221.

Darling-Hammond, L., & Bransford, J. (Eds.). (2005). *Preparing teachers for a changing world*. San Francisco, CA : Jossey — Bass. Cité par (Goodwin et al., 2014)

DGESCO — Direction Générale de l'Enseignement Scolaire (2007). Ressources pour les classes de 6e, 5e, 4e, et 3e du collège — Géométrie au collège . Ministère de l'éducation nationale.

Douaire J. & Emprin, F. (2018), The evolution of a resource stemming from research, in Eds Gitirana, V., Miyakawa, T, Rafalska M., Soury-Lavergne S., Trouche L., *Proceeding of (Re)sources 2018 international conference*, ENS de LYON, pp 183-187.

Douaire J. & Emprin, F. (à paraître), l'évolution d'une ressource, *Colloque EMF — Espace Mathématique Francophone*.

Douaire, J. Emprin, F. Rajain, C. (2007). Apprentissages des solides au cycle 3, propositions et analyse de situations, place dans la formation. *In actes du XXXIVème colloque copirelem Expérimentation et modélisation dans l'enseignement scientifique : quelles mathématiques à l'école ?*, Troyes juin 2007

Douaire, J. & Emprin, F. (2011). Apprentissages géométriques au cycle 2 et formation des enseignants. In *XXXVIIIème colloque international des formateurs de professeurs des écoles en mathématiques (COPIRELEM, Dijon du 22 au 24 juin 2011) : Faire des*

mathématiques à l'école : de l'activité de l'élève à la formation des enseignants [CD-ROM]. Dijon : ARPEME. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01187885>

Douaire, J. & Emprin, F. (2014). Apprentissages mathématiques à l'école et ressources pour les enseignants. In *XLème colloque international des formateurs de professeurs des écoles en mathématiques (COPIRELEM, Nantes du 18 au 20 juin 2013) : La géométrie à l'école primaire : enjeux et perspectives* [CD-ROM]. Nantes : ARPEME.

Douaire, J. & Emprin, F. (2015a). Teaching geometry to students (from five to eight years old). In K. Krainer & N. Vondrová (Eds.), *Proceedings of the Ninth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME9, 4-8 February 2015)* (pp. 529-535). Prague, Czech Republic: Charles University in Prague, Faculty of Education and ERME.

Douaire, J. & Emprin, F. (2015b). Quels critères de validité, quelle appropriation par les enseignants de ressources issues de recherches en didactique. *Actes du XLIème colloque de la COPIRELEM : Quelles ressources pour enrichir les pratiques et améliorer les apprentissages mathématiques à l'école primaire?* 18, 19 et 20 juin 2014, Mont-de-Marsan. [CD-ROM]. ARPEME.

Douaire, J. & Emprin, F. (2017). Teaching geometry to students (from five to eight years old): "All that is curved and smooth is not a circle". in *10th congress of European Research in Mathematics Education*. 1-5 February 2017, Croke-Park, Ireland, <http://cerme10.org>.

Douaire, J. Emprin, F. & Rajain, C. (2009). L'apprentissage du 3D à l'école, des situations d'apprentissage à la formation des enseignants, *Repère n° 76*, Topic éditions

Duval, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. In *Annales de didactique et de sciences cognitives*, Vol. 5, No. 1, 37-65.

Emprin F. Connan P.-Y., Riera B. (2013). Quelle place de l'analyse des pratiques professionnelles dans les recherches sur la télémédecine ?, *Journées d'étude sur la TéléSanté (JETSAN 2013)*, Mines ParisTech Fontainebleau, 28 et 29 mai 2013.

Emprin, F. (2007, décembre 14). *Formation initiale et continue pour l'enseignement des mathématiques avec les TICE : cadre d'analyse des formations et ingénierie didactique*. (Université Paris-Diderot - Paris VII). Consulté à l'adresse <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00199005>

Emprin, F. (2011). Construction d'un Simulateur Informatique de Classe (SIC) pour la formation des enseignants. In M. Bétrancourt, C. Depover, V. Luengo, B. De Lièvre & G. Temperman (Eds.), *Conférence EIAH 2011 (Environnements Informatiques pour*

l'Apprentissage Humain). Mons, Belgique : Éditions de l'UMONS — ATIEF (Association des Technologies de l'information pour l'Éducation et la Formation), 409-422.

Emprin, F. (2018a). Les apports d'une analyse statistique des données textuelles pour les recherches en didactique : l'exemple de la méthode. *In Annales de Didactiques et de Sciences Cognitives*, 23, 179-200.

Emprin, F. (2018b). Un simulateur informatique de classe pour la formation et la recherche. Quelle place des recherches en didactique dans la conception et l'expérimentation ?, in Lagrange, J.-B. et Abboud-Blanchard, M. *Environnements numériques pour l'apprentissage, l'enseignement et la formation : perspectives didactiques sur la conception et le développement*, IREM de Paris. <http://www.irem.univ-paris-diderot.fr/up/IPS18001.pdf>

Emprin, F. (2018c). Simuler les pratiques des enseignants : outil de recherche, *Actes du séminaire national de l'association pour la recherche en didactique des mathématiques (ARDM)*. Paris.

Emprin, F. & Bruno-Gohin, C. (accepté). Concevoir une e-formation en Odontologie : de la réflexion à la mise en œuvre, *Stratégie Prothétique*.

Emprin, F., Maschietto, M., Soury-Lavergne, S. (2017). Technologies pour l'enseignement, l'apprentissage et la formation en géométrie au premier degré, *in actes de la 19ème école d'été de didactique des mathématiques organisé par l'Association pour la Recherche en Didactique des Mathématiques (ARDM)*, Paris. Actes prochainement en ligne.

Emprin, F. & Riera, B. (2014). Process of creating educational uses by teachers from a 3D simulation of a house home automation to teach technology. In G. Futschek & C. Kynigos (Eds), *Proceedings of the 3rd international constructionism conference*, (August 19-23, 2014). Vienne, Autriche : Österreichische Computer Gesellschaft, 247-257.

Emprin, F. & Sabra, H. (2015), Simulateur informatique de classe pour la formation des enseignants : l'enseignement de la résolution de problèmes. Actes du XLIIème colloque COPIRELEM, 16, 17 et 18 juin 2015, ARPEME, Paris, CDROM.

Emprin, F. & Sabra, H. (2019). Les simulateurs informatiques, ressources pour la formation des enseignants de mathématiques, *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 19(2), 204-216. DOI : 10.1007/s42330-019-00046-w

Engestrom, Y. (2000). Activity theory as a framework for analyzing and redesigning work. *Ergonomics*, 43(7), 960-974.

ERMEL (1999). Apprentissages numériques et résolution de problèmes, CE2. Hatier.

ERMEL. (1990). Apprentissages numériques, cycle des apprentissages fondamentaux, Grande Section de Maternelle. Paris, Hatier.

ERMEL. (1991). Apprentissages numériques, cycle des apprentissages fondamentaux, Cours Préparatoire. Paris, Hatier.

ERMEL. (1998). Apprentissages numériques et résolution de problèmes. Cours moyen (première année), Hatier.

ERMEL. (2000). Apprentissages numériques et résolution de problèmes. Cours moyen (deuxième année), Hatier.

ERMEL. (2006). Apprentissages géométriques et résolution de problèmes, Hatier.

Fallery, B., & Rodhain, F. (2007). Quatre approches pour l'analyse de données textuelles : lexicale, linguistique, cognitive, thématique. *In XVIème Conférence de l'Association Internationale de Management Stratégique — AIMS*, AIMS, 1-16.

Gibson, D. (2009). Designing a computational model of learning. In *Handbook of research on effective electronic gaming in education* (pp. 671-701). IGI Global.

Goigoux, R. (2007). Un modèle d'analyse de l'activité des enseignants. *Éducation et didactique*, 1(3), 47-69.

Goodwin, A. L., Smith, L., Souto-Manning, M., Cheruvu, R., Tan, M. Y., Reed, R., & Taveras, L. (2014). What should teacher educators know and be able to do? Perspectives from practicing teacher educators. *Journal of Teacher Education*, 65(4), 284-302.

Gudin De Vallerin, A., Emprin, F., Azogui, E.-E., Brunot-Gohin C. (2019). Simulateur d'interactions humaines pour la prise en charge globale du patient dans la formation initiale en Odontologie, *présenté au colloque de la Sofrasim Société Francophone de la simulation en Santé*, du 15 au 17 mai 2019, Strasbourg

Guin, D., & Trouche, L. (2002). Mastering by the teacher of the instrumental genesis in CAS environments: necessity of intrumental orchestrations. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 34(5), 204-211.

Guiraud, P. (1954). *Les Caractères statistiques du vocabulaire*, Paris, PUF. Cité par (Mayaffre, 2005).

Hamdi, H., Richard, P., & Billaudeau, V. (2014). Reconnaissance d'États Émotionnels et Interaction Temps-Réel avec un Agent Conversationnel : application à la Simulation d'Entretien de Recrutement. *LISA*, Université d'Angers.

Hennissen, P., Crasborn, F., Brouwer, N., Korthagen, F., & Bergen, T. (2008). Mapping mentor teachers' roles in mentoring dialogues. *Educational research review*, 3(2), 168-186.

Herbst, P., Chazan, D., Chieu, V. M., Milewski, A., Kosko, K. W., & Aaron, W. R. (2016). Technology-mediated mathematics teacher development: Research on digital

pedagogies of practice. In *Handbook of research on transforming mathematics teacher education in the digital age*, IGI Global; 78-106.

Hilbert, D. (1900). *Les principes fondamentaux de la géométrie*, traduit par L. Laugel, Gauthier-Villard Eds : Paris, Bureau des longitudes de l'école polytechnique, 114 p. disponible à <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k996866>

Hill, H. C., Ball, D. L., & Schilling, S. G. (2008). Unpacking pedagogical content knowledge: Conceptualizing and measuring teachers' topic-specific knowledge of students. *Journal for research in mathematics education*, 372-400.

Houdement, C. (2013). *Au milieu du gué : entre formation des enseignants et recherche en didactique des mathématiques*. Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, Université Paris-Diderot-Paris VII.

Houdement, C., & Kuzniak, A. (1996). Autour des stratégies utilisées pour former les maîtres du premier degré en mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, 16(3), 289-322.

Houdement, C., & Kuzniak, A. (1998). Réflexions sur l'enseignement de la géométrie pour la formation des maîtres. *Grand N*, 64, 65-78.

Houdement, C., & Kuzniak, A. (1999). Un exemple de cadre conceptuel pour l'étude de l'enseignement de la géométrie en formation des maîtres. *Educational Studies in Mathematics*, 40(3), 283-312.

Houdement, C., & Kuzniak, A. (2006). Paradigmes géométriques et enseignement de la géométrie. In *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 11, 175-193.

Interstate Teacher Assessment and Support Consortium. (2011). *InTASC model core teaching standards: A resource for state dialogue*. Retrieved from http://www.ccsso.org/documents/2011/intasc_model_core_teaching_standards_2011.pdf.
Cite par (Goodwin et al., 2014)

Jenny, J. (1999). Pour engager un débat avec Max Reinert, à propos des fondements théoriques et des présupposés des logiciels d'analyse textuelle. *Langage & société*, 90(1), 73-85.

Jones, K., Mooney, C. and Harries, T. (2002), Trainee Primary Teachers' Knowledge of Geometry for Teaching, *Proceedings of the British Society for Research into Learning Mathematics*, 22 (2), 95-100.

Jorro, A. (2014). Développement professionnel. In Jorro, A. (dir.). *Dictionnaire des concepts de la professionnalisation*. Bruxelles : De Boeck. 75-79.

Koster, B., & Dengerink, J. (2001). Towards a professional standard for Dutch teacher educators. *European journal of teacher education*, 24(3), 343-354.

Krämer, N. C., & Bente, G. (2010). Personalizing e-learning. The social effects of pedagogical agents. *Educational Psychology Review*, 22(1), 71-87.

Labbé, C., & Labbé, D. (2012). Analyser les questions ouvertes dans les sondages. In *journée d'études : Comment convaincre ? Analyse scientifique de la campagne électorale 2012*. Grenoble, France. Consulté à l'adresse <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00709115>

Laborde, C. (1985). Quelques problèmes d'enseignement de la géométrie dans la scolarité obligatoire. *For the learning of mathematics*, 5(3), 27-34.

Laborde, C., & Capponi, B. (1994). Cabri-géomètre constituant d'un milieu pour l'apprentissage de la notion de figure géométrique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 14(1,2), 165-210.

Laborde, C. (2000). Dynamic geometry environments as a source of rich learning contexts for the complex activity of proving. *Educational Studies in Mathematics*, 44(1-2), 151-161.

Lagrange, J. B. (1999). *Approches didactique et cognitive d'un instrument technologique dans l'enseignement*. Le cas du calcul formel en lycée (Doctoral dissertation - Document pour l'Habilitation à Diriger les Recherches, Université Denis Diderot Paris VII).

Lagrange, J. B. (2000). L'intégration d'instruments informatiques dans l'enseignement : une approche par les techniques. *Educational studies in mathematics*, 43(1), 1-30.

Lagrange, J. B., & Caliskan-Dedeoglu, N. (2009). Usages de la technologie dans des conditions ordinaires : le cas de la géométrie dynamique au collège. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 29(2), 189-226.

Lagrange, J. B., & Grugeon, B. (2003). Vers une prise en compte de la complexité de l'usage des TIC dans l'enseignement : Une méta-analyse des publications d'innovation et de recherche en mathématiques. *Revue française de pédagogie*, 101-111.

Le Boterf, G. (1999). De l'ingénierie de la formation à l'ingénierie des compétences : quelles démarches ? Quels acteurs ? Quelles évolutions. *Traité des sciences et des techniques de la formation*, 335-353.

Lepinard, P. (2014). Du serious gaming au full flight simulator : proposition d'un cadre conceptuel commun pour la formation des formateurs en simulation. *Systèmes d'Information et Management*, 19(3), 39-68. doi:10.3917/sim.143.0039.

Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail : contribution à la psychologie ergonomique*. Presses universitaires de France.

Ma, L. (1999). *Knowing and teaching elementary mathematics: Teachers' understanding of fundamental mathematics in China and the United States*. Routledge.

Marcel, J.-F. (2009). Investir l'objet « développement professionnel » par l'entrée « indicateurs », *Questions Vives*, 5(11), 161-176.

Margolinas, C. (2002). Situations, milieux, connaissances : analyse de l'activité du professeur. In Dorier, J.-L., Artaud, M., Artigue, M., Berthelot, R. & Floris, R. *Actes de la 11ème Ecole d'Été de Didactique des Mathématiques*, La pensée sauvage, 141-156.

Margolinas, C. (2012). Connaissance et savoir. Des distinctions frontalières ? *in acte du colloque Sociologie et didactiques : vers une transgression des frontières*, Haute École pédagogique de Vaud. 17-44.

Mariotti, M.-A. (2000). Introduction to Proof: the mediation of a dynamic software environment. *Educational Studies in Mathematics*, 44(1&2), 25-53.

Mariotti, M. A. (2002). La preuve en mathématique. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 34(4), 132-145.

Mattéi-Mieusset, C. (2013). *Les dilemmes d'une pratique d'accompagnement et de conseil en formation*. Doctoral dissertation, Thèse de doctorat en sciences de l'éducation, Université de Reims Champagne Ardenne.

Mayaffre, D. (2005). De la lexicométrie à la logométrie. *Astrolabe*, 1-11.

Mercier, A. (2015). Dessin, schéma, figure ; que représentent les représentations géométriques ? dans Jacques Baillé, *Figure*, Grenoble, PUG.

Mieusset, C., Promonet-Thérèse, A., Emprin, F. et Philippot, T. (2019). Développement professionnel d'enseignants et verbalisation au sein d'un dispositif d'accompagnement pluriel, *Raisons éducatives*, 23.

Mishra, P., & Koehler, M. J. (2007, March). Technological pedagogical content knowledge (TPCK): Confronting the wicked problems of teaching with technology. In *Society for Information Technology & Teacher Education International Conference*. Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 2214-2226.

Mishra, P., & Koehler, M. J. (2008, March). Introducing technological pedagogical content knowledge. In *annual meeting of the American Educational Research Association*, 1-16.

Morge, L. (2006). La formation d'enseignants par l'analyse de pratiques simulées sur ordinateur : présentation du dispositif et premières évaluations, Contribution au Colloque Formation d'enseignants : quels scénarios ? Quelles évaluations ?, IUFM de l'académie de Versailles.

Morge, L. (2008). *De la modélisation didactique à la simulation sur ordinateur des interactions langagières en classe de sciences* (Doctoral dissertation, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II).

National Board for Professional Teaching Standards (2012). Early Childhood Generalist Standards, Third Edition for teachers of students ages 3–8. Retrieved at <http://www.nbpts.org/wp-content/uploads/EC-GEN.pdf>

National Board for Professional Teaching Standards (2013). National board standards. Retrieved from <http://www.nbpts.org/national-board-standards>. Cité par (Goodwin et al., 2014)

National Board for Professional Teaching Standards (2016). What Teachers Should Know and Be Able to Do, retrieved at : <http://accomplishedteacher.org/wp-content/uploads/2016/12/NBPTS-What-Teachers-Should-Know-and-Be-Able-to-Do-.pdf>

O’Callaghan, C., & Piro, J. (2016). Virtual Simulations in a Practice Based Teacher Education. *The Field Experience Journal*, 96.

Pastré, P. (2011). La didactique professionnelle. Un point de vue sur la formation et la professionnalisation. *Education Sciences & Society*, 2(1), 83-95.

Pastré, P. (dir.) (2005). *Apprendre par la simulation : de l’analyse du travail aux apprentissages professionnels*. Toulouse : Octarès, 363 p.

Peteers, F. (2018). *Un trouble à l’interface entre différents champs disciplinaires (handicap, santé et formation) : la dyscalculie, une approche didactique*. Doctoral dissertation,

Petitfour, E. (2015). *Enseignement de la géométrie à des élèves en difficulté d’apprentissage : étude du processus d’accès à la géométrie d’élèves dyspraxiques visuo-spatiaux lors de la transition CM2-6ème* (Doctoral dissertation, Université Paris Diderot-Paris 7).

Petitfour, É. (2017). Outils théoriques d’analyse de l’action instrumentée, au service de l’étude de difficultés d’élèves dyspraxiques en géométrie. *Recherches en didactique des mathématiques*, 37(2), 247-288.

Peyrard, F. (1804). *Les éléments de géométrie d'Euclide, traduits littéralement et suivis d'un Traité du cercle, du cylindre, du cône et de la sphère, de la mesure des surfaces et des solides, avec des notes*, F. Louis : Paris, 601p. Disponible à l'adresse <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k110982q>

Philippot, A., Riera, B., Koza, M., Pichard, R., Saddem, R., Gellot, F., Annebicque, D., Emprin, F. (2017). HOME I/O and FACTORY I/O: a house simulator and a plant simulator for automatic control education. in *The 27th EAEEIE (European Association for Education in Electrical and Information Engineering) Annual Conference*, June 7-9, 2017, Grenoble.

Philippot, T., Glaudel, A., & Charpentier, P. (2016). Enjeux épistémologiques et méthodologiques de l'analyse didactique du travail enseignant de l'école primaire en géographie. *Les Sciences de l'éducation-Pour l'Ere nouvelle*, 49(4), 41-66.

Piaget, J. (1967). *Logique et connaissance scientifique*. In Encyclopédie de la Pléiade. Gallimard, coll.

Prediger, S., Bikner-Ahsbahr, A. & Arzarello, F. (2008). Networking strategies and methods for connecting theoretical approaches: first steps towards a conceptual framework. *ZDM - The International Journal on Mathematics Education*, 40(2), 165-178.

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies ; approche cognitive des instruments contemporains* (p. 239). Armand Colin.

Rabardel, P. (1999). Eléments pour une approche instrumentale en didactique des mathématiques. *Actes de l'école d'été de didactique des mathématiques*, 18(21), 203-213.

Rabardel, P. (2005a). Instrument subjectif et développement du pouvoir d'agir, In Rabardel, P. et Pastre, P. (eds). *Modèles du sujet pour la conception, dialectiques activités développement*, Octarès, 11-31.

Rabardel, P. (2005b). Qu'est-ce qu'un instrument ? In : *Outils pour le calcul et le traçage de courbes*, CNDP-DIE – Mars 1995, pp 61-65.

Ratinaud, P., & Marchand, P. (2012). Application de la méthode ALCESTE à de "gros" corpus et stabilité des "mondes lexicaux" : analyse du "CableGate" avec IRaMuTeQ. *Actes des 11eme Journées internationales d'Analyse statistique des Données Textuelles*, 835-844.

Reinert, M. (1986). Un logiciel d'analyse lexicale. *Les Cahiers de l'analyse des données*, 11 (4), 471-481.

Reinert, M. (1993). Quelques problèmes méthodologiques posés par l'analyse de tableaux 'Énonces x Vocabulaire'. *Actes des secondes journées internationales d'analyse statistique des données textuelles*. Montpellier, 21-22.

Reinert, M. (2007). Postures énonciatives et mondes lexicaux stabilisés en analyse statistique de discours. *Langage et société*, 3, 189-202.

Reinert, M. (2008). Mondes lexicaux stabilisés et analyse statistique de discours. *Actes de la JADT journées internationales d'analyse statistique des données textuelles 2008*, 981-993.

Restrepo, A. M. (2008). *Genèse instrumentale du déplacement en géométrie dynamique chez des élèves de 6ème* (Doctoral dissertation).

Rhéaume, J., & Laferrière, T. (2002). Les communautés virtuelles d'apprentissage. *Pratiquer les TICE. Former les enseignants et les formateurs à de nouveaux usages*, 143-158.

Richard, P.-R. (2004b). L'inférence figurale : un pas de raisonnement discursivo-graphique. *Educational studies in Mathematics*, 57(2), 229-263.

Richard, P. R., Cobo, P., Fortuny, J. M., & Hohenwarter, M. (2008, June). Training teachers to manage problem-solving classes with computer support. In EdMedia+ Innovate Learning. *Association for the Advancement of Computing in Education (AACE)*, 3520-3530..

Richard, P.-R. (2004a). *Raisonnement et stratégies de preuve dans l'enseignement des mathématiques (Vol. 125)*. Peter Lang.

Riera, B., Emprin, F., Annevicque, D., Colas, M., Vigario, B. (2016). HOME I/O: a virtual house for control and STEM education from middle schools to Universities. *11th IFAC Symposium on Advances in Control Education ACE 2016* — Bratislava, Slovakia, 1—3 June 2016.

Robert, A. (1999). Recherches didactiques sur la formation professionnelle des enseignants de mathématiques du second degré et leurs pratiques en classe, *DIDASKALIA*, 15, 123-157.

Robert, A. (2003). Analyse de vidéo de séances de classe : des tâches prescrites aux activités des élèves, en passant par les pratiques des enseignants de mathématiques (second degré), *Document pour la formation des enseignants*, IREM de Paris 7.

Robert, A. (2005). Sur la formation des pratiques des enseignants de mathématiques du second degré. *Recherche & formation*, 50(1), 75-89.

Robert, A., & Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : une double approche. *Canadian Journal of Math, Science & Technology Education*, 2(4), 505-528.

Robert, A., & Rogalski, J. (2005). A cross-analysis of the mathematics teacher's activity. An example in a French 10th-grade class. *Educational studies in mathematics*, 59(1-3), 269-298.

Roditi, E. (2011). Recherches sur les pratiques enseignantes en mathématiques : apports d'une intégration de diverses approches et perspectives. Université René Descartes - Paris V. (tel-00655481)

Rogalski, J., & Robert, A. (2015). De l'analyse de l'activité de l'enseignant à la formation des formateurs Le cas de l'enseignement des mathématiques dans le secondaire. In *Analyse du travail et formation dans les métiers de l'éducation* (p. 93-113). Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur. Consulté à l'adresse <https://www.cairn.info/analyse-du-travail-et-formation-dans-les-metiers--9782804194079-p-93.htm>

Ruthven, K., & Hennessy, S. (2002). A practitioner model of the use of computer-based tools and resources to support mathematics teaching and learning. *Educational studies in mathematics*, 49(1), 47-88.

Sabra, H., Emprin, F., Connan, P.-Y. & Jourdain, C. (2014). Classroom Simulator, a new instrument for teacher training. The case of mathematical teaching. In G. Futschek & C. Kynigos (Eds), *Proceedings of the 3rd international constructionism conference*. Vienna: Austria, Österreichische Computer Gesellschaft, 145-155.

Saxe, G. B. (1991). *Culture and Cognitive Development: Studies in Mathematical Understanding*. Hillsdale NJ: Laurence Erlbaum Associates.

Sayac, N. (2012). Pratiques de formateurs en mathématiques dans le premier degré. Les savoirs de la formation. *Recherche et formation*, (71), 115-130.

Schön, D.-DA. (1994). *Le praticien réflexif : à la recherche du savoir caché dans l'agir professionnel*. Montréal : Éditions Logiques.

Schubauer, M. L., Leutenegger, F., Ligozat, F., & Fluckiger, A. (2007). Un modèle de l'action conjointe professeur-élèves : les phénomènes didactiques qu'il peut/doit traiter. In: G. Sensevy & A. Mercier. *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Rennes : Presses Universitaires de Rennes, 51-91.

Sensevy, G. (2008). Le travail du professeur pour la théorie de l'action conjointe en didactique. Une activité située ?. *Recherche et formation*, (57), 39-50.

Shulman, L. (1986). *Those who understand: knowledge growth in teaching*. Educational

Shulman, L. (1987). *Knowledge and teaching: foundations of the new reform*. Harvard

Stryckman, P. (1996). De la méthode. *Communication et organisation*, (10).

Takahashi, A., & Yoshida, M. (2004). Lesson-study communities. *Teaching children mathematics*, 10(9), 436-437.

Toerner, G. Et Arzarello, F. (2012). Grading Mathematics Education Research Journals. *EMS Newsletter December 2012*, 52-54.

Trouche, L. (2003). *Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques : nécessité des orchestrations*. Document pour l'Habilitation à Diriger des Recherches Université Paris VII.

Trouche, L. (2004). Environnements Informatisés et Mathématiques : quels usages pour quels apprentissages?. *Educational Studies in Mathematics*, 55(1-3), 181-197.

Vandebrouck, F., & Robert, A. (2017a). Activités mathématiques des élèves avec les technologies numériques : vers une théorie didactique de l'activité. IREM de Paris, 2017,

Cahiers du Laboratoire de Didactique André Revuz, accessible à <https://irem.univ-paris-diderot.fr/> . hal-02111613.

Vandebrouck, F., & Robert, A. (2017b). Activités mathématiques des élèves avec les technologies numériques. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 37, 333-382.

Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en didactique des mathématiques - La pensée Sauvage*, 10(2,3), 133- 170.

Vergnes, D. (2001). Effets d'un stage de formation en géométrie sur les pratiques d'enseignants de l'école primaire. *Recherches en didactique des mathématiques - La pensée Sauvage*, 21(1), 99-122.

Vince Garland, K. M., Holden, K., & Garland, D. P. (2016). Individualized clinical coaching in the TLE TeachLivE lab: Enhancing fidelity of implementation of system of least prompts among novice teachers of students with autism. *Teacher Education and Special Education*, 39(1), 47-59.

Vriet, S. (2018). *Les pratiques des formateurs dans l'usage de la simulation pour la construction des compétences prescrites par un référentiel de certification*. Mémoire de Master MEEF-PIF parcours CIREF, Université de Reims Champagne Ardenne. (dumas-02186278)

Watanabe, T., Takahashi, A., & Yoshida, M. (2008). Kyozaikenkyu: A critical step for conducting effective lesson study and beyond. *Inquiry into mathematics teacher education*, 5, 131-142.

Wittorski, R. (2008). La professionnalisation. *Savoirs*, 17(2), 9-36. doi:10.3917/savo.017.0009.

Sigles introduits dans cette note de synthèse :

C : Connaissances

CCC : projet Canopé-Cnesco-CEREP

é : élève

EA : Enseignant en situation d'Apprenant

EE : Enseignant en situation d'Enseignement

ES : Enseignant Stagiaire

FE : Formateur d'Enseignant

S : Savoirs

S et C : Savoirs et Connaissances

SAP : Simulateur d'Analyse de Pratique

SF : Savoir-Faire

SIC : Simulateur Informatique de Classe

SR : Savoirs Réfléchis

Sigles déjà présents dans d'autres travaux

ADT : Analyse de Données Textuelles

AI : Approche Instrumentale développée par Rabardel (1995, 1999, 2005a et 2005b)

ALCESTE : Analyse des Lexèmes Cooccurents dans les Énoncés Simplifiés d'un Texte

ATE : Association Teachers Educators

BIOS : Laboratory BIOS Biomateriaux et Inflammation des Sites Osseux

CAS : Calculatrices Algébriques et Symboliques

CBI : Carnet de Bord Informatisé

CEREP : Centre d'Études et de Recherches sur les Emplois et les Professionnalisations

CRESTIC : Centre de Recherche en STIC

DADE : Double Approche Didactique et Ergonomique (Robert et Rogalski, 2002 et 2005)

DRRT : Délégation Régionale à la Recherche et à la Technologie

ECA : Embeded Conversationels Agents - Agents Conversationnels Intégrés

IRaMuTeQ : Analyse des Lexèmes Cooccurents dans les Énoncés Simplifiés d'un Texte

IUFM : Institut Universitaire de Formation des Maîtres

IPT : Informatique Pour Tous

LGD : Logiciel de Géométrie Dynamique

MERID: MEntor Role In Dialgoque (Hennissen & al., 2008)

SATT : Société Accélétratrice de Transfert de Technologies

TICE : Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement

TSD : Théorie des Situations Didactiques

VTS : Virtual Training Suite de la société serious factory

ZPDP : Zone Proximale de Développement Professionnel (Robert et Rogalski, 2015).

Table des illustrations

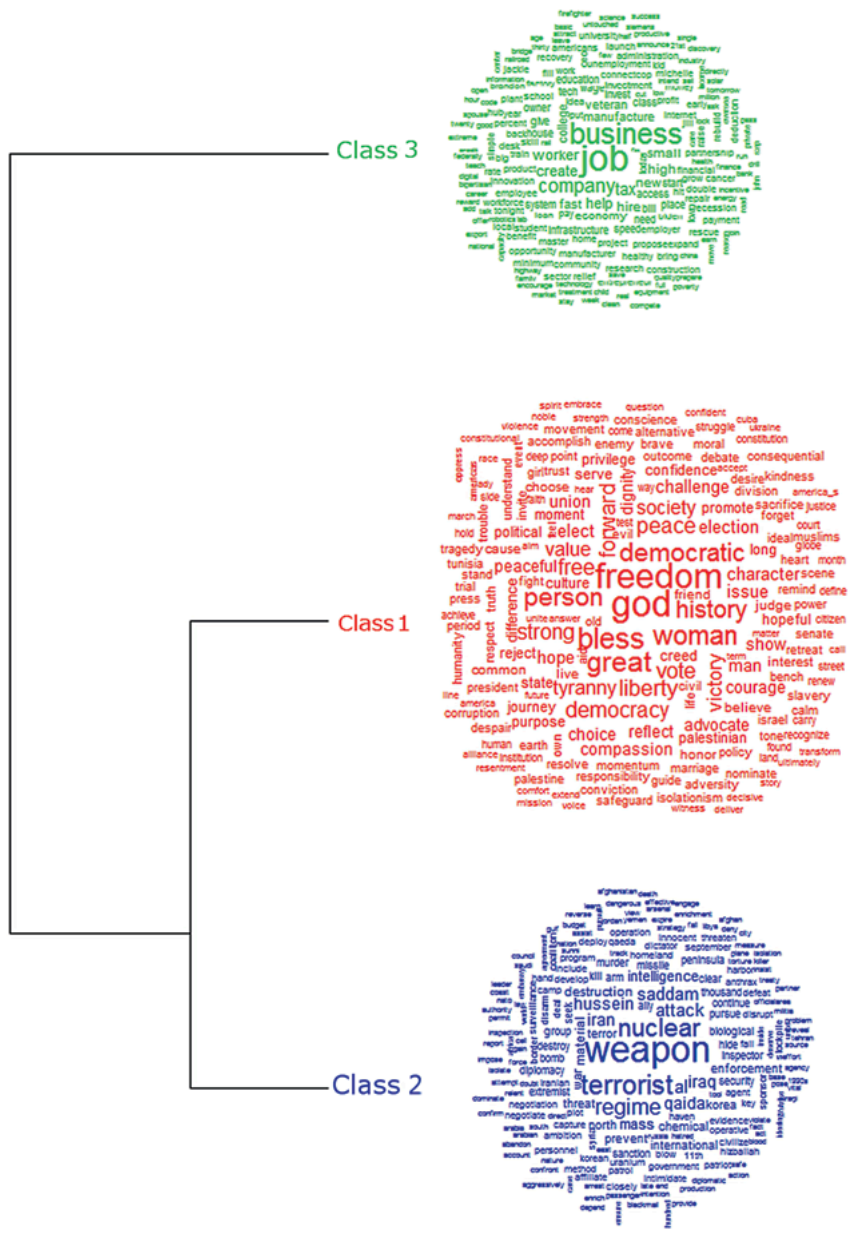
Figure 1 : schématisation de l'imbrication des différents niveaux d'analyse dans les pratiques de formation.....	9
Figure 2 : schématisation des différents niveaux d'utilisation des cadres théoriques dans la situation de formation et la situation d'enseignement.....	11
Figure 3 : scénario de formation incluant l'analyse de la vidéo (Emprin, 2007)	22
Figure 4 : L'ingénierie didactique de formation (Emprin, 2007).....	23
Figure 5 : problème des deux segments : conjecturer et prouver pour comparer les longueurs de deux segments (DGESCO, 2007, p7).....	26
Figure 6 : interface du logiciel SIC : https://fabien-emprin.pagesperso-orange.fr/SIC/	28
Figure 7 : Barre d'agitation— les barres rouges indiquent le niveau d'agitation des élèves.	28
Figure 8 : Exemple de vision du travail de l'élève : ici la construction n'est pas résistante	29
Figure 9 : La structuration en termes de phases du scénario de résolution d'un problème ouvert intégrant un artefact TICE (Emprin et Sabra, 2014).....	30
Figure 10 : exemple d'informations sur la personnalité des élèves fournies par simscool à l'utilisateur. (Gibson, 2009).....	34
Figure 11 : vue de simscool tirée de la vidéo de présentation : http://simchool.com ...	35
Figure 12 : exemple de prise de décision dans Simteach : à droite l'énoncé du choix et en faisant défiler l'écran les choix possibles (https://www.lessons sketch.org).....	36
Figure 13 : exemple de situation de formation avec teachlive tiré de O'Callaghan et Piro, 2016, p 106).....	37
Figure 14 : copie d'écran de T-Prof, au centre deux élèves se mettent à discuter entre eux pendant la séance... l'enseignant doit prendre une décision.....	38
Figure 15 : modèle d'interactions SAP / formateur dans un simulateur d'analyse de pratiques SAP	43
Figure 16 : Modèle MERID	46
Figure 17 : croisement des deux approches.....	47
Figure 18 : Un scénario avec trois scènes reliées par un graphe dans VTS.....	48
Figure 19 : différents environnements et avatars possibles dans une scène sous VTS...	49
Figure 20 : exemple de graphe au sein d'une scène dans VTS.	49
Figure 21 : ensemble des blocs qui peuvent être insérés dans une scène dans VTS	50

Figure 22 : paramètres généraux et définition des compétences dans VTS.....	50
Figure 23 : capture d'écran de la simulation d'analyse de pratiques (SAP).	51
Figure 24 : attitudes faciales dans le logiciel VTS	52
Figure 25 : questionnaire final, identifier ce que la stagiaire a repéré ou non.	52
Figure 26 : diagramme final : positionnement dans les différents dilemmes.....	53
Figure 27 : énoncé du problème utilisé dans SIC	56
Figure 28 : réalisation attendue dans le LGD pour la situation de classe incluse dans SAP.	62
Figure 29 : démarche de l'équipe ERMEL tiré de Douaire et Emprin (2011).....	69
Figure 30 : proposition de modélisation du système de formation.....	76
Figure 31 : connaissances mathématiques pour l'enseignant issues de (Ball et al. 2008, p 403)	83
Figure 32 : spécification de la définition des savoirs de formation (Sayac, 2012, p 12184	
Figure 33 : The TPCK framework and its knowledge components	84
Figure 34 : Instructional triangle (Cohen, Raudenbush, & Ball, 2003).....	85

Annexes

Annexe 1 : Phylogram of the corpus of speeches by George W. Bush and Barack Obama

associated with co-occurring point clouds. Parameters: Iramuteq version 0.7 alpha 2. Double classification on RST (RST1/RST2: 12/14, 7000 max forms analyzed) 681 segments classified out of 2434 (27,98 %)



Constructions géométriques

TRIANGLE et MEDIATRICES

Attention : il faut toujours penser à lier les points aux objets tracés.

Manipulation n°1 **Construire un triangle ABC quelconque.**

Manipulation n°2 **Construire les médiatrices des trois côtés du triangle ABC.**

Vous les nommerez respectivement (D1), (D2) et (D3) pour les segments [AB], [BC] et [AC].

Rappeler la définition de la médiatrice d'un segment :

Manipulation n°3 *Que pouvez-vous dire des trois médiatrices (D1), (D2) et (D3) tracées ?*

Soit O le point de des trois médiatrices.

Manipulation n°4 **Construire en pointillés rouges les segments [OA], [OB] et [OC] .**

Effectuer la mesure des longueurs de ces trois segments.

Que pouvez-vous conjecturer pour les points A, B et C ?

Que pouvez-vous conjecturer pour le point O ?

Démontrer que le point O est le centre du cercle passant par A, B et C.

Rappeler la propriété de la médiatrice d'un segment :

Manipulation n°5 **Tracer le cercle de centre O et de rayon OA.**

Vérifier que les points A, B, et C sont « fixés » sur le cercle en déplaçant le point A par exemple.

Comment s'appelle ce cercle ?

Annexe 3 : extraits des échanges Professeur-élèves lors de la séance travaillée dans SAP

Vidéo 1

P : Bien au milieu, comment vous avez construit le point qui est là ? Je peux le savoir.

E : On l'a mis à la bonne place

P : Montre-moi comment tu as fait

E : On a pris la distance entre B et C..

P : Oui, mais moi je ne la vois pas là.

E : Là ça fait 10,8

P : 10,8 et vous avez mis 5,4

E : Oui

P : La seule chose, regarde si je fais ça, qu'est-ce qui se passe ?

P : Alors qu'est-ce qui se passe ?

E : Là c'est plus au milieu

P : Quel est le problème là ?

E : Y en a pas

P : Alors comment vous pouvez affirmer que c'est le milieu ? Vous allez me dire oui, j'ai mesuré et j'ai placé au milieu, mais est-ce que pour la figure c'est quelque chose qui est stable ?

E : Non

P : Bon, alors, est-ce que c'est comme ça qu'il faut faire ?

E : Non

P : Alors qu'est-ce qu'on va faire ?

E : On va recommencer

Vidéo 2 :

P : Alors je vais vous demander quelque chose quand même. Quelle est la définition de la médiatrice d'un segment ?

E : Une droite qui passe par le milieu d'un segment et perpendiculaire

P : D'accord, alors, « une » droite ça sous-entendrait que l'on peut en avoir d'autre.

E : Non

P : Il peut y en avoir plusieurs ?

E : Non

P : Donc dans ce cas-là on utilise...

E : La droite

P : La droite, article défini.

Vidéo 3

P : Alors est-ce que vous pouvez me montrer ce qui se passe quand vous bougez un point comme le point A par exemple ?

E : ça... heu le stress, ça va bouger la figure, je vais avoir tout faux.

E : Oh bah non, il va falloir tout recommencer

P : Tu as tout faux ?

E : Bah oui

P : Pourquoi ?

P : Tu as tout faux pourquoi ?

E : Non j'ai tout bon

P : Pourquoi tu as tout bon ?

E : Parce que, heu... bah

j'ai tout bon là,
 ha bah non,
 tout devrait bouger...
 E : Il y a une droite qui ne bouge pas.
 C'est normal ?
 P : Qu'est-ce qui ne bouge pas.
 E : C'est la droite D1
 P : Et alors qu'est-ce que
 c'est que la droite D1 ?
 E : C'est la médiatrice du segment [BC]
 P : Et alors est-ce que c'est normal
 qu'elle ne bouge pas ?
 E : Je ne sais pas je ne l'ai jamais fait.
 P : Essaie de trouver un point
 qui la fasse bouger.
 E : Le point O ? ha bah non ?
 P : Pourquoi tu ne peux pas
 le bouger le point O ?
 E : Ah celui-là alors.
 Il ne bouge pas non plus,
 il est cassé.
 E : Ha si, il bouge
 E : Ho non, c'est l'autre qui bouge plus
 P : Alors, quelle droite ne bouge plus

maintenant ?
 E : C'est la D2, c'est la médiatrice de [AB]
 P : Et alors c'est normal qu'elle ne bouge
 plus ?
 E : Bah oui c'est normal.
 P : Pourquoi ?
 E : Maintenant c'est celle-là.
 P : Quel point est-ce que tu bouges ?
 E : Oui, c'est la base, elle n'a pas le droit de
 bouger.
 E : Si je prends le point B,
 alors c'est [AC] qui ne bouge plus,
 si je prends le point C c'est [AB].
 P : Et alors
 E : C'est bon, j'ai trouvé
 c'est la base qui ne bouge pas
 P : Bon, tu l'appelles la base....
 E : Si c'est la base,
 c'est ce qui soutient le triangle
 P : Et qu'est-ce qui ne bouge pas aussi ?
 E : La médiatrice.
 P : Pourquoi ?
 E : Parce qu'elle est sur la base....

Partie 4

P : Bon alors la mise en commun. Ce que je peux vous dire c'est qu'il y en a quand même qui ont progressé de façon relativement efficace, mais si je fais le bilan, une chose est certaine c'est qu'il y en a 1/3 qui ne sait pas son cours. Quand on a des grosses difficultés simplement pour construire les médiatrices, c'est que l'on ne connaît pas son cours.

Alors, au niveau des constructions de médiatrices, il y en a qui sont partis... et ça n'a pas simplifié les choses, avec la construction de type compas comme on fait sur le papier c'est-à-dire la construction à l'aide des cercles. Une erreur a systématiquement été commise dans ces cas-là c'est qu'il faut sys-té-ma-ti-que-ment prendre des cercles de rayon...//des cercles qui avaient des rayons.... //des rayons égaux alors automatiquement ils se retrouvaient avec des droites qui effectivement étaient perpendiculaires et ne passaient pas par le milieu.

Ils ont ajusté au plus près. C'est pourquoi c'est indiqué sur la feuille de commencer par la définition de la médiatrice : milieu/perpendiculaire.

Pratiquement tout le monde a construit le cercle, vous avez pour certains encore une fois un petit problème de vocabulaire. En particulier le point O, on vous demande que pouvez-vous dire des 3 médiatrices D1, D2, D3, tracées ?//Qu'est-ce que vous constatez pour les trois médiatrices ? Elles passent toutes par le même... //point. Dans le cas où vous avez trois droites, quel est le mot que l'on utilise pour désigner le point ? le point de.../con-cours, et on dit donc que les trois droites sont...//con-courantes. Alors, là, vous voyez encore une fois, difficulté de la maîtrise du vocabulaire. Il s'agit de traduire les choses.

Tout le monde a tracé son cercle, il y a une chose que je n'ai pas vérifiée, vous prenez un des sommets du triangle et vous le déplacez et vous vérifiez effectivement que votre cercle se déplace bien avec les trois points.//

Écoutez encore une minute !

Ensuite, vous deviez trouver les 3 longueurs des segments [OA] [OB] [OC] qu'est que vous avez trouvé pour ces trois longueurs ? Elles sont égales.

Que pouvez-vous conjecturer pour les points A, B et C ? ils sont à égale distance du point O.

Que pouvez-vous conjecturer pour le point O, si les points A, B et C sont à égale distance, par rapport au point O, ils sont donc sur le.../le cercle de centre O. Donc, là, O est le centre du cercle... circonscrit au triangle.

A priori tout le monde a fait une figure différente et tout le monde arrive à la même conjecture.

Bon, on continuera la prochaine fois.

Annexe 4 : questionnaire sur le simulateur

Avis

Continuer

Mode: Anonyme

Le simulateur vous est paru

- Sans réponse (0) Réaliste (1) assez réaliste (2) peu réaliste
 (3) insuffisamment réaliste

La situation de classe analysée vous est parue

- Sans réponse (0) Réaliste (1) Assez réaliste (2) peu réaliste
 (3) insuffisamment réaliste

La formation m'a permis de travailler mes connaissances didactiques

- Sans réponse (0) Tout à fait (1) suffisamment (2) peu (3) pas du tout

Ce travail vous a permis de vous préparer au métier d'enseignant

- Sans réponse (0) Tout à fait (1) suffisamment (2) peu (3) pas du tout

Votre appréciation globale sur le simulateur

- Sans réponse (0) Très intéressant (1) Intéressant (2) Peu intéressant
 (3) Non intéressant

J'ai utilisé le simulateur

- Sans réponse
 Sur la plateforme
 Sur smartphone
 Sur tablette
 Sur ordinateur

Continuer