HAL
open science

De la modélisation didactique à la simulation sur ordinateur des interactions langagières en classe de sciences.

Ludovic Morge

▶ To cite this version:

Ludovic Morge. De la modélisation didactique à la simulation sur ordinateur des interactions langagières en classe de sciences.. Education. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2008. tel-00528874

HAL Id: tel-00528874
https://theses.hal.science/tel-00528874

Submitted on 22 Oct 2010

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.

UNIVERSITÉ BLAISE PASCAL
(Clermont-Ferrand)

UFR Psychologie, Sciences Sociales, Sciences de l'Éducation

HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES
Sciences de l'Éducation

Note de synthèse

De la modélisation didactique à la simulation sur ordinateur des interactions langagières en classe

par

Ludovic Morge

Laboratoire PAEDI
Université Blaise Pascal – IUFM d'Auvergne

Présentée le 27 Juin 2008

Composition du jury

Monsieur Roland **Goigoux**, *Rapporteur*,
Professeur des Universités, Université Blaise Pascal - IUFM d'Auvergne.
Madame Martine **Méheut**,
Professeur des Universités, Université Paris Diderot, Paris 7.
Monsieur Christian **Orange**, *Rapporteur*,
Professeur des Universités, Université de Nantes - IUFM des Pays de la Loire.
Monsieur Pierre **Pastré**, *Rapporteur*,
Professeur émérite du CNAM (Conservatoire National des Arts et Métiers).
Madame Andrée **Tiberghien**,
Directrice de recherche au CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique), UMR ICAR

Merci à Andrée Tiberghien,
qui m'a accompagné dans ce travail.
Merci pour ces riches moments d'échanges scientifiques
et pour le plaisir d'avoir côtoyé une personne passionnée et passionnante.

Merci à tous les membres du jury,
Roland Goigoux,
Martine Méheut,
Christian Orange,
Pierre Pastré,
Andrée Tiberghien,

dont le choix a été dicté par la volonté de mettre à l'épreuve mes idées
auprès de différents courants de recherches
qui nourrissent mon travail.

Table des matières

I Partie 1 : Modélisation des interactions en classe de sciences 16
I.1. Un ancrage dans le socio-constructivisme 16
I.2. La théorie de l'action didactique conjointe 17
I.3. Le concept de paradigme, un concept utile pour étudier la recevabilité du savoir dans une classe scientifique 20
I.4. Les phases d'une interaction langagière en classe 21
I.5. Modélisation des phases de conclusion 22
I.5.1. Le choix des phases de conclusion 23
I.5.2. Phase de conclusion, phase d'évaluation, phase de négociation 27
I.5.3. Le concept de connaissances de référence 32
I.5.4. La phase de négociation : un des éléments de la gestion des productions d'élèves 38
I.5.5. Les liens entre la phase de conclusion et les autres éléments de la séance 41
I.5.6. Les différents types d'arguments mobilisables en phase de négociation 44
I.6. Une approche didactique et modélisante des interactions non-ordinaires et naturelles en classe de sciences 46
I.7. Délimitation du champ d'application du concept de phase de conclusion 49
I.7.1. Délimitation du champ d'application du concept de phase de négociation pour analyser les interactions en classe de sciences physiques et chimiques 51
I.7.2. Le concept de phase de conclusion pour analyser des interactions dans d'autres disciplines 53

II Partie 2 : La simulation des interactions en classe pour appréhender l'activité cognitive des enseignants 62
II.1. Un outil prototypique : le logiciel de simulation de gestion d'une séance portant sur le thème du modèle particulaire 62
II.2. La simulation croisée pour accéder à l'activité cognitive des enseignants 68
II.2.1. La simulation croisée : apports et limite d'une nouvelle méthode d'accès à l'activité cognitive des enseignants 69
II.2.2. Des recherches sur le fonctionnement cognitif de l'enseignant 71
II.2.3. L'opération de contrôle dans l'activité cognitive des enseignants 72
II.2.4. Les connaissances acquises par l'enseignant au cours d'une première expérience de gestion de la séance du modèle particulaire 75
II.2.5. La troncature des productions d'élèves 80
II.2.6. L'utilisation des programmes 82
II.3. Utiliser le logiciel comme un outil de recherche sur l'activité de l'enseignant : les pistes qui restent à explorer 84

III Partie 3 : La simulation des interactions en classe pour former les enseignants 85
III.1. Conception des dispositifs de formation : Principes, objectifs et contenus 86
III.1.1. Un constat : la corrélation entre les pratiques ordinaires des enseignants de sciences et leur conception empirico-réaliste 86
III.1.2. Le lien entre pratiques et représentations enseignantes en situation d'action 88
III.1.3. Le lien entre pratique et représentations enseignantes en situation de formation 90
III.1.4. Un triple objectif de formation : l'évolution des pratiques, des conceptions et la construction de leurs liens 90
III.2. Les dispositifs de formation 93

III.2.1. Dispositif 1 : Procéder par décalages successifs pour aborder la construction de séquences, l'anticipation des productions d'élèves, la simulation de leur gestion et l'analyse de cette simulation 93
III.2.2. Dispositif 2 : Un dispositif composé de trois sessions. S1 : Analyse d'une séance issue de la recherche, S2 : Réflexion sur la gestion des productions d'élèves, S3 : simulation analysée de la séance 95
III.3. Les différents niveaux d'évaluation d'une formation 97
III.4. Evaluation de l'impact des formations sur les pratiques effectives des enseignants .. 99
III.4.1. Un suivi longitudinal d'évolution des pratiques et des conceptions (évaluation du dispositif 1 de formation) 100
III.4.2. Ce que l'on apprend des conditions de développement des pratiques enseignantes 104
III.4.3. Evaluation de l'effet du deuxième dispositif de formation sur la façon dont les enseignants gèrent certaines productions 108
III.4.4. Ce que l'on apprend des conditions de développement des pratiques enseignantes : les LPCK ne se construisent pas spontanément 111

IV Partie 4 : Evaluation de l'efficacité de certaines pratiques enseignantes sur les performances des élèves 112
IV.1. Evaluation de l'impact du deuxième dispositif de formation sur les performances des élèves dont les enseignants ont suivi la formation 112
IV.2. Ce que l'on apprend sur l'apprentissage des élèves : la gestion socio-constructiviste favorise l'apprentissage des élèves qu'ils soient d'un niveau scolaire fort ou faible..... 115

V Perspectives de recherches concernant la simulation de l'enseignement : apports de la didactique professionnelle et de la psychologie ergonomique 117
V.1. La simulation dans les champs de la didactique professionnelle et de la psychologie ergonomique 117
V.1.1. Les objectifs de la simulation 117
V.1.2. De la fidélité physique des simulateurs à la fidélité psychologique de la tâche et de l'activité du sujet en situation de simulation 118
V.1.3. La question de la validité écologique des résultats obtenus par simulation pour étudier l'activité du sujet 120
V.1.4. Les raisons pour lesquelles il est préférable de faire appel à la simulation..... 121
V.1.5. Artefact et instruments : simulateur / simulation / utilisation de la simulation... 123
V.2. Le cas de la simulation de l'activité d'enseignement 124
V.2.1. Les objectifs de la simulation d'enseignement et les questions de validité 125
V.2.2. Les raisons pour lesquelles il est préférable de simuler l'activité professionnelle d'enseignement : vers de nouvelles questions de recherche 127
V.2.3. Partie développement : Evaluer et améliorer la simulation 132

Introduction : des recherches sur les interactions en classe articulant des questions de formation, d'enseignement et d'apprentissage

Cette introduction vise à présenter de manière succincte la structure et les objectifs de cette note de synthèse, le contexte scientifique dans lequel se situe notre activité de recherche et les différents axes de recherche que nous explorons.

Présentation succincte de la note de synthèse

La quasi-totalité des recherches que je mène depuis une dizaine d'années s'intéresse de manière directe ou indirecte aux interactions en classe de sciences. Le choix d'étudier les interactions en classe s'inscrit initialement dans un projet collectif. Dès le début de ma thèse, dirigée par Claudine Larcher, j'ai été membre du groupe de recherche « Tutelle et médiation dans l'enseignement scientifique »[1] GDSEP.7 LIREST / INRP. Le choix de cet objet d'étude est principalement lié aux développements des recherches dans les domaines, entre autres, de la didactique des sciences, de la psychologie sociale et des sciences de l'éducation. En effet, les interactions maitre-élèves ont été progressivement considérées comme un facteur d'apprentissage et comme un objet de formation.

Dans notre travail, les interactions ne sont pas étudiées pour elles-mêmes, mais pour suivre l'évolution des savoirs scientifiques mis en jeu au cours de ces interactions : Quels savoirs scientifiques apparaissent dans la classe ? Quels sont leurs statuts ? Comment évoluent-ils ? Ce ne sont pas tant les rôles de l'enseignant ou des élèves qui sont étudiés en premier lieu, mais les savoirs mis en jeu par une communauté d'individus (formant la classe) impliqués dans une action didactique conjointe (Sensevy, 2007).

Ce regard didactique, centré sur l'étude des savoirs scientifiques mis en jeu dans l'interaction, a joué le rôle d'un filtre qui nous a progressivement amené à modéliser les interactions en classe de sciences (Partie 1 de cette note de synthèse). Cette modélisation s'opère tout d'abord par une sélection des interactions à étudier. Toutes les interactions en classe de sciences ne mettent pas en jeu un savoir scientifique, et toutes les interactions qui mettent en jeu un savoir scientifique n'ont pas la même fonction : reformuler, accepter, refuser, soumettre au contrôle expérimental, définir un espace-problème, représenter, argumenter, relier à d'autres savoirs scientifiques ou à d'autres phénomènes, institutionnaliser… Parmi l'ensemble des actions possibles de transformation sur le savoir scientifique mis en jeu dans la classe, nous nous sommes limités à l'étude des phases de conclusion, c'est-à-dire aux interactions dont l'enjeu est d'accepter ou de refuser une production d'élève (Partie 1.4.2). La production d'un élève est le produit, le résultat élaboré par un élève ou un groupe d'élève en réponse à une des tâches qui composent une séance d'investigation scientifique (Morge et Boilevin, 2007). Concernant cet objet d'étude (les phases de conclusion), nos objectifs de recherche sont, entre autres, de connaître les différentes modalités d'acceptation ou de refus disponibles, de repérer les conceptions épistémologiques ou didactiques sous-jacentes à ces modalités, d'évaluer lesquelles sont susceptibles de favoriser l'apprentissage des élèves, de repérer les liens qu'entretient cette phase avec les autres moments de l'interaction. La manière de décrire et de

[1] Ce groupe a vu le jour dans le cadre d'un contrat de recherche entre l'Université Denis Diderot et l'IUFM de l'académie de Versailles.

situer ces phases de conclusion est influencée par des positionnements théoriques relatifs aux questions d'enseignement et d'apprentissage (Partie 1.1, 1.2, 1.3). Le modèle d'interactions en classe que nous avons développé (Partie 1.4) est une reconstruction du réel c'est-à-dire une représentation de l'interaction. Une délimitation du domaine d'application de ce modèle d'interaction (Partie 1.6) est donc nécessaire pour percevoir clairement les limites de ce modèle.

C'est à partir de ce modèle d'interaction, que nous avons construit un logiciel de simulation de gestion d'une séance d'enseignement scientifique (partie 2.1). Cet instrument est un prototype utilisé à des fins de formation (Partie 3) et d'observation de l'activité des enseignants dans des situations simulés (Partie 2). Le terme « activité » recouvre ici deux types d'activités. Une activité observable qui correspond à la pratique simulée de l'enseignant, aux « décisions » qu'il prend. Une activité non directement observable qui correspond à l'activité cognitive[2] de l'enseignant, activité qui prépare l'intervention de l'enseignant. Les premières recherches menées à l'aide du logiciel ont permis de repérer quelques-unes des connaissances et raisonnement mobilisées par les enseignants pour préparer leurs interventions (Partie 2.2).

La simulation a également été utilisée pour former les enseignants à la gestion de séances d'enseignement (Partie 3). Plusieurs dispositifs de formation ont ainsi pu être mis en œuvre. Le premier dispositif s'appuie sur une simulation verbale entre le formateur (qui joue le rôle d'élève) et l'enseignant (Partie 3.2.2). Le second dispositif utilise quant à lui le logiciel pour simuler sur ordinateur les interactions en classe (Partie 3.2.3). Les mises en œuvre de ces deux dispositifs de formation ont permis d'évaluer leurs impacts sur les pratiques effectives des enseignants (partie 3.4).

Le second dispositif de formation a fait l'objet d'une évaluation plus poussée encore puisque nous avons cherché à savoir si la formation des enseignants avait un impact sur les performances des élèves dont les enseignants ont suivi la formation (Partie 4). Le but de ce type d'étude est d'évaluer l'efficacité de certaines pratiques enseignantes et de connaître les modalités d'enseignement favorables à l'apprentissage des élèves (Partie 4.2).

Les premiers résultats obtenus à l'aide de cet outil au cours de recherches exploratoires nous encouragent à continuer dans cette voie et à développer dans les prochaines années l'utilisation de cet instrument de recherche et de formation. Le logiciel de simulation d'enseignement est un instrument qui ouvre de nombreuses perspectives de recherche et de formation, perspectives que nous avons commencé à structurer dans la partie 5.2 de cette note de synthèse. Ces perspectives ont été établies sur la base de la synthèse de nos précédents travaux et à partir des recherches développées principalement dans les domaines la didactique professionnelle et de la psychologie ergonomique sur le thème de la simulation d'activités professionnelles (partie 5.1)

Les objectifs assignés à la rédaction de cette note de synthèse

Pour pouvoir définir les questions de recherches que nous traiterons à l'avenir, il paraît nécessaire de revenir sur les choix qui ont conduit à la construction et aux premières utilisations de ce logiciel de simulation d'enseignement. En effet, la construction de ce

[2] Dans le cadre de nos travaux sur l'activité cognitive des enseignants, nous nous sommes limités à l'étude des connaissances et raisonnements mis en œuvre par les enseignants sans chercher à décrire leurs émotions.

logiciel s'appuie sur une première série de travaux visant à modéliser les interactions en classe. Or, le contexte dans lequel les premières recherches ont été menées, n'est pas le même que le contexte actuel. Par exemple, lorsque nous avons modélisé les interactions en classe au cours de notre travail de thèse, l'idée de développer un logiciel de simulation était totalement absente. De la même façon, le logiciel a été initialement construit dans la perspective de former les enseignants à la gestion de séances d'enseignement. Il n'était pas question, au départ, d'utiliser cet outil de formation comme un outil de recherche permettant d'accéder à l'activité des enseignants.

Ainsi cette note de synthèse présentée en vue d'obtenir l'habilitation à diriger des recherches, revisite dans un premier temps les choix, les cadres théoriques et méthodologiques, les résultats des travaux qui ont conduit à la conception de ce logiciel et à ses premières utilisations. Il s'agit de revisiter ces précédentes recherches avec un nouveau regard qui intègre la perspective de développement de recherches relatives à la simulation. Le logiciel de simulation que nous avons conçu ne traduit pas la réalité de l'activité d'enseignement. Il n'est qu'une représentation de la réalité qui s'est construite progressivement et qui résulte d'une succession de choix qui doivent être réinterrogés. Les notes de bas de pages en italique exposent les remarques et questions générées par ce nouveau regard porté sur nos travaux. Nos travaux reposent sur l'analyse d'extraits de transcriptions qui sont parfois longs et nécessitent l'explicitation du contexte dans lequel ces extraits sont situés. Voulant néanmoins, dans cette note de synthèse, illustrer nos propos pour à la fois, montrer le type d'analyse que nous réalisons, et e référent empirique qui nous sert de base à nos analyses, nous avons choisi de distinguer les exemples et extraits de transcription proposés dans cette note des autres parties du texte, en leur appliquant une taille de 10. Le lecteur pourra ainsi plus facilement circuler dans cette note de synthèse et repérer plus aisément les statuts de certaines parties du texte.

Avant de rentrer précisément dans la présentation de notre travail, nous allons d'abord situer nos recherches dans les champs de la didactique et des sciences de l'éducation.

La place de nos travaux dans le champ de la didactique des sciences physiques et des sciences de l'Éducation

Depuis une dizaine d'année, un grand nombre de recherches se sont développées en France sur les thèmes de l'enseignement en classe de sciences (eg. ASTER 2003 ; ASTER, 2004 ; Dumas-Carré et Weil-Barais, 1998) et de la formation des maîtres à l'enseignement (ASTER, 2001). Ils succèdent à une première série de travaux plus anciens relatifs à l'apprentissage des sciences (Pour une synthèse voir par exemple Joshua et Dupin 1993, Viennot, 1996, Robardet & Guillaud 1997, Tiberghien et al. 1998). Ces travaux plus anciens ont mis à jour l'existence de conceptions pré-existantes chez les élèves, relatives aux différents domaines des sciences physiques et chimiques (mécanique, optique, électricité, réaction chimique…). Ces travaux ont montré qu'en l'absence de travail explicite sur ces conceptions, leur utilisation pouvait ensuite ressurgir dans des situations où elles sont inopérantes, même chez des sujets ayant suivi de longues études scientifiques (eg. Joshua et Dupin, 1986 ; Kaminski, 1989). Ces recherches ont également souligné la relative pertinence de certaines représentations pour expliquer ou prévoir certains phénomènes. Ainsi, dans l'enseignement, l'idée de substituer une conception erronée par une autre conception, cède plutôt la pace à l'idée selon laquelle plusieurs conception peuvent co-exister à condition de connaître leur domaine d'application (penser que le soleil tourne autour de la Terre est une conception suffisamment pertinente

pour se situer dans l'espace et dans le temps sur la Terre). Enfin, ces travaux ont également souligné l'importance de la reconstruction d'une nouvelle conception qui va permettre de répondre correctement aux problèmes que l'ancienne conception ne pouvait pas résoudre. La mise à disposition ou la construction d'une nouvelle représentation est une étape fondamentale dans le dépassement d'une conception.

Comme le montre ce rapide récapitulatif, les travaux relatifs à l'apprentissage de certains contenus scientifiques ont des répercussions sur la manière d'envisager l'enseignement de ces contenus. En effet, selon que l'on prenne ou non en compte les conceptions des élèves, selon les conditions d'évolution qu'on leur attribue, selon la volonté que l'on a de vouloir éliminer ou simplement montrer les limites d'une conception, les pratiques d'enseignement s'en trouvent modifiées. Il existe donc selon nous, dans le domaine de la didactique des sciences expérimentales, une relation de dépendance et d'ordre dans la succession des travaux portant sur a) l'apprentissage de certains contenus scientifiques (et sur la définition des contenus scientifiques à faire acquérir), b) les stratégies d'enseignement souhaitables eu égard à cet apprentissage et c) la formation à l'enseignement de ces contenus scientifiques[3]. Nous ne disons pas ici, que le seul déterminant de l'activité d'enseignement est l'apprentissage des élèves, mais nous disons que, sur le plan de la recherche, une connaissance relative à l'apprentissage des élèves peut orienter, modifier l'activité souhaitable d'enseignement, qui va elle-même modifier la formation. Autrement dit, le contenu des formations dispensées aux enseignants dépend en partie de l'enseignement qui est visé, enseignement qui dépend à son tour en partie de l'apprentissage visé à travers l'enseignement[4].

Une fois que certaines difficultés d'apprentissage des élèves ont été identifiées, des chercheurs ont eux-mêmes développé des séquences d'enseignement susceptibles de favoriser leurs dépassements (Séré 1992, Solomonidou & Stravidou 1994, Larcher & al. 1994, Kariotoglou. & al. 1995, Allain 1995, Méheut 1996, Favre & Verseil 1997, Monchamp 1997, Fillon 1997, Astolfi & Peterflavi 1997, Goix 1997...). Une grande majorité de ces séquences d'enseignement offre une large place à l'activité cognitive des élèves qui sont placés face à des situations nécessitant la remise en cause de leurs conceptions et la construction progressive de modèles plus pertinents. L'élaboration de ces situations d'enseignement est prise en charge par le chercheur avec un contrôle théorique fort, interrogeant l'adéquation entre la situation de classe proposée et les considérations d'ordre didactique et épistémologique auxquelles la communauté scientifique adhère. L'enjeu qui sous-tend la mise en œuvre de ces séquences d'enseignement est d'en montrer à la fois la faisabilité et la pertinence au regard des objectifs visés et de tester la validité des cadres théoriques qui ont menés à la conception de ces séances. Une grande majorité de ces séquences d'enseignement a ainsi été testée afin d'évaluer leur impact sur les élèves. Mais le rôle de l'enseignant constitue une variable qui peut potentiellement interférer sur le déroulement et l'impact des séances. Pour limiter l'effet de cette variable, le rôle de l'enseignant est confié à des personnes qui sont susceptibles de gérer au mieux ces séances (les chercheurs eux-mêmes ou des enseignants-experts qui ont participé à des recherches).

---

2 Notons que cette relation d'ordre et de dépendance des champs de recherche de la didactique est une reconstruction à visée argumentative et ne rend pas nécessairement compte de l'ordre chronologique dans lequel ces champs ont été historiquement explorés.

[4] *Ainsi, l'un des premiers préalables au développement d'un logiciel de simulation d'enseignement à visée de formation est la connaissance a) des difficultés d'apprentissage des élèves relativement au contenu abordé et b) des conditions favorisant leur dépassement.*

Dans cette période de la recherche en didactique les questions portant sur les modalités de gestion des séances et sur la formation des enseignants à la gestion des séances ne sont pas au centre des préoccupations. L'accent est mis sur la situation d'apprentissage que rencontre l'élève et sur l'activité cognitive qu'elle sollicite chez lui. L'enseignant est plutôt considéré comme un élément risquant de perturber cette relation entre des séquences d'enseignement construites par des chercheurs et l'apprentissage de l'élève. Pour cette raison, ce sont des enseignants proches de la recherche ou les chercheurs eux-mêmes qui gèrent ces séances. Cette remarque n'est en aucune manière une critique négative puisque, avant de poser la question de la formation des enseignants à la gestion de ces séances, encore fallait-il savoir si, dans les conditions les « plus favorables », c'est-à-dire avec des enseignants expérimentés proches du milieu de la recherche, de telles séquences avaient un effet sur l'apprentissage des élèves[5]. L'enseignement n'est pas une variable qui est étudiée. Cette centration sur la situation d'apprentissage que rencontre l'élève, et le peu d'intérêt pour le rôle de l'enseignant, peuvent également s'expliquer par l'influence du constructivisme qui a pour objet d'étude principal le développement de l'enfant. Le rôle de la médiation sociale dans ce développement est encore peu étudié.

Les recherches en didactique des sciences ont également produit un grand nombre de séquences d'enseignement, comme en témoignent les références citées précédemment. Le livre de Morge et Boilevin, (2007a) regroupe d'autres séquences issues de la recherche en didactique des sciences physiques. Les travaux du groupe pégase (http://pegase.inrp.fr), constituent également une base de données importante, permettant de disposer d'un large panel de séquences d'enseignement couvrant plusieurs domaines des sciences sur plusieurs niveaux d'enseignement. L'état d'avancement actuel de la recherche en didactique des sciences physiques permet de disposer de séances dont la pertinence a été testée, pour la majorité, dans des conditions particulières d'enseignement.

Un ensemble de facteurs d'ordre scientifique a donc encouragé le développement de recherches sur l'activité de l'enseignant en classe de sciences : l'avancement des travaux de didactique sur l'apprentissage des élèves, la construction et l'évaluation de séquences d'enseignement donnant une large place à la construction du savoir par l'élève, le repérage de difficultés chez les enseignants pour mettre en œuvre ces séquences (voir ci-dessous), les recherches en psychologie sociale dans le domaine du socio-constructivisme... A ce contexte scientifique, vient s'ajouter un contexte social favorable à l'émergence de ce type de problématique. En effet, la création des IUFM en tant qu'institut de formation a généré une forte demande de connaissances relatives à l'activité d'enseignement pour nourrir les formations dispensées aux enseignants. Les IUFM, en tant qu'institut universitaire, ont également rapproché des enseignants-chercheurs vers des thématiques relatives à l'enseignement et à la formation. Ce contexte scientifique et social peut expliquer l'émergence de recherches relatives à l'enseignement scientifique en classe en France.

Le passage d'une centration sur l'apprentissage des élèves vers une centration sur l'enseignement n'est pas uniquement intervenu dans le champ de la didactique des sciences physiques mais dans les didactiques d'autres disciplines et dans les sciences de l'éducation. La création du réseau OPEN, dont j'ai été membre plusieurs années, en est une illustration. Ce

[5] *Ainsi, l'un des préalables à la construction d'un logiciel de simulation de gestion d'enseignement est de disposer d'une préparation de séance d'enseignement susceptible de favoriser l'apprentissage des élèves. Les recherches que nous envisageons de développer à l'avenir ne s'intéressent pas à la construction de séquences d'enseignement mais à leur gestion. Il conviendra de retenir comme critère de choix de séquences d'enseignement, l'existence d'une évaluation de leur impact sur l'apprentissage des élèves.*

réseau dirigé par Marc Bru, Marguerite Altet et Claudine Blanchard-Laville a pour ambition de mettre en relation les chercheurs en éducation afin de partager les outils méthodes et questions de recherches portant sur l'activité du maître.

Si le contexte social a favorisé le développement des recherches sur l'enseignement des sciences en France, ce thème de recherche est également au centre des préoccupations de la communauté internationale des chercheurs qui s'intéressent à l'enseignement des sciences. L'étude des interactions en classe de sciences (e.g. Lemke, 1990 ; Polman, & Pea 2001, Mortimer et Scott, 2003 ; Leach et Scott 2003…), la gestion de séquences d'investigation (e.g. Keys, & Kennedy 1999 ; Keys & Brian, 2001 ; Luft, 2001…) et la formation des enseignants de sciences (pour une synthèse voir Méheut, 2006) sont des sujets qui font actuellement l'objet de nombreuses recherches dans la communauté internationale. L'un des enjeux sociologiques et politiques commun à ce type de recherches est la lutte contre la désaffection des filières scientifiques (rapports Porcher, 2002 et 2003 ; Rolland, 2006…). La désaffection des filières scientifiques accroît l'importance donnée aux recherches portant sur l'enseignement des sciences et sur la formation des enseignants puisque la nature de l'enseignement est une des causes possibles de cette désaffection que l'on constate dans la quasi-totalité des pays du monde.

Une des pistes envisagées pour contrer cette désaffection est la mise en œuvre d'un enseignement plus attractif. La mise en œuvre de séquences d'investigation dans les classes de sciences est une des réponses possibles au problème posé par cette désaffection. Mais, concernant la gestion des séquences d'investigation en sciences, une recherche menée par Vérin (1998), et confirmée par d'autres travaux, montre clairement que cette gestion de séquences d'investigation n'est pas simple et que les enseignants, même chevronnés, rencontrent des problèmes pour gérer ces séquences. Aider les enseignants à gérer des séquences d'investigation est un des buts poursuivis par nos recherches.

Quelques unes des difficultés à gérer les séquences d'investigation

Plusieurs recherches ont montré les difficultés rencontrées par les enseignants pour gérer des séquences d'enseignement qui privilégient la construction du savoir par l'élève. Dans le domaine de la biologie, Bomchil & Darley (1998) ont montré que l'enseignant ferme le problème pour faire apparaître la bonne hypothèse, notamment en posant des questions à trous ou en faisant des associations de mots, plus qu'en mobilisant une pensée rationnelle. Il sélectionne la bonne réponse dès qu'elle apparaît et ignore les autres. Il ne met pas en place de phase d'anticipation liée à l'hypothèse. L'expérimentation consiste le plus souvent à suivre un protocole fixé par l'enseignant. Koliopoulos & al. (1998) et De Jong (1998) ont également montré que, si les enseignants font parfois émerger les représentations des élèves, ils ne donnent pas suite à cette phase d'émergence. La gestion de telles séquences est donc loin d'être une formalité, même pour des enseignants chevronnés. Il n'est pas question dans nos propos d'incriminer la qualité professionnelle des enseignants, mais plutôt de chercher à comprendre les raisons pour lesquelles de telles situations apparaissent, malgré la qualité des enseignants choisis pour ces études. De plus, il faut se méfier d'une interprétation trop hâtive des résultats de ce type de travaux. En effet, les chercheurs traquent ici les écarts entre ce qu'ils attendent et ce qu'ils observent. Ces résultats ne prennent donc pas en compte tous les points positifs qu'il serait possible d'observer. Par conséquent, ces résultats ne peuvent pas être considérés comme une image représentative de l'activité enseignante.

Vérin (1998), s'est entretenue avec cinq enseignants ayant participé à une recherche de quatre ans dans le domaine de la didactique des sciences. Ces enseignants, bien qu'adhérant au paradigme constructiviste et proches du milieu de la recherche, ont rencontré plusieurs types de difficultés dans la gestion des séances proposées par le chercheur :

- Les situations d'enseignement mises en œuvre incitent les élèves à prendre des risques en s'engageant personnellement et publiquement dans le débat tout en sachant qu'ils ont de grandes chances de voir leurs propos remis en cause par l'enseignant. Cette incitation à la prise de risque, nécessaire à l'émergence des représentations, a fait l'objet de reproches de la part des élèves envers les enseignants. De façon plus générale, les élèves peu habitués à ce genre de séance, ont du mal à se situer dans leur nouveau rôle. Ces difficultés, que nous avons également repérées dans nos propres travaux, peuvent s'expliquer par le changement de contrat didactique (Brousseau, 1998) que nécessite la mise en œuvre de ce type de séances.

- En favorisant la participation des élèves à la construction du savoir, le déroulement de la séance devient aléatoire au niveau des interactions, même s'il reste stable au niveau des grandes lignes tracées lors de la préparation. L'enseignant se trouve dans une situation inconfortable qui l'amène à prendre constamment des décisions sur le champ.

- Ces décisions ne relèvent pas uniquement de l'adaptation aux idées des élèves, mais également de la conduite du projet de l'enseignant qui doit par exemple, déterminer à quel moment arrêter l'investigation pour institutionnaliser le savoir.

- En gérant les séquences d'investigation (séances compatibles avec le point de vue socio-constructiviste), l'enseignant se trouve dans un ensemble de tensions. Afin d'explorer les limites d'une représentation, les élèves, sous la responsabilité de l'enseignant, sont amenés à l'utiliser. Dans ces situations, l'enseignant, garant du savoir mis en jeu, peut donner aux élèves l'impression qu'il cautionne ces représentations puisqu'il ne les juge pas dans un premier temps et peut même, le cas échéant, les faire fonctionner. Le caractère adaptable des représentations des élèves rend délicates et longues les phases de déstabilisation. Diminuer ce temps risque de rendre ce travail inefficace alors que l'allonger, c'est prendre le risque de voir les élèves s'y enliser ou même de les conforter dans leur représentation. Enfin, en voulant donner la parole aux élèves, l'enseignant est tenté de répondre à un ensemble de questions qui peuvent aller à l'encontre de la poursuite de son objectif conceptuel.

Ces constats justifient, selon nous, que la gestion des interactions, élément de la gestion de séquences d'enseignement, constitue un objet de recherche et de formation. Les recherches que nous avons menées apportent des éléments de réponse à quelques unes de ces difficultés[6], en reliant entre elles des questions d'apprentissage, d'enseignement et de formation.

Les interactions en classe : un objet d'étude qui lie des questions d'apprentissage, d'enseignement et de formation

Les recherches que nous avons menées jusque là, visent à produire des résultats permettant de mieux connaître les liens entre, d'une part, les interactions en classe et l'apprentissage des

[6] *Dans la perspective de développer de nouvelles recherches et des outils de formation utilisant la simulation, il est important de repérer les difficultés de gestion que permet de travailler le logiciel de simulation, et celles qui ne sont pas travaillées par la simulation.*

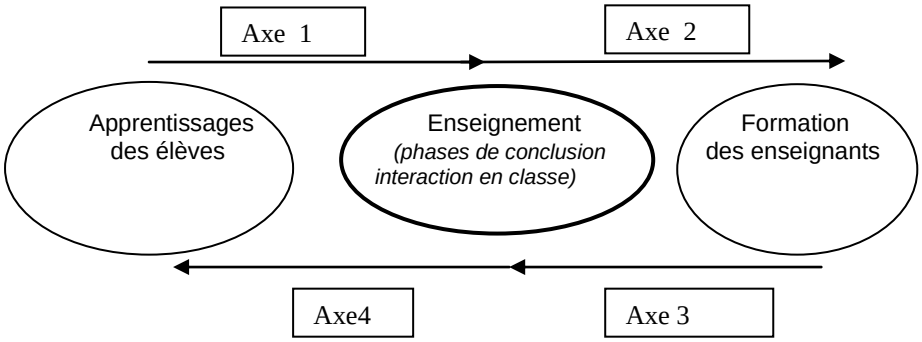
élèves, et, d'autre part, entre la formation des maîtres et les interactions en classe. Elles se répartissent selon quatre axes (cf. fig. 1).

Le premier axe s'intéresse au lien entre l'apprentissage des élèves et les interactions en classe. Le but est ici de repérer un ou des moments de l'interaction susceptibles d'avoir un effet sur l'apprentissage des élèves. Ce sont les cadres théoriques de la didactique des sciences et de la psychologie sociale qui sont principalement mobilisés pour formuler ces hypothèses relatives à l'impact sur l'apprentissage de certaines formes d'interactions. Notre projet n'est pas de modéliser l'ensemble des interactions mais de nous intéresser à certaines d'entre elles qui pourraient potentiellement correspondre à une construction collective de connaissances. Des interactions compatibles avec le point de vue socio-constructiviste seront désormais appelées, par mesure de simplification, interactions socio-constructivistes. Ce premier axe consiste à caractériser les types d'interactions susceptibles de favoriser l'apprentissage des élèves. Il s'agit en quelque sorte d'un travail de déduction théorique qui opérationnalise dans la pratique enseignante, des éléments théoriques. Cet axe ne se résume pas à un travail de pure spéculation, mais il s'intéresse aux pratiques effectives des enseignants en situation réelle d'enseignement. Il s'agit de déterminer comment, dans la pratique de l'enseignant de sciences physiques, peuvent s'opérationnaliser des principes théoriques.

Le deuxième axe s'intéresse au lien entre les interactions en classe et la formation des maîtres. Le but est ici de déterminer les conditions permettant aux enseignants l'acquisition des compétences nécessaires à une gestion des interactions en classe susceptibles de favoriser l'apprentissage des élèves. Pour étayer les dispositifs de formation, des recherches sur les connaissances et raisonnement utilisés par les enseignants en situation d'enseignement simulé ont été développées (Axe 2.1). Une meilleure représentation des connaissances et raisonnements que les enseignants utilisent en situation d'enseignement, permet d'ajuster plus finement les dispositifs et les objectifs de formation. Un second sous-axe de recherche-développement (Axe 2.2), s'interroge sur les dispositifs de formation susceptibles de développer chez les enseignants les compétences visées. Autrement dit, il s'agit de déterminer ce que les enseignants doivent acquérir et quel dispositif de formation favorise cette acquisition. Le but étant d'amener les enseignants à interagir avec leurs élèves dans une perspective de co-construction de savoirs.

Figure 1[7] : Programme de recherche sur les interactions en classe de sciences articulant formation, enseignement et apprentissage

Axe 1 : Modélisation des interactions maître-élèves susceptibles de favoriser l'apprentissage des élèves Questions de recherche : Comment décrire et caractériser une interaction compatible avec un point de vue socio-constructiviste ? Quels points de vue épistémologiques sont véhiculés à travers les interactions en classe ? Quel est le domaine d'application des différents types d'interactions mis à jour ? Quel moment de l'interaction est-il pertinent d'analyser ?	Axe 2 : Recherche des conditions de formation favorisant la mise en place d'interactions socio-construcvistes en classe de sciences 2.1 Etude de l'activité d'enseignement pour mieux penser la formation : Dans quelle mesure les pratiques naturelles des enseignants sont compatibles avec une perspective socio-constructiviste ? Comment l'enseignant prend ses décisions dans l'action? Quelles connaissances il mobilise en situation d'enseignement ? 2.2 Formation : Quelles connaissances doivent acquérir les enseignants pour modifier leur pratique ? Comment les leur faire acquérir ?



Axe 4 : Evaluation de l'impact des pratiques effectives des enseignants sur les élèves Le changement de pratiques enseignantes provoqué par la formation a-t-il un impact sur les élèves ? Qu'apprend-on sur les conditions favorisant l'apprentissage des élèves ?	Axe 3 : Evaluation de l'impact de dispositifs de formations sur les enseignants La formation dispensée (dispositif et contenu) a-t-elle eu un effet sur les pratiques des enseignants, sur leurs conceptions ? Qu'apprend-on sur les conditions de développement des pratiques et des conceptions enseignantes ?

Le troisième axe porte sur le lien entre la formation et les pratiques enseignantes. Il s'agit d'évaluer l'impact de différents dispositifs de formation sur des pratiques effectives d'enseignants, plus précisément sur leur gestion des interactions en classe de sciences. Cet axe de recherche est aussi l'occasion de recueillir des éléments relatifs aux conditions de développement de pratiques professionnelles et des conceptions des enseignants. Quelles difficultés rencontrent-ils ? Quels facteurs facilitent ou freinent les changements ? Ces résultats fournissent des éléments de réflexion utiles pour déterminer les conditions de formation favorisant la mise en place d'interactions compatible avec une vision socio-constructiviste en classe de sciences (axe 2).

Enfin, le quatrième axe de recherche consiste à évaluer l'impact de certaines pratiques interactives sur les élèves. Il s'agit de tester de façon quantitative, l'impact de certaines pratiques interactives sur l'apprentissage des élèves. Ce type de recherche nous renseigne sur

[7] Figure inspirée la figure synthétisant la problématique du laboratoire PAEDI dans le dossier de demande d'Equipe d'Accueil déposé en 2007 (http://www.auvergne.iufm.fr/wiki.php?tag=PaediEA).

la validité des hypothèses formulées au cours des recherches de l'axe 1. Elles permettent de mieux connaître les facteurs susceptibles d'avoir un effet positif sur l'apprentissage des élèves.

Ainsi, la majorité des recherches que nous menons s'inscrit dans l'un de ces quatre axes. L'ordre de présentation de cette note de synthèse reprend cette répartition en quatre axes. Cette présentation ne correspond pas à l'ordre dans lequel les recherches ont été menées. En effet, nos recherches nous ont amenées à effectuer plusieurs cycles consécutifs (modélisation 1 des interactions, formation 1, évaluation de la formation 1, modélisation 2, formation 2, évaluation de la formation 2). Cette note de synthèse ne reprend donc pas strictement la chronologie de nos travaux. Les questions de recherches, les méthodes et les résultats au sein d'un même axe obtenus à des périodes différentes seront présentées dans la même partie ce qui permet de repérer les évolutions de chacun de ces axes.

I Partie 1 : Modélisation des interactions en classe de sciences

I.1. Un ancrage dans le socio-constructivisme

Nos recherches reposent sur l'hypothèse selon laquelle, en situation d'enseignement, les interactions entre sujets (élève(s)-élèves, professeur-classe, élève-classe, professeur-élèves) peuvent influencer l'apprentissage des élèves. Cette hypothèse trouve son origine dans les travaux de psychologie sociale qui montrent l'importance de l'interaction sociale dans l'apprentissage. La loi fondamentale du développement des fonctions psychiques humaines énoncée par Vygotsky (1985, p. 111), stipule que « Chaque fonction psychique supérieure apparaît deux fois au cours du développement de l'enfant : d'abord comme activité collective, sociale et donc comme fonction interpsychique, puis la deuxième fois comme activité individuelle, comme propriété intérieure de la pensée de l'enfant, comme fonction intrapsychique». Cette loi fondamentale souligne l'importance de l'activité collective pour l'apprentissage de l'enfant. Elle souligne également l'idée selon laquelle la fonction psychique doit apparaître tout d'abord comme une activité collective, autrement dit qu'elle doit être mise en œuvre et utilisée (mise en situation de fonctionner) dans l'activité collective. L'appropriation individuelle passe par l'utilisation collective de ces fonctions. L'enfant s'approprie les fonctions psychiques tout d'abord mises en jeu collectivement dans l'interaction. Cette loi énoncée dans le cadre de la psychologie sociale pour décrire le développement de fonctions psychologiques est étendue par l'auteur lui-même à l'enseignement : « La théorie de la zone proximale de développement se traduit par une formule qui est exactement contraire à l'orientation traditionnelle : *le seul bon enseignement est celui qui précède le développement.* » (Vygotsky, 1985, p.110).

D'autres travaux, d'origine piagétienne, ont permis de préciser les conditions d'efficacité d'une interaction sociale. En effet, la nature des interactions collectives influence en partie le développement individuel de l'enfant. Les résultats dans ce domaine sont nombreux et il n'est pas opportun de les citer tous. Nous retiendrons ici une des conditions énoncées par (Doise et al. 1978) car elle nous paraît avoir des retombées importantes sur le plan de l'enseignement. Selon les auteurs, un conflit socio-cognitif est efficace si un sujet supérieur participe à l'interaction et si l'écart séparant le raisonnement de chacun des sujets n'est pas trop important. Dans le cas contraire, "cet écart ne permet pas au sujet inférieur d'expliciter ce qui lui fait problème, et ne lui donne pas d'emprise sur la négociation et sur la décision finale..." (Doise & al. 1978, p. 252). Autrement dit, la condition la plus favorable à l'apprentissage d'un sujet est la présence d'un sujet « supérieur », c'est-à-dire d'un sujet qui a acquis un certain nombre de connaissances et de compétences supérieures au sujet apprenant. Mais ce bénéfice se perd, si l'écart qui sépare le sujet apprenant et le sujet enseignant est trop important. On rejoint ici l'idée de zone de proche développement de Vygotsky (1934). La médiation de l'adulte est un facteur influençant favorablement l'apprentissage à condition que cette médiation se situe dans la zone proximale de développement de l'enfant.

En référence à la loi fondamentale du développement de Vygotsky, nos travaux portent sur l'activité collective (plan interpsychique) susceptible de favoriser l'apprentissage des élèves (plan intrapsychique). Nous n'étudions pas directement le processus

d'internalisation, processus par lequel l'individu développe sur le plan intrapsychique les fonctions d'abord mises en jeu sur le plan interpsychique. En revanche, nous nous intéressons aux effets des interactions sur les performances des élèves, ces performances étant un indice de l'internalisation. Nos travaux de recherche ne visent pas à modéliser le processus d'apprentissage, mais à modéliser les interactions sociales qui seraient favorables à l'apprentissage. A l'instar de Vygotsky (cité par Wertsch, 1985, p.143), nous supposons que « … les fonctions mentales supérieures sont des relations sociales intériorisées… Leur organisation, leur structure génétique et leur moyen d'action – en un mot, leur nature entière – est sociale. Même les processus mentaux (internes, individuels) conservent une nature quasi-sociale. Dans leur propre sphère privée, les être humains conservent les fonctions de l'interaction sociale ». Ainsi l'interaction sociale façonne le fonctionnement psychique des individus. Sur le plan de l'enseignement, on peut donc supposer que l'apprentissage individuel sera façonné par la nature de l'interaction sociale, plus précisément dans notre cas, par la nature des phases de conclusions qui apparaissent en classe.

Notre travail de recherche consiste dans un premier temps à utiliser cette loi fondamentale du développement dans le champ de l'enseignement des sciences physiques. Il s'agit de décrire a priori (sur la base d'éléments théoriques) les conditions d'une interaction efficace en classe de sciences. A la volonté d'utiliser cette loi, s'ajoute la volonté de la rendre opérationnelle, c'est-à-dire qu'elle donne aux enseignants les moyens d'agir en classe de sciences. Pour décrire l'action didactique, Sensevy (2007), propose un ensemble de concepts et de postulats, permettant d'esquisser les grandes lignes d'une théorie de l'action didactique conjointe. Nous allons donc utiliser ce cadre théorique pour organiser et structurer la présentation de nos propres résultats de recherches dans cette note de synthèse. Avant cela, nous allons tout d'abord montrer les liens qui existent, selon nous, entre les postulats qui fondent cette théorie et ceux du socio-constructivisme.

I.2. La théorie de l'action didactique conjointe

Sensevy et Mercier (2007) postulent que l'action didactique ne semble pouvoir s'appréhender correctement que sous la description d'une action conjointe. Plus qu'un postulat d'ordre méthodologique, il s'agit selon nous d'un parti pris théorique qui s'inscrit dans le socio-constructivisme. En effet, décrire le fonctionnement d'une classe en termes d'action conjointe, est un a priori théorique qui façonne et oriente le regard que l'observateur (le chercheur) porte sur l'objet (la classe). « Agir ensemble » suppose que les protagonistes réalisent collectivement la même action (ce qui n'empêche pas l'enseignant d'avoir un rôle différent des élèves au cours de l'action). Autrement dit, agir ensemble, c'est placer l'élève « dans une activité collective, sous la direction d'adultes [où] l'enfant est en mesure de réaliser beaucoup plus que ce qu'il réussit à faire de façon autonome» (Vygotsky, 1985 : 108). Au cœur de la théorie socio-constructiviste, comme au cœur de la théorie de l'action didactique conjointe, apparaît l'idée fondamentale selon laquelle, adulte et enfant (enseignant et élève) réalisent conjointement une même action (Sensevy, 2007), pour qu'ensuite l'enfant (l'élève) puisse la réaliser seule (Vygotsky, 1985: 109). Les descriptions que nous avons faites des interactions en classe au cours de nos propres recherches, adoptent ce point de vue. Chacun des protagonistes est représenté comme un acteur susceptible de modifier, compléter, interroger, remettre en cause, vérifier, valider le savoir mis en jeu dans l'interaction. Le concept de connaissances de référence (partie 1.4.3), en tant que connaissances partagées par les élèves et l'enseignant, permet de rendre saillant l'existence d'une base argumentative

commune, disponible pour l'ensemble des membres de la classe engagés dans une action didactique conjointe.

Le second postulat de la théorie de l'action didactique conjointe considère « que les savoirs donnent leurs formes aux pratiques d'enseignement et d'apprentissage» (Sensevy et Mercier, 2007 : 2). Ce postulat, nous a amené à interroger, à plusieurs reprises dans cette note de synthèse, la relation entre la nature du savoir mis en jeu, et la nature des interactions en classe. Ce postulat permet de dépasser un cloisonnement des recherches didactiques selon la discipline scolaire qui est envisagée. C'est la nature des savoirs mis en jeu qui donne sa forme aux pratiques d'enseignement et non pas directement la discipline. Ce postulat permet de jeter des ponts entre des recherches qui portent sur des disciplines scolaires différentes mais qui s'intéressent à des savoirs de nature identique ou proche. Ce postulat permet également d'avancer l'idée selon laquelle certaines pratiques d'enseignement, au sein d'une même discipline, sont adaptées à certains types de savoirs. Autrement dit, au sein d'une même discipline scolaire, il existe des savoirs de nature différente (des conventions, des lois, des modèles, des règles, des formes différentes de représentation du savoir… ; des hypothèses / des savoirs institutionnalisés / des postulats…) qui donnent des formes d'enseignement différentes. Par exemple, si un élève, dans son raisonnement, modifie une connaissance institutionnalisée, l'enseignant risque fort de refuser rapidement que l'on revienne sur des connaissances institutionnalisées. En revanche, si l'élève mobilise dans son raisonnement une nouvelle connaissance, il est probable que l'enseignant tente de mobiliser plusieurs types d'arguments pour valider ou invalider celle-ci. Cet exemple montre comment la nature des connaissances mises en jeu peut façonner l'interaction au-delà de la simple question des disciplines scolaires qui sont étudiées. La théorie de l'action didactique conjointe permet de décrire l'activité d'enseignement en dépassant les clivages disciplinaires tout en prenant en compte la nature des savoirs scolaires enseignés et les formes d'enseignement qui leurs sont associées.

Le concept de contrat didactique est un des concepts clefs, emprunté à Brousseau (1998), et utilisé par Sensevy dans le cadre de la théorie de l'action didactique conjointe. Le contrat didactique se présente comme « la trace des exigences habituelles du maître (exigences plus ou moins clairement perçues), sur une situation particulière. » (Brousseau & Warfield, 1981 : 33). Or, le changement de modalité de contrôle des productions, passe nécessairement par un changement du contrat didactique qui lie les élèves et l'enseignant, puisque l'enseignant modifie ses attentes envers les élèves qui ne doivent plus trouver la réponse attendue par le maître, mais imaginer une production cohérente avec les connaissances de référence. En privilégiant le critère de validité par rapport au critère de véracité, l'enseignant modifie le rapport de l'élève au savoir, il modifie les règles qui régissent le contrôle des productions, il modifie ses attentes envers les élèves, il modifie les attentes des élèves envers l'enseignant. En bref, il modifie le contrat didactique qui lie les élèves et l'enseignant. Nos recherches nous ont permis de repérer quelques effets de ce changement de contrat (partie. 3.2.2.).

Le concept de « milieu » introduit par Brousseau (1980), repris par Sensevy (2007) est également un concept-clef dans l'analyse des situations didactique. Bousseau définit le milieu comme suit : « Le *milieu* est le système antagoniste de l'actant. Dans une situation d'action, on appelle "milieu" tout ce qui agit sur l'élève ou / et ce sur quoi l'élève agit. (Brousseau, 2003) ». Sensevy (2007 : 14) distingue quand à lui deux fonctions du milieu, « selon que le mot fait référence à l'environnement cognitif commun…, ou aux ressources et contraintes qui orientent les transactions. » Il distingue donc le milieu comme contexte cognitif de l'action – il représente « les significations communes, dans la construction d'une référence, [qui] sont

indispensables à la production des stratégies gagnantes… ». - et le milieu comme système antagoniste - qui rétroagit sur les stratégies des élèves et réfute (en se substituant à l'enseignant), les stratégies inopérantes et valide les bonnes- . Autrement dit le milieu agit à la fois comme un système de ressources (contexte cognitif) et de contraintes (système antagoniste). Cette double fonction de ressource et de contrainte se retrouve également à propos du concept de connaissances de référence (chapitre 1.4.3) que nous avons développé pour pouvoir analyser les interactions. Cette ressemblance des deux concepts nous incite à entamer une comparaison entre le concept de milieu et le concept de connaissances de référence. Les concepts de milieu (Brousseau, 1998), de connaissances de référence (Morge, 1997), de connaissances spécifiques nécessaires à la validation (Margolinas, 2004) devront faire l'objet d'un questionnement théorique plus approfondi afin de mieux préciser les articulations de ces différents concepts.

La théorie de l'action didactique conjointe s'intéresse également aux déterminants de l'action didactique. Autrement dit, il s'agit ici non plus d'étudier l'action didactique mais les connaissances et raisonnements à l'origine de l'action didactique. L'enseignant est en effet celui qui définit, oriente, régule et institutionnalise le savoir mis en jeu dans la transaction. Il a la responsabilité de l'action didactique menée collectivement. Comprendre les déterminants de l'action est donc une entreprise indispensable à la compréhension de l'action didactique. « …la prise en compte des sources de l'action pourra être utile, au-delà de la reconnaissance nécessaire des déterminations effectives, si l'on cherche à mieux comprendre le système général de prise de décisions propre à ce professeur, et, au-delà, aux professeurs en général. » (Sensevy, 2007). La partie 2.2 de cette note de synthèse est consacrée à ce sujet.

Alors que la théorie de l'action didactique conjointe devrait permettre de rendre compte de tout type d'activité d'enseignement, l'étude des interactions que nous avons menée dans le cadre nos recherches, se limite aux interactions qui apparaissent dans des séquences d'investigation (Morge & Boilevin, 2007), séquences laissant une large place à la construction sociale du savoir par les élèves (chapitre 1.6.1). En effet, ces situations sont, comme nous l'avons montré, difficiles à gérer pour les enseignants, et notre entreprise vise à donner aux enseignants les moyens d'aider les élèves à apprendre dans ces situations d'investigation. Nous ne nous intéressons donc pas aux situations de réinvestissement comme les exercices d'application, ni aux situations d'évaluation, ni aux situations de cours magistral. Ces séquences d'investigation peuvent être modélisées par un enchainement de tâches. Une tâche, est un travail donné par l'enseignant aux élèves, engageant ceux-ci dans un processus de production (production d'une hypothèse, d'un protocole expérimental, d'une prévision, d'un résultat expérimental, d'une modélisation, d'une description d'un phénomène…). La production est la réponse apportée par un élève ou un groupe d'élèves à la tâche qui lui a été confiée par l'enseignant dans le cadre d'une séquence d'investigation. Ces productions peuvent prendre des formes orales ou écrites. Ce sont ces productions qui seront soumises au contrôle de validité dans les phases de conclusion. Notre centration sur les contenus scientifiques mis en jeu dans l'interaction, ne nécessite pas de faire la distinction entre production orale et production écrite. En revanche, la distinction entre production publique et production privée (§1.4.3.2) peut être pertinente pour définir les connaissances de référence mobilisables. La distinction entre production en cours et production achevée est également pertinente pour analyser la gestion des productions des élèves (§1.4.3.3 et 1.4.4). Dans un enseignement de sciences physiques, les productions d'élèves seront donc, pour des raisons épistémologiques (§ 1.3.3.2), préférentiellement jugées sur leur validité (non contradiction avec les connaissances de référence) et non pas sur leur véracité (correspondance avec les savoirs scientifiques dont dispose l'enseignant).

La théorie de l'action didactique conjointe est centrée sur l'analyse du savoir mis en jeu dans la transaction didactique. La mésogénèse décrit à la genèse du milieu, la chronogénèse décrit l'évolution du milieu dans le temps, et la topogénèse décrit le rôle des protagonistes dans l'évolution du milieu. Dans notre projet de recherche l'étude la mésogénèse, la chronogénèse et la topogénèse sont étudiés. En effet, l'analyse des phases de conclusion au cours de l'interaction ne peut être effectuée que si l'on connaît les connaissances de référence (mésogénèse) disponibles pour les élèves et l'enseignant à l'instant où s'effectue la phase de conclusion (§1.1.3). Les connaissances de référence étant évolutives (chronogénèse), l'étude de leur évolution est également nécessaire à l'analyse des interactions enseignants-élèves au cours d'une séance (§1.1.3.1). Même si l'étude de l'évolution des connaissances de référence (§1.1.3.1) nous semble plus importante que l'étude du rôle joué par les élèves ou l'enseignant dans cette évolution, la répartition des rôles dans l'évolution des connaissances de référence (topogénèse) constitue une élément descripteur de l'évolution des connaissances de référence (§1.1.2).

I.3. Le concept de paradigme, un concept utile pour étudier la recevabilité du savoir dans une classe scientifique

Alors que Popper (1969) met l'accent sur le contrôle expérimental des productions scientifiques avec le concept de falsification, Kuhn (1970) met l'accent sur le contrôle social des productions scientifiques et introduit ainsi un certain relativisme épistémologique. « Un paradigme est, en quelque sorte, un cadre conceptuel, un système de pensée, communément admis à une époque donnée, auquel on se réfère de manière quasi-automatique et systématique et qui conditionne finalement la recevabilité d'une hypothèse » (Robardet & Guillaud, 1997 : 37). Le contrôle expérimental n'est pas l'unique mode de contrôle des productions scientifiques puisque ce contrôle s'inscrit dans un paradigme socialement et temporellement situé. En effet, le paradigme comprend les instruments, les méthodes, les théories, les modèles, les concepts les phénomènes connus et partagés à un instant donné par une communauté. Autrement dit, l'acceptation ou le refus de productions scientifiques dépend à la fois de leur capacité à prévoir ou expliquer des phénomènes mais aussi de leur compatibilité avec le savoir construit et partagé par la communauté scientifique. Ainsi les critères de contrôle ne sont pas immuables et sont relatifs à une pratique sociale située dans le temps.

Le concept de connaissances de référence que nous avons introduit pour interpréter les phases de conclusion en sciences physiques (partie 1.4.3), donne toute sa place à ce contrôle théorique par la communauté scientifique. Les propriétés des connaissances de référence sont proches de proches des propriétés d'un paradigme. Les connaissances de référence sont évolutives, elles comprennent à la fois des connaissances d'ordre empirique (phénomènes connus, matériel existant…) et des connaissances d'ordre théorique (théories, concepts, modèles, principes…) dont la validité n'a pas été mise en défaut publiquement. Elles sont partagées par une communauté à un instant donné. Elles servent à la fois de système de ressources et de contrainte pour la production de nouveaux savoirs.

Kuhn (1970), se plaçant dans une perspective historique, décrit deux modalités d'évolution des savoirs scientifique. Il distingue la « science normale » et la « science extraordinaire ».

Kuhn parle de science normale, lorsque les scientifiques s'inscrivent dans un paradigme qu'ils cherchent à développer sans le remettre en cause. Kuhn parle de science extraordinaire lorsqu'un nouveau paradigme est en construction. Les principes fondant l'ancien paradigme sont remis en cause et de nouveaux principes sont construits. Une nouvelle communauté scientifique se constitue et des hypothèses qui étaient jusque là inacceptables, peuvent dans ce nouveau paradigme, être validées.

Lorsque, dans une classe, les connaissances de référence croissent, s'enrichissent, sont complétées sans être remises en causes (ce qui est le cas lorsque les connaissances de référence sont constituées de savoirs scientifiques de référence), il s'agit d'un fonctionnement similaire à celui de la science normale. En revanche, lorsque que les connaissances de référence sont remises en cause (ce qui est le cas lorsque les connaissances de référence sont constituées de conceptions d'élèves), la classe est alors dans un fonctionnement similaire à celui de la science extraordinaire (Partie 1.4.3.1). Cette résonnance entre le concept de connaissances de référence et le concept de paradigme renforce la légitimité de l'utilisation de ce concept pour décrire et privilégier les phases de négociation dans l'enseignement des sciences expérimentales. Si la fonction des connaissances de référence dans la classe et leur évolution est comparable à la fonction du paradigme et à son évolution dans l'activité scientifique, les échelles de temps dans lesquelles s'inscrivent ces évolutions sont quant à elles totalement différentes. Enfin, la part que prend l'enseignant dans le choix des phénomènes à présenter aux élèves, le choix et l'ordre des tâches, le choix d'introduire des éléments d'un nouveau modèle n'a pas d'équivalence dans l'activité de la communauté scientifique.

La première justification de l'utilisation des connaissances de référence comme base argumentative commune dans la phase de conclusion est à trouver dans l'adhésion au point de vue socio-constructiviste. La deuxième justification s'applique plus particulièrement au domaine de l'enseignement des sciences et se situe sur un plan épistémologique. En effet, l'utilisation des connaissances de référence trouve un écho particulier dans le concept de paradigme de Kuhn (1970).

I.4. Les phases d'une interaction langagière en classe

Le terme d'interaction que nous utilisons est tiré du champ de la linguistique, pour lequel « l'interaction, c'est d'abord *ce processus* d'influences mutuelles qu'exercent les uns sur les autres les participants à l'échange communicatif (les interactants)… » (Cosnier, 2002 : 319). Replacé dans un contexte d'enseignement scientifique, cette influence mutuelle a pour but de construire des connaissances scientifiques. Ainsi, nous envisageons les interactions en classe sous l'angle de la co-construction de connaissances scientifiques à laquelle participent conjointement élèves et enseignants. Dans la plupart des travaux visant l'objectivation des interactions, les auteurs se centrent sur des moments précis renvoyant à des enjeux spécifiques de l'interaction : définir l'espace-problème (Orange, 1999) ; enrôler dans la tâche par la routine de la question ambiguë (Franceschelli et Weil-Barais, 1998) ; faire expliciter des réponses d'élèves par la routine de la fausse incompréhension (Franceschelli et Weil-Barais, 1998) ; partager la signification de codages symboliques (Larcher et Chomat, 1998) ; modéliser en se servant de la routine événement-objet-action (Franceschelli et Weil-Barais, 1998), faire émerger les représentations (Garcia-Debanc et Laurent, 2003), institutionnaliser des connaissances (Zaragoza, 2007).

L'étude de l'action didactique nécessite de la part du chercheur, un découpage de l'ensemble de l'action en unité de signification qui puisse faire l'objet d'une analyse. Il n'existe pas de découpage qui soit intrinsèquement préférable à une autre car la pertinence du découpage dépend de la question posée par le chercheur. Notre objectif de recherche n'est pas d'étudier l'ensemble d'une séance ou d'une séquence mais d'étudier un moment qui nous semble crucial du point de vue de l'apprentissage des élèves et de la formation des enseignants : les phases de conclusion. Ainsi, nous analysons dans les transcriptions, l'ensemble des interactions qui participent à l'acceptation ou au refus d'une production (décision relative à l'acceptation ou au refus, arguments utilisés pour justifier la décision, nature des connaissances mise en jeu dans l'argumentation, modalité de contrôle utilisée…). Mais l'analyse de ces moments de l'interaction, nécessite la prise d'informations relatives à la situation dans laquelle ce moment de l'interaction se produit (quelles sont les connaissances disponibles pour les élèves ? Dans quelle action conjointe les élèves et l'enseignant sont-il engagés ?). Autrement dit, nous allons rechercher dans la séance les éléments qui sont nécessaires à l'analyse des phases de conclusion.

Les phases décrivent chacun des états d'une chose en évolution. Le découpage en termes de phase dépend donc de l'objet dont le chercheur suit l'évolution. Si l'objet est par exemple, la séance de sciences physiques, il est possible de définir les phases de cette séance de la façon suivante (Tiberghien, 2007). « (1) introduction (de la séance (lien avec la séance précédente, consignes, organisation du travail, etc.), de l'activité, de l'exercice, d'une expérience (lecture, consignes), etc.) ; (2) développement du cours ou du modèle (lecture du cours, définitions des notions, explication du cours, etc.) ; (3) contrôle oral de connaissances (le professeur procède explicitement à une évaluation orale des élèves) ; (4) réalisation (de l'activité ou de l'exercice (travail des élèves seuls ou travail des élèves avec le prof), de l'expérience (travail des élèves seuls ou travail des élèves avec le prof)) ; (5) correction de l'activité ou de l'exercice (si les élèves ont travaillé les questions seuls) ; (6) clôture (d'une activité, de la séance (résumé de ce qui a été fait, consignes sur ce qui doit être fait à la maison, introduction à ce qui va être fait la séance suivante, etc.), d'un exercice). ». Dans le cadre de notre propre recherche l'objet en évolution que nous étudions est le savoir mis en jeu dans l'interaction didactique. L'évolution de cet objet peut donc être décrite par une succession de phases qui décrit l'évolution de ce savoir (1) phase de production au cours de laquelle l'élève élabore une réponse relative à la tâche qui lui a attribuée l'enseignant ; (2) une phase de conclusion au cours de laquelle la validité du savoir mis en jeu dans cette production est discutée ; (3) une phase d'institutionnalisation au cours de laquelle le savoir produit et validé par la classe est reconnu comme étant un savoir scolaire de référence ; (4) une phase d'opérationnalisation au cours de laquelle le savoir institutionnalisé est utilisé pour répondre à de nouvelles question. Le concept de phase ne peut être discuté qu'en fonction de l'objet dont l'évolution est décrite. Sur le plan méthodologique, il parait donc difficile, voir impossible de proposer des modèles de découpages de transcriptions de séances à valeur universelle.

I.5. Modélisation des phases de conclusion

Suite aux premières analyses de transcriptions de séances d'enseignement que nous avons observées au cours de notre thèse, nous avons choisi de travailler sur les phases de conclusion,

moment de l'interaction où l'enjeu est d'accepter ou de refuser une production d'élève effectuée dans le cadre d'une séquence d'investigation.

Nous allons donc présenter tout d'abord les raisons qui nous ont amenées à nous intéresser aux phases de conclusions. Nous présentons ensuite les conditions nécessaires pour qu'une phase de conclusion puisse s'inscrire dans le cadre d'une interaction socio-constructiviste. Ces conditions nous ont permis ensuite de distinguer deux types de phases de conclusion : les phases d'évaluation fondées sur la recherche de la véracité d'une production, et les phases de négociation fondées sur la recherche de validité des productions. Enfin, nous présenterons les diverses modalités de contrôle des productions relevant d'une phase de négociation. Sur le plan méthodologique, ce travail de description et d'analyse est réalisé par un processus itératif impliquant des enseignants et s'appuyant sur l'analyse de transcription de séances réelles d'enseignement. Ce processus comprend une explicitation de critères d'interaction de type socio-constructiviste aux enseignants, une analyse de séquences d'enseignement mise en œuvre par les mêmes enseignants, et affinement des consignes données aux enseignants lors de la préparation de la séance suivante. Cinq séances réalisée et analysée successivement selon le processus décrit ci-dessus a permis d'établir des critères opérationnels d'une interaction socio-constructiviste concernant les phases de conclusion. Les séances sont des séances du type investigation, c'est-à-dire, des séquences laissant une large place à la construction sociale du savoir par les élèves.

I.5.1. Le choix des phases de conclusion

Une des raisons pour lesquelles nous avons choisi les phases de conclusion est la difficulté que rencontrent les enseignants pour gérer ce moment de l'interaction. L'analyse de l'extrait de transcription, présenté ci-dessous est tirée de notre thèse (Morge, 1997b). Cette analyse permet d'illustrer cette difficulté. L'extrait se situe dans le contexte suivant. La séance porte sur le thème de la radioactivité. Les élèves sont dans une classe de première littéraire. Ils ont visionné en début de séance un film intitulé « les instables ou la radioactivité ». Après le visionnage d'une première partie du film, l'enseignant fait la synthèse des éléments apportés par le film. Suite à cette synthèse, les élèves ont à leur disposition les connaissances suivantes:
- les petits noyaux possèdent un nombre de nucléons inférieur à 40, parmi lesquels on trouve des stables et des instables.
- Les noyaux dont le nombre de nucléons est supérieur à 40 sont instables.
- Une des conditions de stabilité chez les petits noyaux est l'égalité entre le nombre de proton et le nombre de neutron dans un noyau.
- De plus les élèves connaissent la composition atomique de certains noyaux stables C12 (p=n=6), O16 (p=n=8), N14 (p=n=7), et de certains noyaux instables : C14 (p=6, n=8), O14 (p=8, n=6). Ces informations fournissent une première base, un premier modèle explicatif de la radioactivité de certains noyaux. Notons que, selon les connaissances scientifiques plus poussées sur le sujet, des petits noyaux peuvent être stables même si p est différent de n, à condition que p reste proche de n.

L'enseignant demande aux élèves d'émettre des hypothèses. Il s'agit pour les élèves d'imaginer 1) Par quel(s) moyen(s) un gros noyau instable pourrait devenir stable ? 2) par quel(s) moyen(s) un petit noyau instable peut devenir stable.

En ce qui concerne la première question, un élève propose que les gros atomes se fissurent et aillent rejoindre des petits noyaux (D124). L'enseignant reprend l'idée de cassure et reconnaît

que "ce n'est pas une mauvaise idée" (D135). En revanche, l'idée d'adjonction avec des petits noyaux n'est pas retenue. Il sélectionne ainsi une partie de la réponse et lui accorde une valeur positive, repris en cela par les élèves (D141, D143). Puis, sans la juger, l'enseignant demande aux élèves de réagir (D139) à la proposition de l'élève : « deux gros instables pourraient s'ajouter à un petit instable pour faire un stable ». Dans ces échanges, l'enseignant juge intéressante, à plusieurs reprises, l'idée de cassure sans pour autant expliquer pourquoi (D135, D142, D144, D149). Ni les élèves, ni l'enseignant n'explicitent en quoi cette idée peut être valide par rapport au problème posé (si le noyau se casse en deux parties égales, le nombre de nucléons par noyau devient inférieur à 209 ce qui permet d'obtenir deux noyaux pouvant être stables). Par ailleurs, l'enseignant réinterprète la proposition de l'élève et lui attribue un sens différent de celui que lui donne sans doute les élèves (D186, D191) : il rattache l'idée de cassure proposée par les élèves à la fission nucléaire. Ce n'est pas seulement un changement de nom, c'est aussi un changement de sens de la proposition.

La proposition initiale de l'élève (deux gros instables peuvent se fissurer et s'ajouter à un petit stable (D124, D125)) subit une transformation. Au lieu de s'ajouter avec un petit stable, les noyaux fissurés vont s'ajouter à un gros noyau stable (D160, D161). Cette transformation n'est pas désignée par l'enseignant et l'apport de celle-ci par rapport à la proposition initiale n'est pas non plus discuté.

Le mode de validation d'une proposition, affiché par l'enseignant, est le consensus (D149). La discussion entre élèves aboutit en fait à un compromis contradictoire non désigné par l'enseignant. En effet, les élèves se mettent momentanément d'accord pour que le noyau d'uranium, une fois cassé s'ajoute à un autre atome d'uranium stable (D161). Or, il n'existe pas de noyau d'uranium stable (le nombre de nucléons étant supérieur à 209) et l'ajout d'un demi-noyau d'uranium à un autre noyau d'uranium ne permet pas d'obtenir un noyau stable puisque le nombre de nucléons serait aussi supérieur à 209. Cet extrait illustre la difficulté que même cet enseignant chevronné, peut rencontrer pour développer des modalités de contrôle de productions d'élèves. Si l'enseignant abandonne l'utilisation d'arguments d'autorité pour créer les conditions d'une co-construction, de quelle modalité de contrôle dispose-t-il alors ? En ne donnant pas aux enseignants les moyens de contrôler les productions des élèves, le risque est alors grand de voir un cours qui n'avance pas et de voir s'établir d'éventuels compromis faux sur le plan scientifique.

D124E : Les gros atomes, donc, pourraient se fissurer. Euh, par exemple, deux gros atomes pourraient se fissurer. Et ils pourraient aller se rejoindre avec les plus petits.
D125E : Deux gros instables pourraient s'ajouter à un petit instable pour faire un stable. Un stable mais pas instable.
D126E : Tu peux répéter ?
D127E : Ça se pourrait hein ?
D128P : Oui, mais, lui, il parle des gros pour l'instant. Il est dans les gros atomes. C'est bien ça hein ? Il est dans les gros, lui, bon. On a dit qu'il y avait deux cas de figures différents. On est dans les gros. Lui il propose, avec un gros noyau, de faire quoi ? Oui. Précisons.
D129E : Ben d'en faire deux. Et un des deux qui s'ajouterait à un petit.
D130E : C'est vraiment une hypothèse personnelle je crois.
D131P : Non, non mais.
D132E : Ah! Tu vois. Je suis d'accord avec lui, moi.
D133P : Alors.
D134E : Il se casse.
D135P : Il se casse, il y a l'idée de cassure. On n'avait pas prévu ça au départ. Mais c'est pas mal. C'est pas une mauvaise idée, bon. Il se casse bon.

D136E : On prend ceux de droite ou ceux de gauche là ?
D137E : Ceux de droite.
D138P : Il est parti des gros, là. Il a pris l'hypothèse de partir des gros, là.
D139P : Il y a des gens qui ont quelque chose à rajouter, ou d'autres idées là ? Ou qu'est-ce que vous pensez de ce qu'il a raconté là ?
D140E : Ouais. C'est pas mal.
D141E : Il se casse. Et après qu'est-ce qu'il fait ?
D142P : Il se casse bon. Il y a l'idée de se casser, bon.
D143E : L'idée de se casser, d'accord. Mais le truc d'après euh ?
D144P : Ah! Elle est d'accord pour la cassure.
D145E : Il va s'ajouter avec d'autres trucs.
D146E : Oui mais t'en fais -
D147E : Mais, tu ne peux pas l'ajouter. C'est pas les mêmes.
D148E : Attendez! Parlez pas tous en même temps.
D149P : Apparemment, il y en a pas mal qui sont d'accord pour dire que ça se casse bon. C'est après qu'il y a discussion, bon. Après ?
D150E : Non mais, c'est une des possibilités.
D151P : C'est une des possibilités.
D152E : Ils peuvent se casser.
D153E : Par exemple, pour l'uranium, ça se divise comme tu dis et ça va où après ?
D154E : Hein ?
D155E : Et ça va où après ? Ça va sur le ... carbone ?
D156E : Oui. Par exemple.
D157E : On ne peut pas mettre de l'uranium dans le carbone.
D158E : Pourquoi ?
D159E : Ben, ouais. L'uranium il ne peut pas se mélanger avec le carbone.
D160E : Ben, à ce moment là, l'atome d'uranium il va se, il va avec un stable, un atome stable d'uranium.
D161E : Voilà à la rigueur ça serait plus...
D162E : Ils s'ajoutent les uraniums entre eux
D163E : Oui mais comment veux-tu qu'ils s'ajoutent là ?
D164P : Y ' a un problème là. Attendez! Vous voulez ajouter quoi à quoi là ?
D165E : L'uranium à l'uranium.
D166E : Oui.
D167P : Oui et je, bon. Vous êtes d'accord là ? Ajouter l'uranium à l'uranium ?
D168E : Faut pas les ajouter -
D169E : Non mais, par exemple, sur 230 euh.
D170E : Mais pour qu'ils soient plus stables après.
D171P : Attendez! Pourquoi ? Bon, elle dit que ce n'est pas possible, bon. Elle nous explique un peu.
D172E : Si on ajoute un atome d'uranium qui est stable, il ne sera plus stable après.
D173E : Ben si. Si on prend le même.
D174E : Ben non.
D175E : Par exemple si on/
D176E : Ben non. Mais dans l'instable justement, Tu as deux instables.
D177E : Ou alors t'en as plein, plein, plein d'instables qui/
D178E : Si tu divises. Tu peux bien diviser les deux.
D179E : Après, à cause des instables, ça fait des déchets.
D180E : Rires des élèves.
D181E : C'est des déchets nucléaires.

D182P : Oui.
D183E : Ceux qu'on a coupés.
D184P : Il a une idée derrière la tête là. Quand même, oui. Il a une idée, non, oui, enfin. Il a une idée. Il a une idée des déchets là. Il veut nous amener sur les déchets, bon, ben. C'est son droit hein. Bon, heu, heu, bon.
D185P : Allez! Il y a l'idée de cassure qui est intéressante.
D186P : Bon, alors, l'idée de cassure est intéressante effectivement, là, bon.
D187P : Il y a une idée derrière.
D188P : Je, mais, on ne va pas le traiter ce matin.
D189P : C'est le problème de la fission.
D190P : Il y a, derrière la cassure, le problème de la fission.
D191P : On ne va pas le traiter ce matin. Mais ça c'est une bonne idée.
D192P : Bon, alors, on va laisser tomber un petit peu les gros. Et sur les petits ?

Concernant la seconde question (le passage à la stabilité pour les petits noyaux), l'absence de modalité de contrôle des productions apparaît également. Mais dans ce cas, après une l'apparition d'une succession de productions, apparaît enfin la bonne réponse (D272, D275). Cette bonne réponse est reprise par l'enseignant. Sa capacité à résoudre le problème posé n'est pas mise à l'épreuve. Du point de vue des élèves, cette production est acceptée car c'est la bonne réponse. L'enseignant va ensuite redémarrer le visionnage de la cassette pour vérifier qu'il s'agit bien de la bonne réponse.

D272E : Et ben, on enlève un neutron, on met un proton et ça en fait 7, 7.
D273E : Voilà faut faire l'égalité.
D274P : On va essayer de chercher l'égalité. Et pour faire l'égalité, qu'est-ce qu'il faudrait faire ? Qu'est-ce qu'il faudrait qui change?
D275E : Faudrait qu'un neutron se transforme en proton.
D276 L'enseignant acquiesce. P : Il faudrait qu'un neutron se transforme en proton.
D277P : Ben, on va voir que c'est possible. Et on va lancer la machine.
D278P : Vous allez regarder le film. Et là, ils vont vous donner, tout ce que vous avez dit. On va essayer de le remettre en place, à partir de ce qu'ils vont vous montrer là. Donc, on va lancer les images et vous allez essayer de remettre tout ça en place. Allez! C'est parti.

D'autres auteurs ont également fait le constat de cette difficulté à gérer les productions d'élèves. Bomchil & al. (1998) ont montré que l'enseignant sélectionne la bonne réponse dès qu'elle apparaît et ignore les autres. Saint-Georges (1996 : 210) a également repéré chez les PLC2 "différentes manifestations d'évitement devant la gêne que leur occasionnent les connaissances imprévues de leurs élèves, et ceci d'autant plus qu'ils ne peuvent, sur le champ, en déterminer la pertinence." Cette difficulté peut donc être considérée comme étant partagé par un grand nombre d'enseignant. Or, la gestion des productions d'élèves est une compétence centrale que les enseignants doivent acquérir pour pouvoir mettre en œuvre une séquence d'enseignement laissant une large place à la construction sociale du savoir par l'élève. Les incitations institutionnelles à la mise en place de séquences d'investigation au collège (BO 25 Aout 2005) ne font que renforcer l'importance portée à la question de la gestion de ces productions. Ainsi, la gestion des productions d'élèves nous est apparue comme un moment crucial de l'interaction, délicat pour l'enseignant, nécessaire pour la gestion de séquences d'investigation, et potentiellement important pour l'apprentissage des élèves.

Afin de comprendre les limites de ce mode de gestion des productions au cours de l'interaction, il faut adopter le point de vue de l'élève. En effet, dans un mode d'interaction basé sur l'attente de la bonne réponse, l'élève ne reçoit pas ou peu d'information sur les productions qu'il réalise. Il n'est pas placé en situation de construire des savoirs mais de deviner les savoirs attendus par l'enseignant. L'activité cognitive sollicitée par une gestion des productions basée sur l'attente de la bonne réponse, ne relève pas de la construction rationnelle de connaissances. Ainsi, ce mode de gestion des productions ne relève pas de la co-construction. C'est l'enseignant qui accepte ou ignore certaines productions, sans que les raisons de ces choix soient accessibles aux élèves. L'enseignant n'opère pas de décentration par rapport à son propre point de vue, pour rechercher des arguments accessibles aux élèves. Il analyse, interprète et juge les productions au regard de ses propres connaissances scientifiques. Nous pouvons donc penser, en référence au point de vue socio-constructiviste, que l'absence de co-construction sociale, ne favorise pas la construction individuelle des connaissances.

Cette critique du point de vue de l'apprentissage des élèves se double d'une critique liée à la nature de la discipline elle-même. Les épistémologues contemporains (e.g. Bachelard 1938, Chalmers 1976, Kuhn 1983, Fourez 1992) reconnaissent le caractère construit des savoirs scientifiques. Le savoir scientifique n'est pas inscrit dans la nature mais il est résulte d'une construction humaine. Or, ce que vivent les élèves au cours d'une interaction relevant de l'attente de la bonne réponse, n'est pas compatible avec l'idée d'une construction rationnelle de savoirs scientifiques. La question de l'enseignement des sciences ne se pose pas uniquement du simple point de vue de l'apprentissage des élèves, mais également du point de vue épistémologique. L'enseignant doit-il enseigner uniquement des connaissances ou doit-il également transmettre à ses élèves une représentation la plus juste des méthodes, des attitudes, des critères de contrôle des savoirs produits dans cette discipline ? Si l'on adhère positivement à l'idée d'une transmission des démarches et méthodes de la discipline au cours de l'enseignement de celle-ci, une interaction basée sur l'attente de la bonne réponse ne peut pas être satisfaisante.

Nous avons donc cherché progressivement à proposer aux enseignants une autre modalité de gestion des productions d'élèves.

I.5.2. Phase de conclusion, phase d'évaluation, phase de négociation

Des descripteurs d'interaction sont disponibles dans la littérature. Par exemple dans le champ de l'éducation, il est possible de trouver des descripteurs du rôle de l'enseignant tels que, l'enseignant "donne des buts", "explique", "questionne", "répond", "répète", "appelle l'étudiant", "menace", "avertit"…(Postic 1977 : 72). Bruner (1983) propose quant à lui, dans le champ de la psychologie sociale, des fonctions de tutorat par lesquelles l'adulte aide l'enfant à résoudre des problèmes : enrôlement, réduction des degrés de liberté, maintien de l'orientation, signalisation des caractéristiques prédominantes, contrôle de la frustration, la démonstration ou "présentation de modèles" de solution pour une tâche. Or, ces descripteurs ne répondent pas à la question que pose l'adoption des deux points de vue socio-conctructiviste et didactique, c'est-à-dire : Comment caractériser une gestion des productions qui relève de la co-construction de savoirs en classe de sciences ? Ils ne disent rien non plus sur d'éventuelles modalités de contrôle de productions d'élèves en accord avec les points de vue didactiques, socio-constructivistes et épistémologiques contemporains.

Pour répondre à cette question, nous avons sur le plan méthodologique sollicité des enseignants-tuteurs. Plusieurs séquences de classe laissant une large place à la construction du savoir par l'élève, ont été enregistrées à l'aide d'un micro-cravate porté par l'enseignant, transcrites et analysées. Lors de la préparation, différentes consignes relatives à la gestion des productions d'élèves, sont soumises aux enseignants. Les analyses des séquences ont permis de remettre en cause la pertinence des descripteurs utilisés dans les consignes. C'est donc par un affinement progressif des consignes que nous sommes parvenus à décrire une modalité de contrôle des productions qui relève de la co-construction de savoirs. Ce travail de description a débuté pendant la thèse. Il s'est développé au fil de son utilisation dans différents contextes, et à la lecture de travaux portant sur des questions similaires dans le domaine des mathématiques. Nous présentons ici les résultats que nous avons obtenus concernant ce premier axe de recherche.

Rappelons tout d'abord que le moment de l'interaction où l'enjeu est d'accepter ou de refuser une production d'élève est appelé une phase de conclusion. La taille d'une phase de conclusion peut aller de quelques mots à plusieurs dizaines d'interventions. Les phases de conclusion sont disséminées dans l'ensemble de la séance. Il ne s'agit donc pas de phases de clôture de l'activité ou de la séance formant un bloc d'interaction qui se situerait à la fin d'une activité ou de la séance.

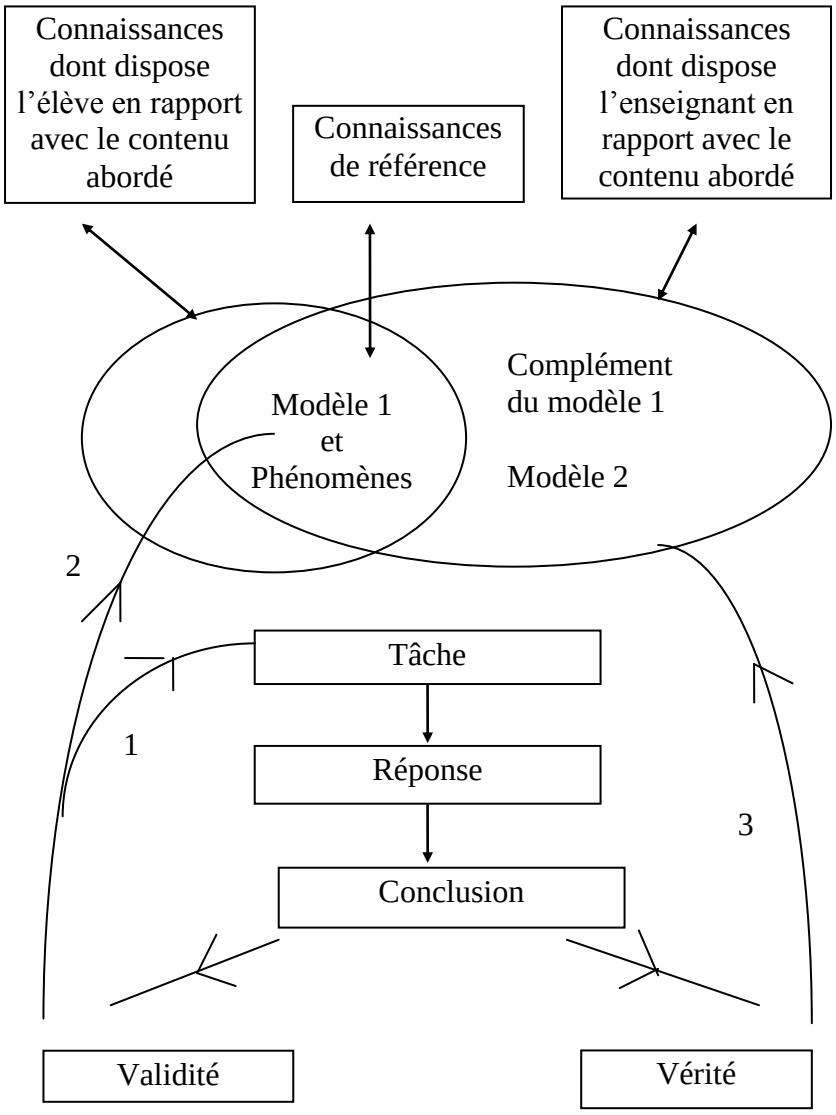
Nous distinguons deux types de phases de conclusion : les phases d'évaluation[8] et les phases de négociation. Les phases de négociation et d'évaluation diffèrent par le type d'argument mobilisé pour accepter ou refuser ces productions. La phase de conclusion est appelée **phase d'évaluation**, si la production de l'élève est jugée pour sa conformité avec les connaissances dont dispose la personne qui conclue. S'il s'agit de l'enseignant, ce qui est le cas le plus courant, il juge la production sur la base du savoir de référence qu'il possède (cf. 3. fig. 2). Cette recherche de conformité amène ensuite l'enseignant à considérer comme juste ou fausse la production de l'élève. Si c'est un élève qui évalue, il compare la réponse de l'autre élève à sa propre réponse pour déterminer son acceptabilité. Notons que le terme "évaluation", utilisé ici pour caractériser un certain type de phase de conclusion, est employé dans un sens plus restrictif qu'il ne l'est habituellement. Il traduit l'idée d'un jugement de véracité de la production, d'une comparaison des savoirs mis en jeu avec les savoirs de référence dont il dispose.

À l'inverse, la phase de conclusion est appelée **phase de négociation**, si la production de l'élève est jugée pour sa validité, c'est-à-dire pour sa cohérence (cf. 2 fig. 2) avec les connaissances de référence et pour sa pertinence par rapport à la tâche (cf. 1. fig. 2). Les connaissances de référence sont un ensemble évolutif de connaissances d'ordre théorique ou empirique, relatives au thème abordé, disponibles à la fois chez le maître et les élèves impliqués dans l'interaction et n'ayant pas été publiquement invalidées. Le contrôle des productions dans une phase de négociation repose donc sur le principe de non contradiction avec les connaissances préalablement établies : non contradiction entre les connaissances théoriques utilisées ou produites et celles disponibles, non contradiction entre les différents éléments d'un modèle, non contradiction entre les phénomènes prévus et les

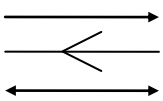
[8] Ici, le mot évaluation est pris dans un sens différent de celui qu'on lui attribue dans le champ de l'enseignement. Alors que l'évaluation est habituellement décrite comme une prise d'information par l'enseignant à propos de l'élève, ici le terme d'évaluation renvoie à une information donnée à un élève sur la « qualité » de sa production. Ce terme a été importé du champ de la didactique des Mathématiques (Margolinas, 1993).

phénomènes observés… Comme le soulignent Tiberghien et al. (1994 : 129), dans les projets d'enseignement développés par les chercheurs en didactique « la contrainte de cohérence entre le champ expérimental, la théorie et le modèle est très forte ». Faire de cette cohérence un critère de contrôle des productions d'élèves en classe de sciences s'impose donc. Selon nous, la seule contradiction acceptée dans la construction scientifique est la contradiction entre le modèle qui représente le phénomène et le phénomène lui-même (on invente le rayon pour représenter la lumière alors qu'elle est invisible, on imagine une matière discontinue alors qu'elle apparaît continue, on invente des interactions entre objet pour rendre compte de leur mouvement ou de leur absence de mouvement…). L'acceptation de cette contradiction, traduit l'écart entre modèle et phénomène, écart qui nécessite une prise de distance par rapport à « l'expérience première » (Bachelard, 1938). Le terme de « connaissances de référence » que nous avons choisi, traduit l'utilisation par les interlocuteurs (élèves et enseignant) d'une base argumentative commune à laquelle les personnes, impliquées dans l'interaction, se réfèrent. Notons que les connaissances de référence ne sont pas forcément maîtrisées par les élèves mais peuvent être en cours d'acquisition. Ainsi, l'enseignant peut demander aux élèves de les utiliser car elles ont été publiquement validées, sans pour autant considérer qu'elles soient totalement acquises et maîtrisées par les élèves. Enfin, quelle que soit la personne qui conclut, l'enseignant a la responsabilité de ce moment de l'interaction et il doit être en mesure de contrôler la nature des arguments mobilisés. Précisons enfin, qu'une connaissance publiquement invalidée, bien que disponible chez les élèves et l'enseignant ne fait pas partie des connaissances de référence.

Fig.2 : Le contrôle des productions d'élèves au cours d'une investigation



Légende



Enchaînement des grandes phases de l'interaction
Contrôle de réponses d'élèves
Désignation d'un ensemble de connaissances

La définition que nous avons proposée des phases d'évaluation et de négociation, diffère des définitions proposées par Margolinas (1993) dans le domaine des mathématiques. L'auteur distingue de la façon suivante deux phases de conclusions appelées phase d'évaluation et phase de validation : « *Nous dirons que la phase de conclusion est une phase d'évaluation quand, dans cette phase, la validité du travail de l'élève est évaluée par le maître sous la forme d'un jugement sans appel.* » (Margolinas, 1993, p. 30). « *Nous dirons que la phase de conclusion est une phase de validation si l'élève y décide lui-même de la validité de son travail.* » (Margolinas, 1993, p. 31). En comparant ces deux définitions, on peut s'apercevoir que le principal critère de différenciation est la personne, maître ou élève, qui conclut. Notre critère de distinction porte quant à lui sur la modalité de contrôle des

productions et non pas sur les personnes qui concluent. L'intérêt de se centrer sur les modalités de contrôle des productions plutôt que sur les personnes qui concluent réside dans le fait que la définition que nous proposons donne aux enseignants des moyens de contrôler les productions. De plus, l'analyse de certains extraits de séance nous ont permis de montrer que des enseignants pouvaient contrôler des productions d'élèves en recherchant la validité des productions (il s'agit alors d'une validation effectuée par l'enseignant) et inversement que des élèves pouvaient parfois évaluer les productions d'un de leur camarade et/ou leur propre production (il s'agit d'une évaluation effectuée par l'élève) (Morge, 2003c). En revanche, nous partageons globalement sa définition des phases de conclusion, même si, nous utilisons le terme de validité avec un sens beaucoup plus restrictif : « *Au cours de toutes les situations dans lesquelles l'élève doit fournir un travail personnel existe ce que nous avons appelé une phase de conclusion au cours de laquelle l'élève accède à une information sur la validité de son travail. Cette information doit être pertinente du point de vue du savoir mis en jeu. La phase de conclusion est sous le contrôle du maître… »* (Margolinas, 1993, p. 29). Pour nous le terme de validité diffère de celui de véracité. Le terme de validité est associé aux phases de négociation et non pas aux phases de conclusion. Le terme validité désigne une cohérence entre la production de l'élève et le savoir scientifique accepté jusque-là, alors que le terme de véracité désigne la similitude entre le savoir produit par l'élève et le savoir scientifique de référence. Pour nous, le terme de phase de conclusion renseigne sur ce qui est en jeu dans l'interaction (acceptation ou refus de la production) mais ne renseigne pas sur la modalité d'acceptation ou de refus (validité / véracité).

De plus, le terme de validation renvoie l'idée d'une estimation positive, alors que le terme que nous voulions utiliser devait pouvoir signifier une modalité qui puisse aboutir à l'acceptation ou au refus d'une production. Nous avons préféré le terme de négociation car il signifie que les interlocuteurs ne restent pas sur leur position initiale mais font un pas l'un vers l'autre. En effet, au cours de l'interaction, les élèves cherchent à produire, contrôler et acquérir de nouvelles connaissances. L'enseignant, quant à lui, est parfois amené au cours d'une phase de négociation à accepter temporairement des productions valides bien que scientifiquement « fausses ».

Nous allons nous arrêter un instant pour illustrer à l'aide de deux exemples cette distinction entre une phase de négociation et une phase d'évaluation.

Cet extrait se déroule au cours de la séance sur le thème du modèle particulaire proposée par Larcher et al. (1990). L'enseignant présente aux élèves une seringue dans laquelle se trouve un gaz roux (dioxyde d'azote). Il bouche l'extrémité de la seringue avec le doigt et comprime le gaz en poussant le piston. La tâche donnée aux élèves consiste à observer ce qui a changé et ce qui n'a pas changé pour la seringue et pour le gaz. En réponse à cette tâche, certains élèves proposent que la quantité de gaz n'a pas changé.
Dans l'extrait 1, la réponse "la quantité de gaz n'a pas changé" est acceptée car "le gaz n'a pas pu s'échapper" puisque la seringue "est bouchée". Les interlocuteurs s'appuient sur les connaissances de référence, plus précisément sur le protocole expérimental, pour justifier cette production. Il s'agit d'une phase de négociation prise en charge par les élèves et explicitement entérinée par l'enseignant. En effet, par l'emploi du terme "O.K.", l'enseignant signifie qu'il accepte cette production en reprenant les arguments avancés par les élèves.

Extrait 1

P1	On notera tout à la fin. Bon maintenant pour ce qui n'a pas changé. La quantité de gaz. **Tout le monde est d'accord ? Pourquoi est-ce qu'elle n'a pas changé ? Fanny.**

E	**Ben parce qu'elle a pas pu s'échapper.**
P1	**Parce que le gaz n'a pas pu s'échapper c'est ça ?**
E	**Ben oui.**
P1	**Ça vous paraît correct ? Joachim ?**
E	**Ben oui parce que c'est bouché.**
P1	**D'accord, le gaz n'a pas pu s'échapper donc la quantité de gaz n'a pas changé, OK.** Ensuite, le gaz reste à l'intérieur ? Ça vous paraît correct ?

Dans l'extrait 2, en revanche, un autre professeur P2 accepte cette même réponse par un laconique "oui, très bien". Dans ce cas l'enseignant P2 se positionne en tant qu'évaluateur. Aux yeux des élèves, cette production est acceptée car elle correspond à celle que détient l'enseignant (cf. 3 fig. 2) et non pas car elle est cohérente avec les connaissances de référence et qu'elle répond à la question posée. Il s'agit d'une phase d'évaluation prise en charge par l'enseignant.

Extrait 2

P2	Alors maintenant, à votre avis, qu'est-ce qu'on met dans l'autre colonne? Oui je t'écoute Marion, Sophie.
E	Ce qui n'a pas changé.
P2	Ce qui n'a pas changé, c'est quoi. Charles ?
E	La quantité de gaz.
P2	**La quantité de gaz, oui, très bien** et puis? Oui, je t'écoute.

I.5.3. Le concept de connaissances de référence

La description du fonctionnement de la classe comme une action conjointe des élèves et du professeur (Sensevy et Mercier, 2007), l'idée d'une zone proximale de développement dans laquelle l'activité de l'élève doit s'exercer pour favoriser l'apprentissage des élèves, l'idée selon laquelle la participation d'un sujet supérieur à l'interaction et la possibilité pour le sujet apprenant d'avoir une emprise sur la négociation et la décision finale favorisent l'apprentissage (Doise & al. 1978), ont été opérationnalisées à travers le concept de connaissances de référence (chapitre 1.1.3.).

Les connaissances de référence sont les connaissances d'ordre théorique et empirique, partagées par l'enseignant et les élèves impliqués dans l'interaction et n'ayant pas été publiquement invalidées. Elles délimitent l'espace de négociation, commun à l'enseignant et aux élèves, permettant de contrôler la validité des productions des élèves. Ces connaissances de référence servent à la fois de ressource (pour produire de nouvelles connaissances) et de contraintes (les nouvelles connaissances produites ne doivent pas être en contradiction avec les connaissances préalables).

L'interprétation des phases de conclusion nécessite donc le repérage préalable des connaissances de référence. La liste des connaissances de référence n'est pas établie arbitrairement par le chercheur ou par l'enseignant, mais elle est définie par la situation d'enseignement elle-même. Définir les connaissances de référence consiste à lister l'ensemble des « connaissances » empiriques ou théoriques, disponibles pour l'enseignant et les élèves impliqués dans l'interaction, et n'ayant pas été publiquement invalidées, à l'instant où débute la phase de conclusion. Pour déterminer les connaissances de référence il faut donc

regarder dans le passé, dans l'histoire de la classe, les connaissances qui ont été ou non reconnues valides par la classe, relativement au contenu abordé. Les connaissances de référence portent donc la trace des activités passées. Les connaissances de référence ne correspondent pas aux connaissances maîtrisées par les élèves (point de vue de l'élève), elles ne correspondent pas au savoir scientifique de référence de l'enseignant (point de vue de l'enseignant), mais elles correspondent aux connaissances disponibles pour l'enseignant et les élèves (point de vue de la classe). C'est donc l'état d'avancement du savoir qui détermine les productions acceptables et celles qui ne le sont pas. En effet, les connaissances de référence évoluent au fil de la séance.

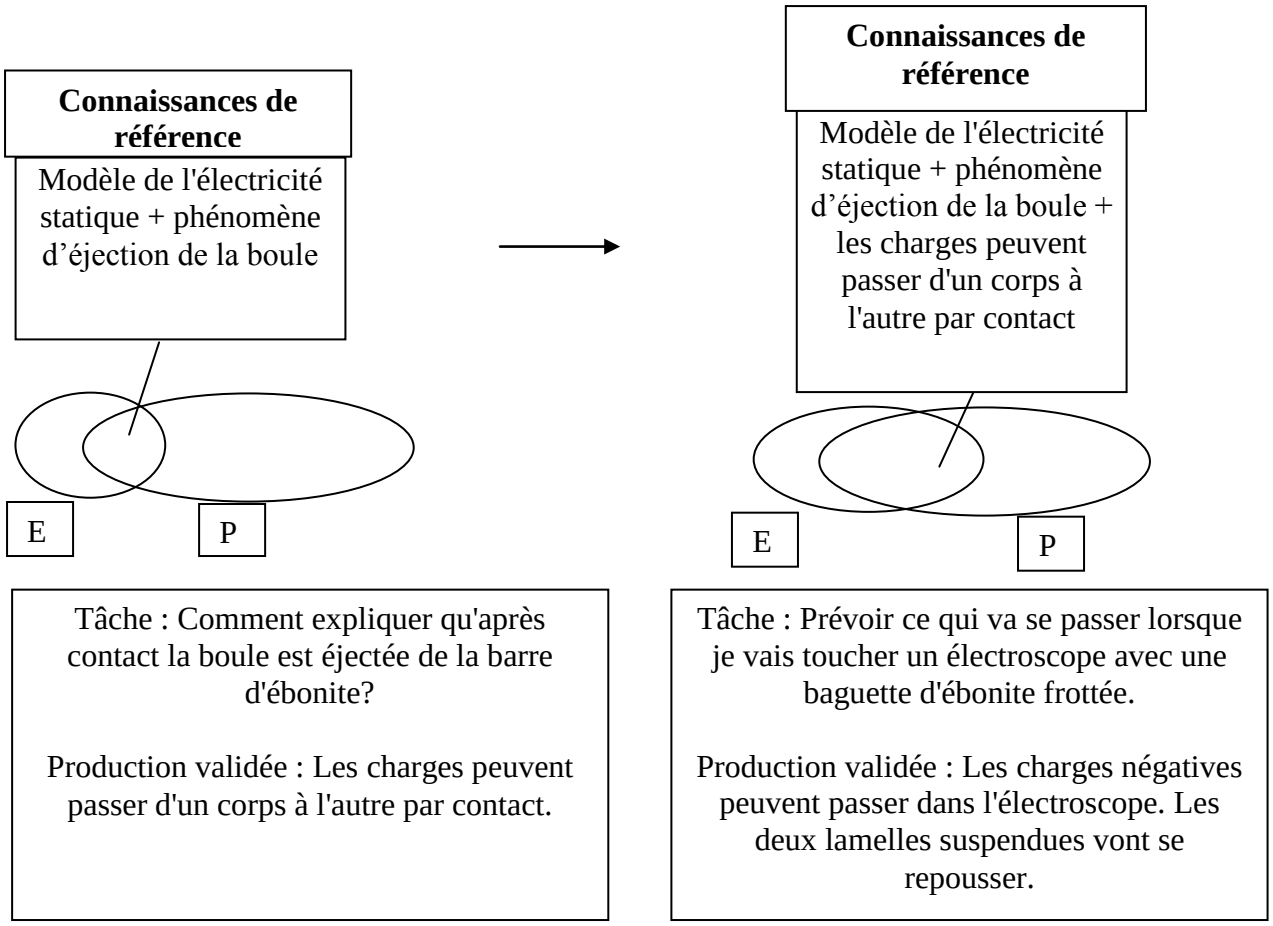
I.5.3.1. L'évolution des connaissances de référence

Pour illustrer cette évolution des connaissances de référence, nous allons prendre deux cas qui diffèrent par la nature des savoirs mis en jeu. Dans le premier cas, nous envisageons une situation au cours de laquelle les connaissances de référence sont constituées de connaissances institutionnalisées correspondant au savoir scientifique de référence. Dans le deuxième cas, nous envisageons une situation au cours de laquelle les connaissances de référence sont constituées par une conception erronée d'élèves.

Dans certaines situations d'enseignement, une base de connaissances correspondant au savoir scientifique de référence est déjà élaborée et connue des élèves. Les différentes tâches peuvent avoir pour but de compléter ces connaissances préalablement établies sans les remettre en cause.

Une séance tirée de notre corpus de thèse vient illustrer notre propos. Dans cette séance, au cours d'une première tâche, les élèves doivent expliquer pourquoi la boule neutre est éjectée après contact avec une baguette d'ébonite frottée. Les connaissances de référence pour cette tâche sont les suivantes (certaines de ces connaissances ont été produites et validées par les élèves et l'enseignant au cours de tâches précédentes) : il existe une électricité négative et une électricité positive ; deux corps qui portent des charges de même signe se repoussent ; deux corps qui portent des charges de signe contraire s'attirent ; un corps, s'il n'a pas été chargé, est électriquement neutre ; il est possible de charger des corps par frottement ; il est décidé arbitrairement que l'ébonite frottée est chargée négativement et que le plexiglas frotté est chargé positivement ; une charge positive est symbolisée par un + et une charge négative est symbolisée par un -. Une boule neutre est éjectée après contact avec une baguette d'ébonite frottée.

Parmi l'ensemble des productions fournies par les élèves, l'explication selon laquelle les charges peuvent passer d'un corps à l'autre par contact est retenue et validée par l'enseignante. Cette connaissance validée publiquement devient alors disponible pour les élèves et l'enseignant au cours de la tâche suivante et va permettre d'accepter ou de refuser d'autres productions.

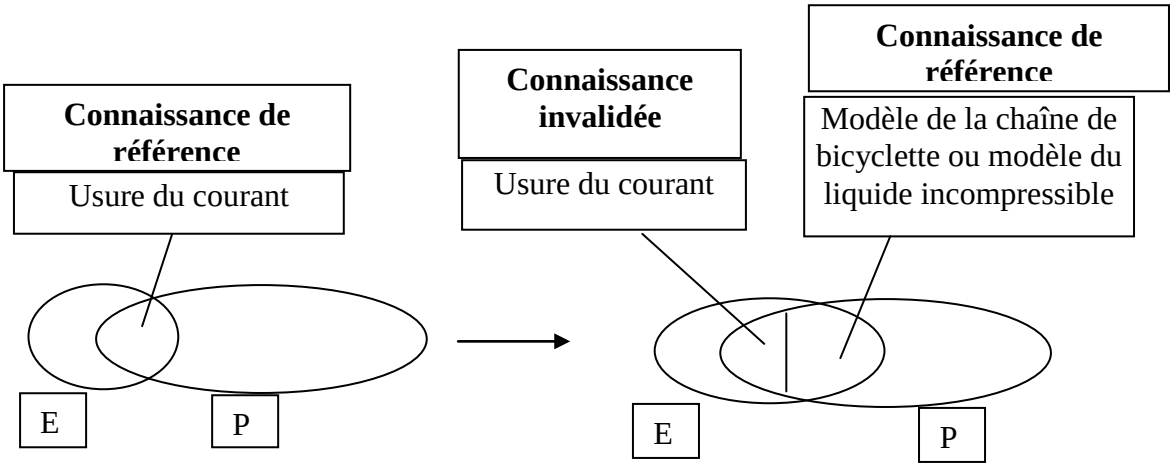


Dans d'autres situations d'enseignement, les connaissances de référence sont constituées de conceptions erronées d'élèves. Nous prenons ici l'exemple de la séance d'électrocinétique en collège, inspirée d'un article de Johsua & Dupin (1986), et proposée dans les accompagnements de programme (MEN, 1997, p.73-75).

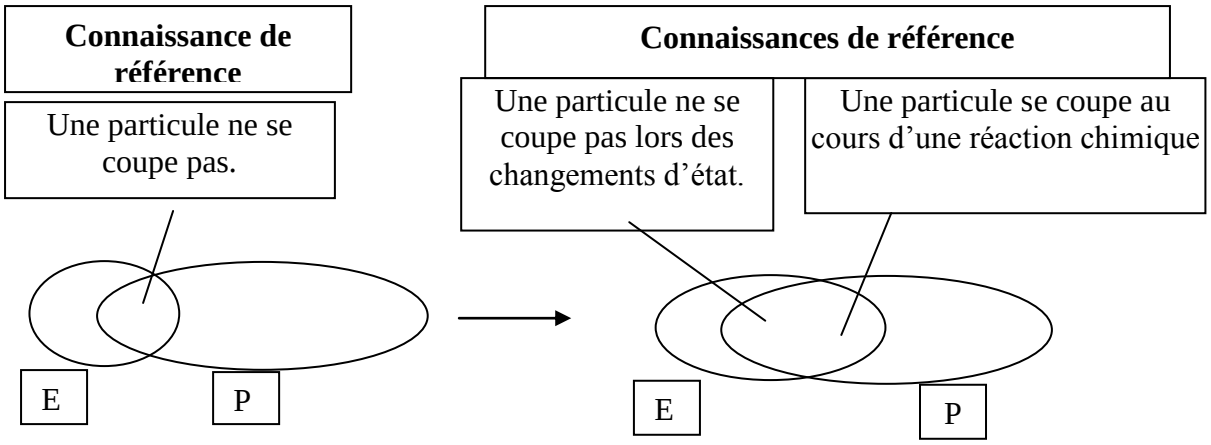
Dans le premier temps de cette séance, l'enseignant est invité à faire émerger les conceptions des élèves en leur demandant d'expliquer quelques phénomènes électriques. Il demande ensuite aux élèves d'imaginer des expériences pour tester la théorie de l'usure du courant ou celle des courants antagonistes. L'enseignant demande également de prévoir le résultat de l'expérience au regard de la théorie mobilisée par l'élève avec lequel il interagit. Tout au long de cette première partie, et pendant chacune de ces activités, la seule connaissance de référence possible est constituée de la conception mobilisée par l'élève avec lequel l'enseignant interagit (fig. 4 premier temps). Cette conception est provisoirement utilisée par l'enseignant, sachant qu'elle va être réfutée. Ce qui change ici par rapport aux exemples précédents, c'est le statut des connaissances qui forment les connaissances de référence. En revanche, leur fonction reste identique dans l'interaction maître-élèves puisque la conception de l'élève constitue la base argumentative commune utilisée pour accepter ou refuser la production. Par conséquent, si un élève prévoit que la valeur mesurée par un ampèremètre placé après une ampoule est inférieure à la valeur mesurée par un ampèremètre placé avant, cette prévision est acceptable à cet instant de la séance car elle est valide au regard des connaissances de référence constituées par la conception de l'usure du courant.

Si les prévisions sont contradictoires avec les résultats expérimentaux, la conception pourra être mise en cause à condition que cette contradiction ne résulte ni d'une erreur de raisonnement lors du passage de la conception à la prévision ni d'une erreur de manipulation. Une fois que les conceptions sont publiquement invalidées, elles perdent leur statut de connaissances de référence. La base argumentative commune aux élèves et à l'enseignant doit être reconstruite. Dans le cas de la séance d'électrocinétique, ces nouvelles connaissances de référence sont constituées du modèle analogique du train (M.E.N., 1997, p.73). Ce modèle est introduit par l'enseignant. Il véhicule l'idée d'un déplacement simultané de l'ensemble des électrons du circuit à la même vitesse. Ce nouveau modèle prend la place de la conception des élèves dans l'interaction. Cela ne signifie pas que la nouvelle représentation est maîtrisée par les élèves, mais que, dorénavant, elle va servir de base argumentative lors des phases de conclusion (fig. 4 second temps).

Figure 4 : Modification des connaissances de référence dans l'interaction maître-élèves



Dans le cas qui vient d'être présenté, la conception nouvellement introduite remplace la précédente dans les connaissances de référence (pas nécessairement dans l'esprit des élèves) car elle est capable d'expliquer un champ questionnemental (Lemeignan et Weil-Barais, 1994) qui recouvre le précédent. Les phénomènes qui étaient expliqués à l'aide de la théorie de l'usure du courant peuvent l'être à l'aide du ou des nouveaux modèles analogiques proposés. Or il se peut que dans certains cas, les connaissances d'ordre théorique nouvellement introduites n'expliquent pas l'ensemble des phénomènes que pouvaient expliquer l'ancienne théorie mais expliquent de nouveaux phénomènes. Dans ce cas l'ancienne théorie garde une certaine légitimité et c'est son domaine d'application qui est précisé. Prenons pour illustrer ce cas, l'exemple de l'introduction du modèle particulaire (Larcher et al. (1990). Dans cette séquence, le germe de modèle initialement introduit indique qu'« une particule ne se coupe pas». Or, tous les élèves vont ensuite apprendre avec l'enseignant que les particules peuvent se couper dans certaines situations (réactions chimiques). Le fait que les particules se coupent ne s'applique pas aux phénomènes de changement d'état, de dilatation ou de compression. Dans ce cas, la connaissance n'est pas remise en cause, mais son domaine d'application est délimité plus précisément.



Les connaissances de référence peuvent évoluer suite à la réalisation de tâches par les élèves. Mais, ce n'est pas le seul mode d'évolution des connaissances de référence. En effet, l'enseignant peut apporter en début de tâche des éléments de connaissances. Par exemple, dans le premier cas de la séance sur l'électricité statique, l'enseignant montre à l'élève le phénomène de l'éjection de la boule au contact de l'ébonite chargé. Ce phénomène présenté en début de séance par l'enseignant devient une connaissance de référence. Dans l'exemple de la séquence d'électrocinétique, c'est l'enseignant qui introduit le modèle analogique du train. Les élèves auront à charge d'utiliser ces modèles, d'en trouver les limites et de construire des analogies avec les concepts de courant, de tension, d'intensité etc. Dans la séquence sur le modèle particulaire c'est l'enseignant qui introduit les différents phénomènes et qui introduit le germe de modèle. L'apport des connaissances de référence n'est pas du seul fait des élèves mais également de l'enseignant.

Nous avons envisagé jusque-là le cas de phases de conclusion qui se déroulent dans une interaction publique devant toute la classe, portant sur des productions achevées. Mais les enseignants interviennent également auprès des élèves aux moments où leur production est en cours d'élaboration. Les enseignants peuvent également intervenir dans le cadre d'une interaction privée avec un élève ou un groupe d'élèves.

I.5.3.2. La possibilité de redéfinir les connaissances de référence dans une interaction privée

Nous avons préalablement défini les connaissances de référence de la façon suivante : les connaissances de référence sont l'ensemble des connaissances d'ordre empirique ou théorique, disponibles pour l'enseignant et les élèves impliqués dans l'interaction, et n'ayant pas été publiquement invalidées.

Dans le cas d'une interaction publique, les connaissances de référence sont définies par les connaissances communes à l'enseignant et aux élèves de la classe. Elles décrivent l'état d'avancement des connaissances de la classe relativement au contenu abordé. Dans le cas d'une interaction privée, les connaissances de référence sont, par défaut, identiques aux connaissances de référence en situation publique. Mais, imaginons une situation au cours de laquelle un élève ou un groupe d'élèves, dans le cadre de réalisation d'une tâche, mobilise une conception erronée qui a préalablement été invalidée. L'enseignant peut alors demander à

l'élève de ne pas utiliser cette conception qui, puisqu'elle été remise en cause, ne fait plus partie des connaissances de référence. Mais, on peut envisager que l'enseignant décide, dans le cadre de cette interaction privée de laisser l'élève utiliser cette conception erronée, afin d'en montrer les limites. L'enseignant peut décider avec cet élève ou ce groupe d'élèves de mobiliser des connaissances de référence différentes de celles qu'il mobiliserait devant l'ensemble de classe. Il reporte à plus tard, l'explicitation de l'utilisation d'une conception déjà invalidée et une nouvelle explicitation des limites de cette conception. Bien que cette situation n'ait pas été rencontrée, elle n'est pas à exclure. La définition générale des connaissances de référence que nous avons proposée permet de rendre compte des interactions publiques et des interactions privées, ces dernières pouvant mettre en œuvre des connaissances de référence privées différentes des connaissances de référence publiques partagées par la classe.

I.5.3.3. L'établissement des connaissances de référence dans la préparation d'une séance

Le concept de connaissances de référence est donc un concept utile à la gestion par les enseignants des séquences d'enseignement et à l'analyse de la gestion de ces séances par les enseignants. Mais le concept de connaissance de référence peut également être utilisé pour construire des séances d'enseignement. En effet, lorsque l'enseignant prévoit une tâche ou une succession de tâches pour ses élèves, il doit nécessairement penser aux connaissances qui lui seront nécessaires pour valider ou invalider les productions des élèves. Comme le montre Lafarge (en cours) dans le domaine de l'enseignement de la chimie organique, l'absence ou le manque de connaissances de référence disponibles pour l'enseignant est un frein à la mise en place de séquences d'investigation. La création de séquences d'investigation nécessite donc de penser aux connaissances de référence qui seront disponibles pour gérer les productions issues de la tâche proposée aux élèves. Cette anticipation de la gestion des productions des élèves contraint la nature des tâches proposables aux élèves, l'ordre de ces tâches et les connaissances qui doivent être directement apportées par l'enseignant.

I.5.3.4. L'utilisation des connaissances de référence dans une interaction professeur-élève(s) portant sur une réponse en cours de construction

Pour l'instant nous n'avons envisagé que le cas d'une phase de conclusion portant sur une production achevée. L'extrait ci-dessous a été choisi pour illustrer le fait que l'enseignant peut également utiliser les connaissances de référence pour invalider une production en cours de construction[9]. Cet extrait est issu d'une transcription de séance sur le modèle particulaire (Larcher et al. 1990). Lors de la deuxième activité de cette séance, les élèves produisent des schémas représentant les particules dans la seringue avant et après compression. Dans cet extrait, un élève représente des particules accolées avant compression. L'enseignant va invalider cette réponse en montrant l'impossibilité de passer en situation de compression sans contredire la propriété de conservation des dimensions des particules ("Ici, quand tu vas

[9] *Le logiciel de simulation ne propose que des situations dans lesquelles les productions des élèves sont achevées. Dans la perspective d'évolution de logiciels de simulation, serait-il pertinent de proposer aux enseignants de gérer des productions en cours de construction ?*

pousser. N'oublie pas que les particules gardent les mêmes dimensions. Comment vas-tu faire pour toutes les faire passer ?"). L'enseignant s'appuie ici sur l'une des quatre propriétés du modèle qui est disponible pour l'élève (les particules sont indéformables). Il s'agit d'une phase de négociation puisque les arguments mobilisés sont disponibles à la fois chez l'élève et l'enseignant.

Extrait

P3	Mais j'ai une question à te poser. Ici t'es en position normale (avant compression).
E	Ouais.
P3	Toutes tes boules se touchent.
E	Ouais. Non mais il y a un peu d'espace.
P3	**Ici, quand tu vas pousser. N'oublie pas que les particules gardent les mêmes dimensions. Comment vas-tu faire pour toutes les faire passer ?**
E	**Lui aussi comment il va faire ?**
E	**Faut pas que ça se touche.**

Si l'analyse de cet extrait montre la pertinence du concept de phase de négociation pour analyser des interactions maitre-élèves relatives à une production en cours de construction, la partie suivante montre que l'acceptation ou le refus de la production n'est pas le seul enjeu de l'interaction relative à la gestion des productions d'élèves en cours de construction.

I.5.4. La phase de négociation : un des éléments de la gestion des productions d'élèves

Le concept de phase de négociation centre l'analyse de l'interaction sur les modalités de contrôle des productions. Mais la gestion des productions d'élèves ne se limite pas au contrôle de leur validité. La phase de négociation n'est qu'un élément de la gestion des productions d'élèves. Les deux extraits présentés ci-dessous illustrent ce point.

Dans le cas d'une interaction portant sur une production en cours de construction, l'extrait suivant montre les limites d'une gestion des productions qui porterait uniquement sur un contrôle de leur validité. La séance porte sur l'électricité statique. Dans cet extrait, les élèves cherchent à expliquer pourquoi la boule neutre est attirée par la baguette d'ébonite chargée (répartition asymétrique des charges dans la boule lorsque l'on approche l'ébonite chargée moins). Les élèves sont en cours d'élaboration d'une production. L'enseignante passe dans les rangs et intervient dans une interaction privée avec des groupes d'élèves. L'enseignante renvoie dans cet extrait systématiquement aux connaissances de référence pour invalider les débuts de modélisation de la situation entamée par deux filles. Elle rappelle que l'ébonite est électrisée par frottement et ne peut pas être neutre (U127 et U131). Elle rappelle que ce ne sont pas deux corps électrisés qui s'attirent (U136), sous-entendu, les charges négatives et positives s'attirent. Le renvoi aux connaissances de référence constitue un outil de contrôle utile des productions puisqu'il permet à l'enseignant de guider l'élève dans la résolution du problème en délimitant ce qui est contradictoire ou cohérent avec les connaissances de référence. Mais à ce stade de l'interaction, et en utilisant la base argumentative définie par les connaissances de référence, l'enseignante aurait pu reformuler le problème de la façon suivante : Comment se fait-il qu'une boule neutre se comporte comme si elle était chargée négativement ? Ce type de reformulation aurait constituée une aide précieuse aux deux élèves.

Cette reformulation indique aux élèves le problème qu'elles rencontrent et qu'elles doivent résoudre. Il s'agit d'une fonction de l'interaction qui complète la phase de conclusion. Cette fonction de l'interaction, relative à la gestion des productions d'élèves en cours de construction, relève de la « signalisation des caractéristiques prédominantes » de la situation qui est une des fonctions d'étayages repérées par Bruner (1983)[10].

U122E : Madame, on a trouvé. On vous le dit ?
U123P : Alors.
U124E : Heu, quand elle a, heu, quand la boule elle est, heu, attirée c'est qu'il y a autant de charges négatives d'un côté et autant de charges positives de l'autre.
U125P : Où ça ?
U126E : Ben sur la boule et sur la barre.
U127P : Attention, on l'a électrisée l'ébonite. On l'a frottée donc elle est pas neutre.
U128E : Et ben ouais, mais là, il y a autant de charges positives que de charges négatives.
U129P : Où ça ?
U130E : Ben, sur la barre.
U131P : Sur la balle, sur la barre. Non, attention elle est électrisée. Donc, alors, elle est pas neutre.
U132E : Bon alors sur la boule.
U133P: Bon, qu'est-ce tu fais là, Guillaume ?
U134P : Et pourquoi elle est attirée dans un premier temps ?
U135E : Parce que la barre d'ébonite elle est électrisée. Et deux corps qui sont électrisés, ils s'attirent.
U136P : Attention, c'est pas deux corps électrisés qui s'attirent. Et la boule, elle est électrisée ou pas ?
U137E : Non.
U138P : Vous êtes bien parties les filles, il faut creuser un petit peu plus.

L'extrait suivant illustre à nouveau le fait que la gestion d'une production d'élève ne se limite pas à la phase de négociation. Cet extrait est tiré d'un enregistrement de la séance sur le modèle particulaire, la tâche consiste à représenter le gaz dans les deux seringues par des particules. La situation avant compression est appelée situation 1, alors que la situation 2 correspond à la situation après compression. Un élève colorie uniformément l'intérieur des seringues, et fonce la couleur du gaz en situation 2. Un élève va refuser cette production car il n'y a pas de particules. Cette production ne répond pas à la question posée, elle peut être invalidée. « Il n'y a pas de… (particules) ». La phase de conclusion est terminée, mais la gestion de la production ne l'est pas encore. L'enseignant continue à questionner les élèves pour leur faire expliciter la nature de la production. Il s'agit de trouver la question à laquelle répond la production de l'élève. « Ce que vous voyez. Anthony d'accord, le premier schéma c'est ce que vous voyez dans la première expérience, mais c'est pas ce que vous imaginez quand on dit de dessiner des… (particules).» Après avoir invalidé la production de l'élève, l'enseignant donne donc ici des informations sur le raisonnement de l'élève (il a dessiné ce

[10] *Cet extrait nous montre qu'en situation d'interaction privée avec des élèves en phase de construction d'une réponse, le contrôle de validité d'une production donne aux élèves des indications sur la validité des connaissances qu'il a mobilisées dans son raisonnement, mais il ne donne aucune indication sur ce qu'il lui reste à faire pour répondre à la question posée. La formulation du problème rencontré est une des aides que l'enseignant peut apporter à l'élève dans sa phase de construction de réponse, puisque l'enseignant, désigne ce problème comme étant celui qu'il faut résoudre. Cette dimension d'aide à la construction n'est pas pise en compte dans notre logiciel prototypique. Faut-il l'introduire ?*

qu'il a vu) et non plus uniquement sur ce qu'il n'a pas fait (la tâche demande de représenter de particules, or il n'a pas représenté de particules). Sur un plan épistémologique, l'enseignant montre ici la différence entre le modèle (ce qu'on imagine) et le phénomène (ce que l'on voit).

Professeur. : - C'est pas drôle. Et après j'ai vu ça OK. Tout le monde voit ? Commentaire là-dessus.
Elève : - Non c'est nul.
P. : - On dit pas que c'est nul donne une raison, pourquoi, c'est pas ce que tu penses.
E. : - Y'a pas de particules
P. : - Ah, il n'y a pas de
E. : - Particules
P. : - Qu'est-ce que c'est que ça en fait ?
E. : - Du coloriage
P. : - En fait ce que c'est ça c'est
E. : - Du gaz
P. : - Ce que vous
E. : - On voit.
P. : - Ce que vous voyez. Anthony d'accord, le premier schéma c'est ce que vous voyez dans la première expérience, mais c'est pas ce que vous imaginez quand on dit de dessiner des.
E. : - Particules
P. : - Particules. Bon d'accord c'est pas celui-là.

Imaginons qu'au cours de la gestion de la production, l'enseignant ait uniquement contrôlé la production de l'élève. Il aurait dit à l'élève qu'il n'a pas fait de particules alors que la tâche consiste à représenter des particules. En rajoutant que l'élève a dessiné ce qu'il a vu, il lui indique la nature du raisonnement qui l'a amené à faire cette production. Il désigne donc à l'élève l'origine de l'erreur

En conclusion, la gestion d'une production ne se limite pas au simple contrôle de sa validité. Selon nous, le contrôle de validité des productions est nécessaire pour gérer une production mais il n'est pas le seul moyen disponible pour aider les élèves dans leurs apprentissages. Si la phase de négociation porte sur une production en cours de construction, l'enseignant peut compléter le contrôle de validité de la production par une aide portant sur ce qu'il reste à faire et sur les problèmes qu'il reste à traiter. La phase de négociation peut également être complétée par une explicitation du raisonnement tenu par l'élève. L'enjeu est ici d'aider l'élève à comprendre la différence entre le raisonnement qu'il tient et celui qu'il aurait dû tenir. L'interaction ne porte plus sur la production elle-même mais sur son origine. [11]

[11] *Dans la perspective de développer l'utilisation des outils de simulation de gestion de séances, cette analyse montre les limites d'un logiciel qui ne solliciterait les enseignants que sur la gestion des phases de conclusion. Enfin notons que notre premier logiciel ne propose que des phases de conclusion portant sur des productions achevée. La question de l'introduction d'une telle distinction devra être posée.*

I.5.5. Les liens entre la phase de conclusion et les autres éléments de la séance

La phase de conclusion n'est pas un moment d'interaction isolé, mais elle est reliée à d'autres moments de la séance, à des événements qui se sont passés en amont et en aval de la phase de conclusion. Une modification des événements précédents peut interférer sur la phase de conclusion, et la phase de conclusion peut avoir des répercussions sur des événements ultérieurs. Il s'agit donc ici d'expliciter les liens entre les phases de conclusion et les autres éléments de la séance.

Rappelons tout d'abord que la phase de conclusion peut prendre la forme d'une phase d'évaluation ou de négociation. Comme nous avons expliqué les raisons pour lesquelles la phase d'évaluation ne paraissait pas favorable à l'apprentissage des élèves, nous centrons notre description sur les phases de négociation.

- Le déroulement de la phase de négociation dépend de plusieurs facteurs. Il dépend du contenu de la production de l'élève (D1, D2 fig. 3), des connaissances de référence disponibles au moment de la phase de négociation (G2, fig. 3) et de la tâche proposée aux élèves (C fig. 3). La nature et l'ordre des tâches proposées aux élèves dépendent quant à eux du but de l'investigation. Une modification de l'un de ces quatre éléments (But de l'investigation, tâche, connaissances de référence, production d'élève) engendre une modification de la phase de négociation.
- La phase de négociation s'exerce sur deux types de productions. Elle peut apparaître lorsque les productions sont en cours d'élaboration (D3). La phase de négociation sera généralement privée. Elle peut être complétée par l'explicitation du problème que rencontrent les élèves et par l'explicitation de ce qu'il leur reste à faire pour répondre à la tâche qu'ils sont en train de résoudre (partie 1.5.4). La phase de négociation peut également apparaître lorsque les productions d'élèves sont achevées (F). Dans ce cas, les phases de conclusion seront généralement publiques à moins que l'enseignant ne décide de contrôler individuellement chaque production achevée, ce qui paraît difficilement réalisable dans une classe composée de plusieurs dizaines d'élèves. Ce contrôle public fait suite à un choix de certaines productions de la part de l'enseignant (E). Que le contrôle des productions s'effectue pendant ou après leur élaboration par les élèves, ce contrôle peut être complété par une explicitation de l'origine de la production, afin par exemple d'aider l'élève à comprendre le caractère erroné de certaines connaissances qu'il a pu mettre en œuvre dans son raisonnement.
- La phase de négociation a un effet sur la suite du déroulement de la séance. La validité des productions sélectionnées ayant été contrôlée, une phase de structuration (G1, G1' fig. 3) permet de faire le point sur les principales connaissances validées de façon temporaire ou définitive. Si les connaissances validées correspondent aux savoirs scientifiques de référence, l'enseignant peut institutionnaliser[12] ces connaissances. Si les connaissances validées ne le sont que provisoirement ou si leur portée est faible, cette structuration prend plutôt la forme d'une synthèse. La phase de structuration dépend donc de la phase de négociation.

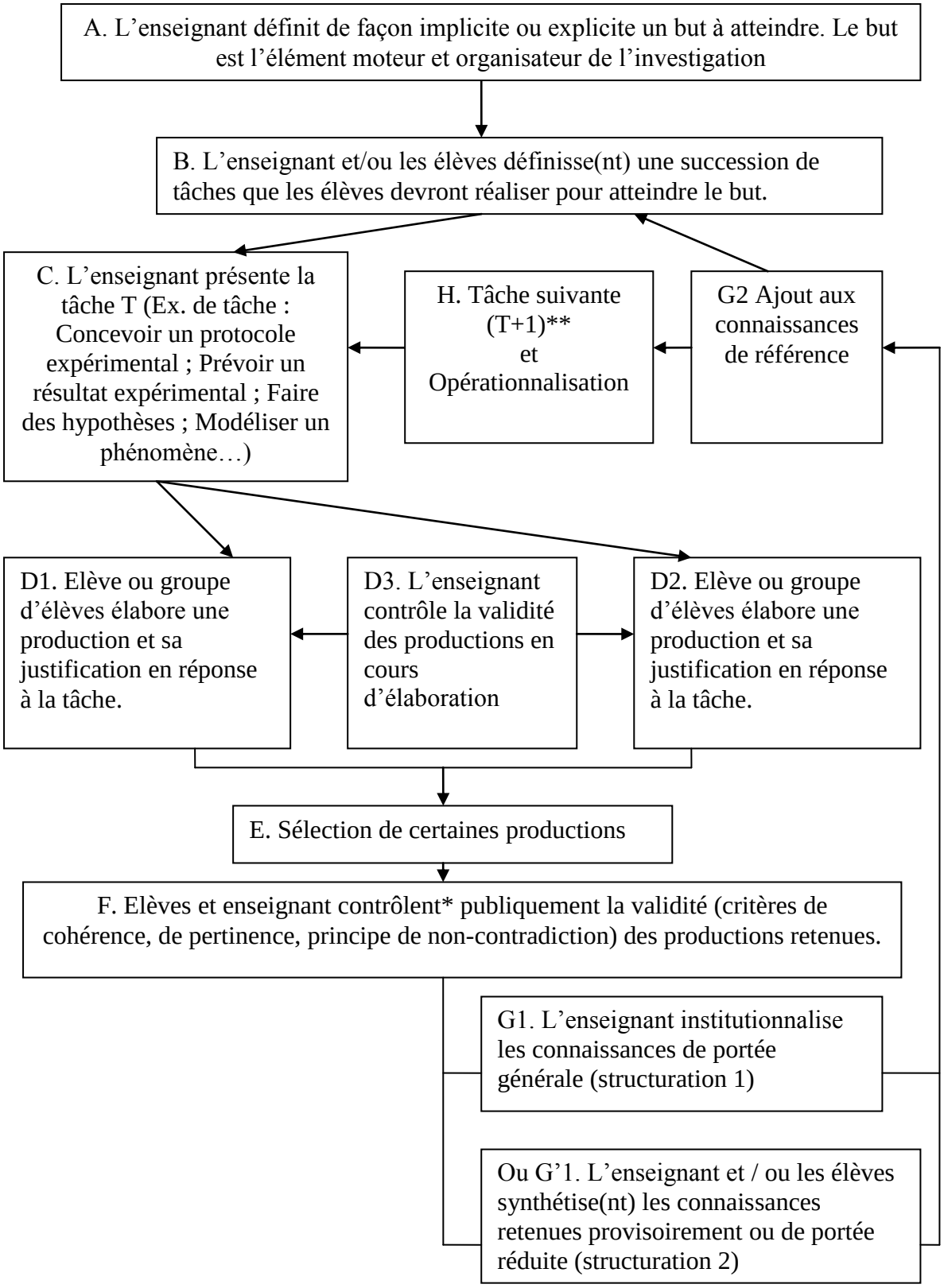
[12] « Le sujet banalise la question dont il connaît les réponses dans la mesure où il n'a pas les moyens de savoir si d'autres se la sont posée avant lui, ou si personne n'a su y répondre, ou encore si d'autres questions lui ressemblent ou lui sont liées par le fait qu'elles pourront recevoir une réponse grâce à celle-ci…, etc. Il faut donc que quelqu'un d'extérieur vienne pointer ces activités et identifie celles qui ont un intérêt, un statut culturel. Cette *institutionnalisation* est en faite une transformation complète de la situation… Ce travail culturel et historique diffère totalement de ce qui semblait devoir être laissé à la charge des élèves et il revient à l'enseignant. Il n'est donc pas le résultat d'une adaptation de l'élève ». BROUSSEAU, G. *Théorie des situations didactiques.* Grenoble : la pensée sauvage, 1998. p. 76-77.

- Les connaissances de référence sont évolutives (G2, fig. 3). Elles sont redéfinies pour chaque tâche puisque les connaissances construites par les élèves et retenues par l'enseignant sont ensuite intégrées dans les connaissances de référence. En ce sens, les connaissances de référence dépendent la phase de négociation. Dans certains cas, les connaissances produites et retenues au cours d'une tâche T, permettent de préciser le but à atteindre et les tâches à effectuer.

Le schéma ci-dessous synthétise les liens qui existent entre la phase de négociation et les différents éléments du déroulement d'une séance[13] d'investigation. Il s'appuie sur la modélisation présentée dans (Morge, 2007b: 40).

[13] *Le logiciel de simulation que nous avons développé n'inclue pas le choix par l'enseignant de certaines productions. Il n'inclue pas non plus systématiquement une phase de structuration pour chaque tâche. La liste des connaissances de référence n'est pas explicitée et son évolution n'est pas non plus explicitement prise en charge. La question de leur introduction dans de futurs logiciels devra être posée.*

Fig. 3 : Modélisation des éléments descriptifs d'une séquence d'investigation en lien avec les phases de négociation



* Action potentiellement problématique. Il y a un problème si l'apparition d'une contradiction ne peut être levée sans remettre en cause les connaissances tenues pour acquises par les élèves, c'est-à-dire sans remettre en cause leurs conceptions.
** La réalisation d'une tâche correspond à une boucle complète de C à H.

I.5.6. Les différents types d'arguments mobilisables en phase de négociation

La définition des phases de négociation que nous avons proposée (partie 1.4.2), permet de délimiter l'espace argumentatif à l'intérieur duquel les enseignants et les élèves peuvent accepter ou refuser des productions. Cette définition donne les conditions devant être remplies pour qu'une phase de conclusion puisse s'inscrire dans une gestion compatible avec le point de vue socio-constructiviste, mais elle ne décrit pas les différentes modalités de contrôles qui peuvent exister dans cet espace argumentatif. Dans un article (Morge, 2001b), nous avons repéré différentes modalités de contrôle des productions qui relèvent de la négociation. Nous en présentons ici quelques exemplestirés d'une séquence sur le thème de l'électrostatique.

Le contexte dans lequel s'est déroulée la séance est le suivant : au début de la séance les élèves disposent d'un germe de modèle : Dans ce modèle, il existe une électricité négative et une électricité positive. Il est arbitrairement décidé que l'ébonite est chargée - alors que le plexiglas est chargé +. Deux corps qui portent des charges de même signe se repoussent. Deux corps qui portent des charges de signe contraire s'attirent. Un corps, s'il n'a pas été chargé, est électriquement neutre. Il est possible de charger des corps par frottement. Une charge positive est symbolisée par un + et une charge négative est symbolisée par un -.
Après avoir présenté l'expérience, les élèves doivent expliquer à l'aide du modèle, pourquoi la boule est attirée par la baguette d'ébonite et expliquer pourquoi, certaines fois elle reste collée, alors que d'autres fois elle est éjectée.

Notons ici que le phénomène est complexe et qu'une décomposition de ce phénomène en plusieurs sous-parties (attraction de la boule neutre par la baguette – éjection de la boule – la boule reste collée) aurait permis de construire des sous-tâches visant chacune à expliquer une partie du phénomène[14]. Au cours de la séance, l'enseignante effectuera cette décomposition en sous-tâches. Sept modalités de contrôles des productions[15] mobilisées par l'enseignante ont été repérées. Un exemple illustre chaque modalité de contrôle. Cet exemple ne reprend pas la transcription de l'interaction dans son ensemble mais en présente une synthèse composées de deux éléments : 1) la production de l'élève, et 2) l'argument avancé pour valider ou invalider cette production.

- Modalité de contrôle 1 : le renvoi au modèle préalablement construit
Production : un élève suppose que la boule est chargée positivement ce qui explique qu'elle

[14] *Au cours de nos premières recherches, nous avons fait construire les séances par les enseignants. Or, à plusieurs reprises, nous avons constaté la difficulté à construire des séances adaptées aux élèves, et leur donnant une place dans la construction du savoir. La construction de ces séances nécessite une très grande compétence. La construction d'un logiciel de simulation de gestion de séance s'appuie nécessairement sur une préparation de séance. Le choix a donc été fait, depuis ces premiers essais, de s'appuyer sur des scénarios issus de la recherche en didactique, ceci afin d'éviter l'obstacle de la construction de séquence. Ce choix devra être questionné avant le développement de nouvelles recherches sur la simulation de gestions de séances. Concernant la construction d'un curriculum de formation des maîtres, il semble nécessaire de situer l'utilisation du logiciel de simulation de gestion de séance par rapport à des formations portant sur la construction de séquences laissant une large place à la construction du savoir par l'élève.*

[15] *Dans la perspective de développement des recherches sur la simulation, ce travail d'explicitation des modalités de contrôle des productions peut constituer un critère de choix des différentes productions qui seront introduites dans les logiciels. En effet, la diversification des modalités de contrôle qu'offrent les différentes productions d'élèves peut être un critère de sélection des productions à insérer dans le logiciel.*

soit attirée par l'ébonite chargée négativement.
Argument de non validité : la boule est neutre car elle n'a pas été frottée ;

- Modalité de contrôle 2 : la réalisation d'une contre - expérience
Production : l'élève pense que la boule s'est chargée négativement lors du contact avec l'ébonite pendant la première expérience, ce qui explique que la boule négative est repoussée par la baguette lors de la deuxième expérience
Argument de non validité : L'expérience montre que la boule peut être éjectée sans avoir eu de contact préalable avec la baguette d'ébonite ;

- Modalité de contrôle 3 : le raisonnement par l'absurde
Production : identique à celle qui est précédemment citée
Argument de non validité : Si, au départ de l'expérience, la boule était négative, elle n'aurait pas pu être attirée par la baguette d'ébonite négative. Donc, la boule n'est pas négative au début de l'expérience ;

- Modalité de contrôle 4 : le repérage d'une inadéquation entre la réponse de l'élève et la question posée
Production : si la baguette est frottée rapidement, la boule est fortement attirée et reste collée, alors que si la baguette est moins frottée, la boule est un peu attirée puis relâchée
Argument de non pertinence : cette réponse ne correspond pas à la tâche proposée qui consiste à expliquer le phénomène à l'aide du modèle ;

- Modalité de contrôle 5 : la réalisation d'une expérience
Production : identique à celle précédemment citée
Argument de non validité : l'expérience montre que la variation concomitante suggérée par l'élève est l'inverse de celle qu'il est donné de voir ;

- Modalité de contrôle 6 : l'identification d'une étape de l'interprétation inexpliquée avec le modèle
Production : un élève explique que les quelques charges positives de la baguette passent à distance sur la boule qui va se charger positivement. Cette dernière est ensuite attirée par la baguette chargée négativement
Argument de non validité : comment expliquer que les charges positives sont attirées par la boule neutre ? ;

- Modalité de contrôle 7 : l'identification du caractère aléatoire d'un choix effectué lors de l'interprétation
Production : identique à celle présentée dans l'exemple précédent
Argument de non validité : expliquer pourquoi ce sont les charges positives et non pas les charges négatives qui se déplacent vers la boule neutre. Aucun élément théorique ne permet d'expliquer pourquoi les charges positives (et non pas les négatives) se déplaceraient vers la boule neutre.

Après avoir explicité nos principaux résultats concernant l'analyse des interactions maître-élèves en classe des sciences (définition, distinction entre négociation et évaluation, liens avec d'autres moments de l'interaction, diversité des modalités de contrôle), nous allons maintenant tenter de caractériser l'approche que nous avons des interactions. En effet, les interactions en classe peuvent être étudiées par un très grand nombre de disciplines relevant des sciences humaines et sociales (linguistique, didactiques, sciences de l'éducation,

anthropologie, sociologie, psychologie…). Nous allons tenter de montrer les principales caractéristiques de notre approche des interactions.

I.6. Une approche didactique et modélisante des interactions non-ordinaires et naturelles en classe de sciences

Notre approche des interactions langagières peut être qualifiée de didactique car elle est centrée sur l'analyse des savoirs scientifiques mis en jeu dans l'interaction. Cette centration sur les savoirs et leur évolution se retrouve chez d'autres auteurs (Franceschelli et Weil-Barais (1998), Larcher et Chomat (1998) ou Rodriguez et Thompson (2001), Orange (2003)). Cette centration sur les savoirs, permet d'analyser l'enseignement non pas du seul point de vue de l'élève ou de l'enseignant, mais comme étant une activité conjointe de l'enseignant et/ou des élèves (Sensevy et Mercier, 2007) mettant en jeu des contenus disciplinaires. Cette approche didactique centrée sur les savoirs se différencie par exemple d'une approche linguistique des interactions en classe de sciences qui se centre sur la place et le rôle des interlocuteurs (à travers l'analyse des tours de paroles et du type de discours (question, réponse, déclaration), les différents types de reformulations, les conduites discursives (argumenter, réfuter, décrire…) (e.g. Garcia-Debanc et Laurent, 2003), les ruptures du discours comme le déni (Auriac, 2007) et l'analyse lexicale (introduction du vocabulaire scientifique, différenciation de lexiques non explicités…). Ces deux approches (didactique et linguistique) sont néanmoins complémentaires. L'approche linguistique peut privilégier une analyse sur la forme de l'interaction alors que l'analyse didactique privilégie une approche sur le contenu. En effet, les outils d'analyse linguistique ont été construits pour analyser tout type de discussion. Ils permettent de classer les types d'intervention et de calculer leurs fréquences d'apparition, d'évaluer la part prise par chaque locuteur etc. … A l'inverse, une approche didactique des interactions centre son analyse sur la nature des interactions qui dépendent du contenu d'enseignement. Par exemple (Orange, 2003) repère à partir d'une transcription de séance l'ensemble des contraintes mises en jeu dans la phase de problématisation, contraintes qui vont ensuite créer des nécessités dans la construction du modèle de la digestion ; Larcher et Chomat, 1998, décrivent comment dans l'interaction l'enseignant cherche à faire partager la signification de codages symboliques ; ou comment il fait modéliser par l'élève une situation en se servant de la routine événement-objet-action (Franceschelli et Weil-Barais, 1998). Les deux approches offrent des renseignements différents et complémentaires sur l'interaction en classe de sciences. Ces deux approches peuvent s'interroger mutuellement. En effet, l'analyse lexicale conduite par les linguistes repère l'usage de termes différents que n'aurait pas repéré nécessairement le didacticien : dire « le tube digestif » ou « l'appareil digestif » n'est pas la même chose pour un linguiste. L'analyse lexicale met à jour des différences, qui alors peuvent en retour poser des questions aux didacticiens : Que traduit sur le plan conceptuel la différence entre ces deux expressions? L'expression est-elle utilisée à bon escient par l'enseignant, par les élèves ? Est-ce que ce « flou » sémantique est préjudiciable à l'avancée des savoirs? Y a t-il différence conceptuelle (cela intéresse le didacticien) ou différence de vocabulaire pour un même concept (le didacticien est moins concerné) ? Il semble qu'il y ait là des pistes de recherches sur laquelle les deux approches, didactiques et linguistiques, puissent s'enrichir mutuellement.

Notre approche de l'activité d'enseignement est une approche modélisante, car elle donne une représentation simplifiée de la réalité. En se centrant sur les phases de conclusion, ce n'est qu'un aspect de la pratique enseignante qui est étudié. La fonction première de notre modèle

est de décrire la façon dont les productions d'élèves sont acceptées ou refusées[16] au cours de l'interaction. La fonction de notre modèle est avant tout de « reproduire, décrire, réaliser une représentation fidèle du phénomène.» (Ney, 2006 : 151). Cette approche modélisante découpe donc le réel complexe en éléments et isole un de ces éléments pour le décrire. Cet isolement d'un élément est accompagné par l'établissement de liens qu'entretient cet élément avec d'autres éléments du réel complexe. Cette approche modélisante s'écarte du projet d'une description systémique de l'activité d'enseignement, pour contribuer au repérage d'éléments constitutifs de la globalité. En d'autre termes, il s'agit d'une approche analytique, qui diffère nettement d'approches plus systémique de l'activité d'enseignement. Par exemple, la théorie du cours d'action de Theureau (1992), offre un cadre théorique qui permet « de modéliser la complexité des pratiques enseignantes » (Ria, 2006 : 10). Même s'il est impossible de rendre compte entièrement de la complexité des pratiques enseignantes, ce cadre théorique ambitionne la prise en charge, même partielle, de cette complexité. La théorie anthropologique du didactique de Chevallard (1999) dont le domaine d'application est l'ensemble des activités humaines, permet de considérer tous les pans de l'activité d'enseignement. Nous éviterons de tomber dans le piège stérile d'une opposition entre ces deux approches. Pour tirer profit de cette opposition, nous nous arrêtons un instant sur quelques-unes des critiques formulées à l'égard des approches modélisantes :

- la fragmentation du savoir en autant de domaines qu'il y a de phénomènes à étudier;
- l'isolement des disciplines scientifiques les unes envers les autres d'une part, et face au monde réel d'autre part ;
- la surspécialisation;
- une difficulté grandissante pour les spécialistes de communiquer entre eux;
- une efficacité "douteuse" face à la résolution de problèmes qualifiés de complexes;
- une tendance à n'envisager qu'une seule chose à la fois et à en déduire des attributs appartenant à l'ensemble.

Nous reconnaissons la complexité de l'activité d'enseignement. Rappelons par exemple que Doyle (1986) attribue à l'enseignement les caractéristiques suivantes : la multidimensionnalité, la simultanéité, l'immédiateté, l'imprévisibilité, l'historicité et la visibilité. Ayant choisi une approche analytique pour étudier un système complexe, il est donc important d'expliciter les précautions prises pour éviter de tomber dans les pièges de ce type d'approche.

Notre travail a consisté à construire et à isoler les phases de conclusion des autres moments de l'interaction. Une fois isolées, les phases de conclusion ont été reliées aux autres éléments de la séance (la tâche, les productions d'élèves, la phase de structuration, l'institutionnalisation, les connaissances des références). Ainsi, nous évitons d'isoler totalement les phases de conclusion des autres éléments d'une séance. Cette méthode présente même l'avantage de mettre en relation des éléments du système et donc de donner des informations sur les éléments qui sont liés, ceux qui ne le sont pas, et la nature de ces liens.
Pour éviter le morcellement des disciplines scientifiques, nous avons étudié, dans cette note de synthèse (partie 1.6.2), les conditions de transfert des concepts tels que nous les avons définis dans le champ de l'enseignement des sciences physiques (phase de conclusion, d'évaluation, de négociation, de connaissances de références), pour analyser des transcriptions de séquences d'enseignement d'autres disciplines. Sur le plan théorique, nous allons engager

[16] Il existe également des cas de report de validation. Le report n'est pas une phase de conclusion, puisque dans le cas d'un report, l'élève n'a pas d'information sur sa production, l'enjeu de l'interaction n'est pas l'acceptation ou le refus de la production.

une réflexion sur l'articulation des concepts de milieu et de connaissances de référence. Enfin, une grande précaution méthodologique est prise dans nos travaux, pour cerner les domaines d'application des concepts introduits afin d'éviter les généralisations abusives. Ainsi, notre approche des interactions s'inscrit dans une approche scientifique classique qui considère que ce découpage répond à une « exigence d'efficacité qui semble être à la racine historique de la science moderne (Thuillier, 1992) » (Joshua et Dupin, 1993 : 38). Les deux approches ne s'opposent pas mais sont complémentaires. En effet, « l'approche complexe peut surgir comme une conséquence des limites d'une approche analytique traditionnelle. » (Johsua et Dupin, 1993 : 36).

Les interactions maître-élèves que nous étudions sont donc recueillies dans un contexte particulier, puisqu'il est demandé aux enseignants de gérer des séances d'enseignement laissant une large place à la construction sociale du savoir par l'élève. En ce sens, il ne s'agit pas d'une situation d'enseignement ordinaire, qui voudrait refléter les situations d'enseignement que l'on trouve généralement dans les classes de sciences. Au contraire, les moments de l'interaction que nous avons analysés n'apparaissent que dans des situations d'enseignement particulières (les séquences d'investigation) qui ne reflètent pas l'enseignement ordinaire tel qu'il se pratique habituellement dans les classes de sciences. En revanche, les conditions de recueil de données sont naturelles dans la mesure où l'enseignant fait cours à ses élèves dans le cadre du programme défini par les instructions officielles.

Des recherches sur l'enseignement en situations ordinaires de classe se développent en France depuis quelques années (e.g. Roditi, 2001, Revue Française de Pédagogie 2002, Calmettes et al. 2006, Zaragosa 2006). Ce courant de recherche s'est développé par opposition à une vision prescriptive des rapports que la recherche entretient avec l'enseignement, comme le soulignent les membres fondateurs du réseau OPEN : « Les ouvrages consacrés à l'enseignement sont nombreux mais très souvent prescriptifs, ils disent plus facilement ce que devrait être l'enseignement et comment enseigner telle ou telle discipline plutôt qu'ils ne s'attachent à analyser dans toute sa complexité ce qui se passe en réalité dans l'espace d'enseignement. »[17] La recherche définirait la bonne façon d'enseigner. Les enseignants devraient ensuite s'en emparer et appliquer les innovations dans leurs classes. Ce mouvement de recherche portant sur les pratiques ordinaires des enseignants ambitionne de mieux comprendre l'activité ordinaire des enseignants pour mieux comprendre les équilibres et les enjeux multiples qui sous-tendent ces pratiques. Il critique clairement une vision de la relation entre recherche et enseignement qui serait une relation de simple application. Accepter cette critique ne signifie pas pour autant qu'il faille abandonner toute visée transformative de l'enseignement, au contraire, une meilleure connaissance de l'activité ordinaire donne également quelques clefs pour une modification et une diversification raisonnée des pratiques ordinaires. Ce courant de pensée et de recherche redéfinit la place de l'enseignant dans les recherches à visées transformatives. Il n'est plus le simple exécutant de dispositifs créés sans lui, mais il est intégré aux recherches afin d'y dévoiler ses pratiques, ses buts, ses contraintes, ses objectifs, ses interprétations, ses pensées… Il ne s'agit pas pour le chercheur d'abandonner ses propres points de vue théoriques sur l'enseignement et l'apprentissage pour épouser ceux de l'enseignant, mais le chercheur à intégrer le point de vue de l'enseignant pour construire des outils valides et pertinents sur les plans théoriques et pratiques. Les choix méthodologiques que nous avons opérés au cours de nos recherches offrent une large place aux enseignants (co-construction de séquences, entretiens, enregistrements de séquences, analyses de séquences…). Dans nos recherches les enseignants sont porteurs des questions,

[17] http://www.inrp.fr/vst/Dossiers/Pratiques_enseignantes/presentation/open1.htm

des raisons, des contraintes de la didactique « praticienne », et le chercheur est porteur des questions des raisons et des contraintes de la didactique « critique et prospective » (Martinand, 1994). La rencontre des chercheurs et des praticiens peut ainsi donner lieu à l'émergence d'une didactique à la fois praticienne, critique et prospective. L'enseignant n'est pas considéré comme un objet de recherche, mais un sujet, comme un co-créateur (Donnay et al. 2002).

I.7. Délimitation du champ d'application du concept de phase de conclusion

La volonté de développer nos recherches sur la simulation de gestion de séances, offre la possibilité d'investir d'autres domaines disciplinaires scolaires. En effet, bien qu'ayant montré en quoi notre approche des interactions était didactique et bien que nos analyses portent pour l'instant exclusivement sur des extraits des séances prises dans le champ des sciences physiques, cela n'exclut pas la possibilité d'utiliser ces concepts (connaissances de référence, phase de conclusion, phase d'évaluation, phase de négociation) dans l'analyse d'interactions dans le cadre de l'enseignement d'autres disciplines scolaires.

Pour pouvoir trouver des réponses à cette question du transfert, il nous faut abandonner un questionnement par discipline et privilégier un questionnement qui porte sur la nature des savoirs mis en jeu. En effet, il ne s'agit plus de rechercher si un concept construit dans une discipline est utilisable dans d'autres disciplines, mais de caractériser la nature des savoirs mis en jeu dans les phases de conclusion, ce qui permet ensuite de considérer que les situations d'enseignement dans lesquelles le savoir mis en jeu est de même nature, alors les concepts sont exportables. Ceci suppose que la nature de la phase de conclusion dépende étroitement de la nature du savoir scolaire mis en jeu. Nous rejoignons ici un des postulats de la théorie de l'action didactique conjointe (Sensevy et Mercier, 2007 : 2), selon lequel « les savoirs donnent leurs formes aux pratiques d'enseignement et d'apprentissage». Ainsi, la dimension didactique de nos recherches est conservée, et la question du transfert des concepts pour analyser des transcriptions de séances d'enseignement d'autres disciplines peut être posée.

Rappelons que le concept de phase de conclusion tel que nous l'avons défini distingue la phase d'évaluation et la phase de négociation. Les points de vue socio-constructivistes et épistémologiques que nous avons adoptés, nous ont amené à privilégier l'utilisation des phases de négociation dans les séquences d'investigation scientifique. Dans les phases de négociation, le contrôle des productions s'appuie sur des principes de non contradiction, de cohérence avec d'autres savoirs préalablement établis et validés. Les savoirs scientifiques mis en jeu dans les phases de négociation sont donc des savoirs scolaires construits. Ainsi, tout type de savoir scolaire constructible peut a priori faire l'objet d'une séquence d'enseignement de type investigation au cours de laquelle les productions des élèves peuvent être contrôlées en terme de validité au regard des connaissances de référence. Nous allons donc rechercher à préciser ce que nous entendons par savoir scolaire constructible.

Le terme de savoir scolaire est utilisé ici pour montrer que nous nous intéressons au savoir fabriqué, reconstruit par l'école et pour l'école et non pas au savoir de référence. En effet, un même savoir de référence, peut être présenté dans une séquence d'enseignement comme un savoir scolaire constructible ou comme un savoir scolaire non constructible. Pour illustrer notre propos, prenons comme exemple celui de l'apprentissage de la lecture. Prenons le cas

du phonème « ou ». Comment savoir que le phonème « ou » est associé au graphème « o u » ? Ce savoir peut être apport par l'enseignant : « Quand je vois « O U », j'entends « ou ». Cet apprentissage peut également s'effectuer par construction en analysant le mot mouton par exemple : Le phonème « ou » dans le mot mouton, peut être localisé en décomposant le mot en syllabe « mou – ton », puis en décomposant la première syllabe en deux phonèmes « m – ou », puis en repérant que le phonème « ou » se situe à la fin de la syllabe mou, ce qui permet d'établir la correspondance entre le graphème et le phonème (cet exemple est inspiré de Goigoux et Cèbe, 2006). Ce faisant, l'enseignant s'appuie uniquement sur des connaissances déjà disponibles pour établir la correspondance phonème-graphème pour le son « ou ». Cet exemple illustre le fait que le caractère constructible d'une connaissance n'est pas un attribut de cette connaissance mais qu'il dépend de la façon dont cette connaissance est mise en scène, apportée à l'élève.

Par savoir scolaire constructible, nous entendons un savoir enseigné à l'école, dont la validité peut être contrôlée par les élèves sur des principes de non contradiction avec les connaissances préalablement établies publiquement dans la classe (connaissances de référence). Autrement dit, un savoir scolaire est constructible si les élèves disposent des connaissances leur permettant de le produire et d'en juger la validité (construire = produire + contrôler la validité). Ce concept de savoir scolaire constructible nous paraît fécond. Il nous amène à repérer différentes natures des savoirs enseignés à l'école, et à faire des liens entre les différentes disciplines.

A propos de l'existence de savoirs scolaires constructibles, on peut ici faire un lien avec la formation et l'enseignement. En effet, pour pouvoir faire construire des connaissances par les élèves encore faut-il qu'elles soient constructibles. Or, il se peut que certains enseignants cherchent à faire construire aux élèves des connaissances qui ne sont pas constructibles. Dans l'enseignement transmissif tout type de savoir scolaire peut être transmis, alors que dans un enseignement constructiviste, seuls les savoirs scolaires constructibles peuvent être construits.

Le fait que la distinction entre phase de négociation et phase d'évaluation ait été initialement construite dans le champ de la didactique des mathématiques (Margolinas, 1993) puis reprise en sciences expérimentales (Morge, 2001b, 2005b) ne relève pas du hasard. En effet, l'épistémologie des sciences expérimentales et des mathématiques a mis l'accent sur le caractère construit du savoir scientifique. Il y a un accord chez les épistémologiques contemporains (e.g. Bachelard 1938, Chalmers 1976, Kuhn 1983, Fourez 1992) pour dire que le savoir scientifique est une construction qui résulte de l'activité humaine, que la recherche d'une cohérence (Tiberghien et al. 1994) est un des enjeux principaux de l'activité scientifique. Autrement dit, le principe de non contradiction est une des pierres angulaires de la construction des savoirs scientifiques, ce qui explique l'extrême importance de la distinction entre phase d'évaluation et phase de négociation dans l'enseignement des sciences en général et des sciences expérimentales en particulier. Mais dans l'enseignement scientifique, toutes les connaissances ne sont pas construites et déduites par les élèves. Certaines connaissances sont apportées par l'enseignant car elles ne peuvent pas être construites par les élèves. Par exemple, l'enseignant présente aux élèves certains phénomènes, il leur fournit les premiers éléments d'un modèle qu'ils devront ensuite compléter... Au sein même de l'enseignement scientifique, dans le cadre d'une institution scolaire, tous les savoirs ne sont pas constructibles par les élèves. On rejoint encore ici le second postulat de la théorie de l'action didactique conjointe, postulat selon lequel les savoirs (savoirs constructibles / non constructibles) « donnent leurs formes aux pratiques d'enseignement et d'apprentissage ».

Nous venons de dire que dans le cadre de l'enseignement scolaire, les élèves ne peuvent (ne doivent) pas construire tous les savoirs qu'ils doivent acquérir. Notons également que sur le plan du savoir de référence, certains savoirs scientifiques ne sont pas non plus construits de manière rationnelle par les scientifiques. A ce propos, Chomat et al. (1992: 120), décrivent l'élaboration des bases d'un modèle comme « un saut dans l'imaginaire, ce « pari » (Thom, 1979), [qui] ne peut de fait être justifié a priori, mais seulement a posteriori, en termes de « gain du pari », de fécondité au regard des finalités auxquelles répond la construction du modèle, finalité cognitive ou finalité pratique». Il y aurait par moment une rupture dans la construction rationnelle du savoir scientifique. Les chercheurs feraient des « paris » dont la pertinence ne peut être jugée qu'à postériori. Autrement dit, même au niveau du savoir scientifique de référence, le caractère constructible de certains savoirs ne s'applique pas toujours.

Avant de nous intéresser aux autres disciplines, analysons dans un premier temps des transcriptions de séquences de sciences physiques afin d'essayer de délimiter le domaine d'application du concept de phase de conclusion à l'intérieur même du domaine de l'enseignement des sciences physiques.

I.7.1. Délimitation du champ d'application du concept de phase de négociation pour analyser les interactions en classe de sciences physiques et chimiques

Si d'un point de vue épistémologique, le caractère humainement construit du savoir scientifique n'est pas remis en cause, dans l'enseignement des sciences physiques, en revanche, tous les savoirs scientifiques mis en jeu ne font pas toujours l'objet d'une construction. Les interactions mettant en jeu des contenus scientifiques ne relèvent pas toutes d'une interaction socio-constructiviste. Afin de délimiter le champ d'application du concept de phase de négociation dans l'enseignement des sciences, nous allons prendre quatre exemples de situations d'enseignement. Nous allons étudier a) le cas d'une situation de rappel de connaissances en début de cours, b) le cas des controverses socio-scientifiques, c) le cas de savoirs scientifiques scolairement non constructibles et d) le cas des séquences d'investigation. Toutes ces situations relèvent de l'enseignement des sciences, mais dans les deux premiers cas, les savoirs scolaires mis en jeu ne sont pas constructibles par les élèves. De ce fait, le concept de phase de négociation n'est pas pertinent pour analyser les interactions qui apparaissent dans ces situations.

L'extrait suivant correspond à la situation de rappel de connaissances. Au début d'un cours sur la radioactivité, l'enseignant effectue un rappel en interrogeant les élèves sur des connaissances supposées acquises (B28). Les réponses d'élèves (B29, B31, B33) sont évaluées (B30, 32, 34), pour leur correspondance (ou leur non-correspondance) au savoir scientifique de référence.

B27P : Noyau, bon alors. Il faudrait peut-être rappeler quelques souvenirs sur l'atome.
B28P : Alors l'atome est constitué comment ?
Qui peut me rappeler comment est constitué le noyau ?
B29E : C'est rond. Ça a un petit noyau au milieu. Il y a des neutrons et des protons. C'est pas ça ?
B30P : Dans le noyau, oui. Et autour de ce noyau ?
B31E : Il y a des ions.

B32P : Non, c'est pas des ions. Des ?
B33E : Electrons.
B34E : Electrons…

Dans le cas de rappel de connaissances, l'enjeu de l'interaction n'est pas de co-construire collectivement de nouvelles connaissances afin de favoriser la construction individuelle des connaissances. L'enjeu n'est pas non plus de transmettre, de véhiculer des valeurs épistémologiques en accord avec les conceptions épistémologiques contemporaines. L'enjeu est dans ce cas d'effectuer un rappel de connaissances pour resituer le sujet abordé, s'assurer d'une certaine maîtrise du sujet par les élèves avant de leur proposer une nouvelle activité. La question du choix entre évaluation et négociation pour conclure, ne se pose pas.

Etudions maintenant le cas des séquences d'enseignement basées sur l'organisation de débats s'appuyant sur des controverses socio-scientifiques actuelles (e.g. Albe, 2003 & Albe et Simoneaux, 2003). Les débats portent par exemple sur les thèmes du réchauffement climatique, des déchets nucléaires, des antennes relai et de la téléphonie mobile… L'enjeu est d'appréhender le rôle de la science dans notre société, de se confronter à l'incertitude de savoirs scientifiques, « de questionner l'autorité de la science, de s'interroger sur les différentes interprétations des phénomènes et des désaccords entre chercheurs» (Albe, 2003 : 1187). Les savoirs mis en jeu dans ce type de séances d'enseignement sont des savoirs complexes, incertains, contradictoires et ils incluent des déterminants personnels notamment par rapport au risque. La nature des savoirs mis en jeu dans ce type de séquence, est très différente de la nature des savoirs mis en jeu dans l'enseignement habituel des sciences. Leur nature incertaine, contradictoire et complexe rend peu probable l'apparition de phases de négociation qui reposent uniquement sur le principe de non-contradiction (même si ce type de critère de validation n'est pas totalement exclu). De même, l'apparition de phases d'évaluation, suppose l'existence d'un savoir scientifique stabilisé qu'utilise l'enseignant pour le comparer au savoir produit par l'élève. Ainsi, dans le cas d'analyse des débats en classe de sciences au cours d'une controverses socio-scientifique, les concepts de phase de conclusion, d'évaluation et de négociation tels que nous les avons définis semblent a priori inappropriés pour rendre compte de ces débats socio-scientifiques.

Comme nous l'avons expliqué précédemment tous les savoirs scientifiques scolaires ne sont pas constructibles par les élèves. Des phénomènes donnés à voir aux élèves (e.g. Chomat et al. 1992) ou les bases d'un nouveau modèle (e.g. Chomat et al. 1992, Johsua et Dupin 1989), les symboles (symbole conventionnel d'une pile), les conventions (sens du courant) sont des exemples de connaissances scientifiques scolaires qui ne sont a priori pas constructibles par les élèves. Lorsque de telles connaissances sont mises en jeu, ni le concept de phases de négociation ni celui de connaissances de référence, ne paraissent pertinentes pour analyser les interactions en classe. En effet, ces connaissances sont introduites par l'enseignant et leur validité ne peut pas être discutée par la classe.

Ces exemples légitiment notre abandon d'une approche disciplinaire scolaire de la délimitation du champ d'application du concept de phases de conclusion (qui englobe également les phases d'évaluation, de négociation, de connaissances de référence et la supériorité des phases de négociation sur les phases d'évaluation), puisqu'à l'intérieur même de l'enseignement des sciences physiques, il est possible de trouver des situations d'enseignement dans lesquelles ces distinctions entre évaluation et négociation n'est pas pertinente. Pour envisager le transfert de concepts, il semble plus pertinent d'interroger la nature des savoirs mis en jeux, que la discipline d'enseignement elle-même. Notons que

même si le critère de non-contradiction est un critère de validation pertinent pour un grand nombre de disciplines, les éléments convoqués pour repérer une éventuelle contradiction diffèrent d'une discipline à l'autre. Par exemple, les physiciens, chimistes et biologistes prennent en compte des résultats expérimentaux, et les comparer par exemple aux prévisions afin de repérer d'éventuelles contradictions (le contrôle expérimentale n'existe pas en mathématique).

En revanche, la distinction entre phase d'évaluation et phase de négociation ainsi que la supériorité des phases de négociation est pertinente pour l'ensemble des différents types de séquences d'investigation en classe de sciences. Les séquences d'investigation (Morge et Boilevin, 2007a) recouvrent les séquences PACS (Prévision Argumentation Confrontation Synthèse), OMLE (Observation Modélisation, Liaison entre champs empirique et théorique, Enrichissement du modèle), les situation-problème, les situations adidactiques, et les situations problématiques ouvertes. La figure 3 dans la partie 1.4.5. représente la structure commune à l'ensemble de ces séquences et incluent pour chaque tâche une ou des phases de conclusion. Chaque type de séquence diffère principalement par la nature et l'ordre des tâches proposées aux élèves[18]. Les séquences PACS, les situations adidactiques et les situations problématiques ouvertes possèdent un enchaînement de tâches qui les caractérise. Les séquences d'investigation privilégient la construction (construction = production + contrôle de validité) sociale du savoir par les élèves à travers la réalisation de tâches. Ainsi, par définition, les connaissances visées par la mise en œuvre des séquences d'investigation sont constructibles par les élèves qui sont également invités à participer au contrôle du savoir mis en jeu.

I.7.2. Le concept de phase de conclusion pour analyser des interactions dans d'autres disciplines

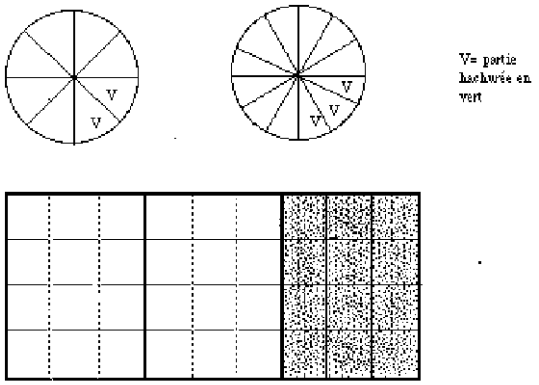
Les concepts que nous utilisons pour analyser les interactions dans le domaine des sciences physiques (phase de conclusion, phase d'évaluation phase de négociation et connaissances de référence) vont être utilisés pour analyser les interactions en classe mettant en jeu des savoirs scolaires constructibles dans d'autres disciplines (Mathématiques, Français). Il s'agit de tester ici la transférabilité des concepts que nous avons construit dans le champ de la didactique des sciences physiques.

I.7.2.1. Exemple à propos des mathématiques

La séquence de mathématiques porte sur les fractions au collège (Noirefalise & Noirefalise, 1995). Nous allons dans un premier temps l'analyser à l'aide de nos propres concepts. Dans un second temps, nous tenterons de comparer les concepts que nous utilisons à ceux qui sont utilisés dans le domaine de la didactique des mathématiques pour analyser ces mêmes interactions. Nous attendons de cette comparaison, l'établissement et l'explicitation de correspondances et de différences entre les concepts utilisés.

[18] *Il existe plusieurs types de séquences d'investigation. La séance proposée dans le logiciel prototypique est une séance type OMLE. Dans la perspective de développement de nouveaux logiciels, faut-il privilégier certains types de séquences d'investigation?*

La séance dont nous allons analyser quelques extraits de transcription porte sur les fractions. En début d'heure les élèves avaient tous le document suivant en couleur :



Le déroulement de la séance peut être synthétisé de la façon suivante :

-L'enseignant énonce oralement et écrit au tableau la consigne :
"Dans les figures suivantes on a représenté des fractions, je vous demande lesquelles. On l'écrit au crayon de papier en dessous"

-La première phase est individuelle.
Les élèves cherchent seuls à leur place, le professeur circule de l'un à l'autre.

-Lors de la deuxième phase les élèves sont regroupés deux à deux.
A la demande du professeur qui a constaté l'avancement de leur travail, les élèves se mettent deux par deux pour confronter leurs résultats :" *Est-ce que vous avez pareil ou pas pareil ?"*

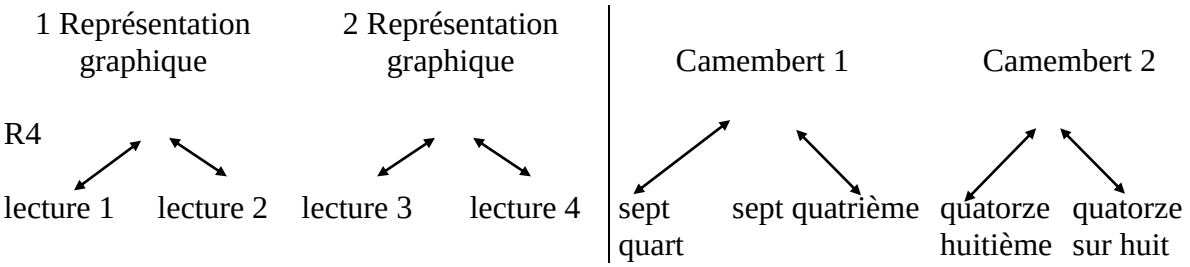
-La troisième phase est collective.
Les élèves sont invités par le professeur à dire tout ce qu'ils ont écrit. » (Noirefalise et Noirefalise, 2005, 151).

Au cours d'un entretien l'enseignant explicite l'objectif visé : « *…pour voir qu'une fraction enfin un nombre peut s'écrire avec différentes fractions, que différentes fractions représentent le même nombre »*

Le savoir de référence peut être représenté par le tableau ci-dessous. L'objectif de l'enseignant étant d'établir qu'une même valeur peut être égale à plusieurs fractions (R1).

Le savoir de référence

	Forme littérale		Exemple	
	Valeur 1		1,75	
Relation 1	↕	↕	↕	↕
	Ecriture fraction 1	Ecriture fraction 2	7/4	14/8
R2	↕	↕	↕	↕
	Signification 1	Signification 2	Je partage les unités en 4 et j'en prends 7 parts	Je partage les unités en 8 en j'en prends 14 parts
R3	↕	↕	↕	↕



Pour pouvoir établir R1 à partir de la situation proposée aux élèves, il aurait fallu que les relations R2 et R3 soit établies ce qui n'est pas le cas. En effet, plusieurs élèves possèdent une conception erronée de la fraction : ils pensent que la fraction représente les parties d'un tout. Pour ces élèves une fraction ne peut représenter qu'une valeur inférieure à 1. Pour ces élèves, le plus grand nombre est le tout, le plus petit représente la partie. Les écritures x/y ou y/x sont donc, pour ces élèves, équivalentes.

Au cours de la séance l'enjeu de l'interaction devant initialement porter sur R1 porte sur la signification des fractions R2 et R3:

P31 : Alors, d'abord ici je voudrais qu'on discute sur ces deux écritures, parce que je les ai rencontrées souvent : deux huitièmes, huit deuxièmes, un quart et quatre unièmes. Est-ce que ce sont les mêmes écritures ?
E (ensemble) Non.
P32. Alors, vous dites non! Je voudrais que vous expliquiez à vos camarades qui l'ont écrit si c'est oui ou si c'est non. Pourquoi alors? Marjorie après Stéphane. Marjorie ?
M : Huit demis, c'est huit parties: on a pris deux.
P33 : Alors tu dis huit deuxièmes c'est huit parties [*P. dessine un tableau*]. J'ai entendu, tu m'as dit?
M : Non, non huit deuxièmes sur les huit parties, non non je me suis trompée.
P34 : Alors, reprends.
M: sur les 8 parties on prend deux parties.
P35 : c'est quoi ça ? ... sur les huit parties on prend deux parties : c'est ce que j'entends. C'est quoi? C'est quelle fraction?

La « sous-tâche » donnée aux élèves consiste ici à rechercher la signification de huit demi. Cette sous-tâche se répétera à plusieurs moments de la séance mais à propos de valeurs différentes. L'enseignant va tenter au cours de cette séance de ne pas évaluer les productions d'élèves qui se trompent mais de rechercher avec les élèves leur non-validité. L'analyse de ces interactions à l'aide des concepts de phase de négociation et de connaissances de référence, nous amène à poser la question suivante: Quelles connaissances communes à l'enseignant et aux élèves peuvent être mobilisée dans l'interaction pour invalider la production suivante : « Huit demis, c'est huit parties: on a pris deux. » ?

Une des possibilités qui s'offre ici à l'enseignant est de s'appuyer sur les heures et le découpage de ces heures en fractions (la demi-heure et le quart d'heure). La signification de ces fractions est connue des élèves et de l'enseignant, elle peut donc constituer une connaissance de référence. La relation entre la signification de ces fractions et leurs représentations graphiques (R3) peut également être considérée comme partagée. La relation R4 entre signification et écriture de la fraction ne peut quant à elle qu'être imposée par

l'enseignant. Elle ne peut pas être construite par les élèves puisqu'il s'agit d'un code arbitraire d'écriture et de lecture. Les élèves et l'enseignant en s'appuyant sur ces connaissances de référence peuvent établir que deux quarts d'heure (2/4) n'a pas la même valeur que 4 demi heures (4/2). Ainsi, la fraction 2/4 n'a pas la même valeur que la fraction 4/2. L'enseignant peut donc invalider la production « 8 demis, c'est huit parties : on en prend deux » en avançant que la valeur de 8 demi heures (dont la valeur est 4 heures) ce n'est pas une heure découpée en 8 parties dont on prendrait 2 parties (dont la valeur est un quart d'heure). De plus, la fraction 4/2 illustre le fait que l'on puisse avoir des fractions dont la valeur est supérieure à 1, ce qui contredit la conception erronée de certains élèves.

Au cours de la séance, l'enseignant va tenter de mobiliser ces connaissances de référence. Mais, avec l'exemple qu'il prend « un quart d'heure », il doit faire appel à une connaissance qui ne fait pas partie des connaissances de référence « quatre unième d'heure ». Les élèves ne connaissent pas la valeur le quatre unième d'heure et ne peuvent ni suivre ni élaborer le raisonnement qui permettrait d'invalider la production suivante : « Huit demis, c'est huit parties: on a pris deux. »

P93 : Quatre quarts. Revenons par exemple à l'heure, quatre quarts d'heure c'est quoi?
E (ensemble) : Une heure, une heure.
P94 : Une heure, quatre quart d'heure c'est une heure
E : Un quart d'heure c'est...
P95 : Oui, oui
E : Un quart d'heure c'est un quart d'heure.
E' : Un quart d'heure, c'est 15 minutes.
P96 : Un quart d'heure, c'est 15 minutes [*écrit au tableau :15. minutes*] et quatre unièmes d'heure?
E : Quatre unièmes d'heure, ça fait 15 minutes.
P97 : Ca fait ?
E' : Ca fait une minute
P98 : ça fait une minute? Qu'est ce que ça veut dire : quatre au dénominateur, le nombre au dénominateur... Quel est son sens ? Céline? Redis-le ?
C : Ben, c'est le nombre de parts qu'on a, qu'on a dessi..., qu'on a fait.
P99 : C'est le nombre de dessi...parts qu'on a fait. Céline, redit le!
C : C'est le nombre de parts qu'on a fait.
P100 : C'est le nombre de parts qu'on a fait. C'est le nombre de part qu'on a fait dans l'heure. Je fais combien de parts ?
E (ensemble) : Quatre, un, quatre,...
P101 : Une part ça fait combien de minutes?
E : Soixante
P102 : Soixante minutes? Je prends quatre parts, quatre parts. Marjorie?
M On sait pas parce que ....
E (ensemble) : Ca fait zéro, ça fait zéro.
P 103: Ca fait zéro ?
E : Oui, mais il y a quatre quarts d'heure dans une heure.
E : hou là, là
P 104: Alors dans une heure, on abandonne un quart, on va reprendre avec...
E : Qui c'est qui a dit ça ?
P 105: Aller on reviendra tout à l'heure à ça. Il faut reprendre un petit peu : est-ce que les écritures tiers et trois demis, elles sont .... est-ce qu'elles sont pareilles ou est-ce qu'elles sont pas pareilles? Jacky?

Cet exemple illustre selon nous la possibilité et l'intérêt d'analyser des interactions maître-élèves dans le champ de l'enseignement des mathématiques avec le concept de connaissance de référence, de phase d'évaluation, de phases de négociation. Il permet de comprendre pourquoi les élèves ne peuvent pas (ou difficilement) adhérer à l'argumentation utilisant l'exemple de 4 unième d'heure. Il permet également de suggérer l'utilisation de la fraction 4/2 heures pour invalider la production erronée des élèves et la conception qu'elle met en jeu. Le savoir mis en jeu est ici constructible « x/y n'a pas la même valeur que y/x » à condition de mobiliser les connaissances de références disponibles à la fois chez les élèves et l'enseignant.

Les auteurs de l'article analysent quant à eux cette situation en mobilisant le concept de milieu (Noirfalise et Noirfalise, 2005 : 154).
« Refusant toujours de corriger les réponses données, le professeur tente de nouveau de mobiliser un milieu pouvant permettre aux élèves de valider leur réponse.

Dans un premier temps, il engage les élèves à se référer à la notion de partage, mais des difficultés apparaissent pour l'interprétation des unièmes (partage en une partie). Il abandonne alors cet univers pour introduire un univers familier, celui des heures. Si un quart d'heure est très vite identifié à quinze minutes, l'interprétation des unièmes d'heure provoque de nombreuses réactions erronées.

Là encore les élèves expriment leurs difficultés à assumer le travail d'interprétation qui leur est demandé.

Le professeur doit abandonner et il engage les élèves sur un nouveau débat :
P : *" aller on reviendra tout à l'heure à ça, il faut reprendre un petit peu, est-ce que les écritures deux tiers et trois demis, elles sont ... est-ce qu'elles sont pareilles ou est-ce qu'elles sont pas pareilles ?"* »

Le concept de « milieu » est proche de celui de « connaissances de référence ». Du point de vue de l'enseignement, ces deux concepts partagent l'ambition de dépasser les arguments d'autorité et de les remplacer par des arguments de validité. Les productions des élèves sont jugées non plus en termes de véracité mais en termes de validité par rapport au « milieu » ou par rapport aux « connaissances de référence ». Ces deux concepts sont très proches puisqu'ils partagent le même but. Ils s'inscrivent dans une perspective constructiviste de l'enseignement et de l'apprentissage. L'entreprise d'articulation entre ces deux concepts devra être menée dans le but de préciser ces concepts, leur articulation, et leur domaine d'application.

I.7.2.2. Modalités de contrôle des productions au cours d'une séance de lecture au CP

La séance dont nous allons analyser la transcription est une séance de lecture au CP mise en ligne par Goigoux[19]. Plusieurs phases de conclusions vont être analysées. Là encore, nous analysons les interactions avec nos propres concepts avant de comparer cette analyse avec celle proposée par Goigoux, 2002). Ici, la tâche principale proposée aux élèves consiste à lire le texte suivant : « Bébert le bulldozer le bouscula pour glisser sur le toboggan ». Ce texte fait parti d'un album servant de support à l'apprentissage de la lecture. L'analyse de la séance

[19] http://publi.auvergne.iufm.fr/ressources/www2/wikifile.php?id=31

montre une grande variété de phases de négociation (le mot lu ne s'écrit pas comme le mot à lire, la décomposition par syllabe puis par graphème et l'association graphème phonème montre une incohérence entre le son du mot écrit et le son du mot à trouver, le mot lu est cohérent avec l'image ou l'histoire dans laquelle il s'insère). L'enseignante et les élèves invalident donc un grand nombre de productions (mot lu) en s'appuyant sur les connaissances communes partagées par l'enseignant et les élèves de la classe (connaissances de référence).

- Modalité de contrôle des productions 1 : Le mot lu ne s'écrit pas comme le mot à lire.

Dans cet extrait, l'élève prénommée Sarah en voyant le « la » de « bouscula », dit reconnaître le mot « dans ». L'orthographe de ce mot « dans » étant déjà connue, la maîtresse demande aux élèves de dicter l'écriture du mot « dans », qu'elle écrit au tableau. Elle demande ensuite à Sarah de comparer l'écriture du mot « dans » avec celle de la syllabe « la », ce qui invalide la production de Sarah (« la » se lit « dans »). Il s'agit d'une phase de négociation puisque l'orthographe du mot prononcé (« dans ») est connue des élèves, autrement dit, elle fait partie des connaissances de référence.

1 M : est-ce qu'on peut écrire dans ensemble ?
2 *(M va écrire sur le côté droit du tableau)*
3 EE *(dictent les lettres à la maîtresse qui les trace au tableau):* D
4 M *(écrit D)* D qui fait le son [d□]
5 E : A, N
6 M *(écrit A N)* : pourquoi A N ?
7 E : parce que ça fait [±]
8 E : S
9 M : et y a un S ? *(elle l'écrit)*
10 E : danse
11 M : ça fait pas danse?
12 E : non, il s'entend pas
13 M : il s'entend pas *(elle met une petite croix sous cette lettre muette)*
14 M : alors est-ce que tu veux bien regarder ce mot Sarah ? *(Elle vient chercher Sarah par le bras et la conduit devant l'écriture du mot dans).* Tu recules un petit peu. Est ce que tu le vois ?
15 M : Tu m'as montré ça *(elle montre le la de bouscula)* et tu m'as dit que ça faisait dans. Est ce que c'est ça?
16 Sarah : non
17 M : non. Alors peut-être que ce petit bout là on peut le lire.

- Modalité de contrôle des productions 2 : le son du mot lu (décomposition par syllabe puis graphèmes puis association graphèmes phonèmes), ne correspond pas au son du mot à lire.

Alors qu'initialement l'enseignante demandait aux élèves de rechercher dans le texte tous les « le », Sarah désigne le « la » de bouscula. Pour contrôler cette production l'enseignante demande à l'élève de décomposer la syllabe en graphème / phonème, afin de montrer que le son produit par la lecture de « la » diffère du son produit par la lecture de « le ». Il s'agit d'une phase de négociation si l'on suppose que la décomposition de la syllabe et que l'association graphème phonème sont disponibles pour les élèves (autrement dit qu'elles font partie des connaissances de référence).

18 E : Maîtresse
19 M *(à Sarah)* : Est-ce que tu reconnais cette lettre?
20 M *(aux autres)* : chut
21 EE : *brouhaha*
22 Sarah : *inaudible*
23 M *(s'adressant à Sarah)* : t'en es pas loin
24 Sarah : L
25 M : un L, quel son il fait le L?
26 Sarah : [l□]
27 M : [l□], et ça ?
28 Sarah : *inaudible*
29 M : chut, on écoute ce que dit Sarah
30 Sarah : [a]
31 M : [a]
32 M : alors maintenant on colle les sons, [l□] et [a] ?
33 Sarah : [la]
34 M : [la]

- Modalité de contrôle des productions 3 : Etablir des cohérences entre le sens du mot lu et le contexte de l'histoire (l'image de l'album et le début de l'histoire).

Dans l'extrait qui suit, après avoir effectué une première validation de la réponse de l'élève par une décomposition en syllabe et par association graphème/phonème, deux nouveaux arguments sont avancés dans la phase de négociation. Le premier consiste à rechercher la correspondance entre le mot trouvé (toboggan) et l'image associée dans l'album (E : oui oui, tu sais comment on peut le reconnaître aussi c'est parce qu'il est sur le toboggan). La seconde consiste à établir un lien de cohérence entre le mot et l'histoire (M : ah, quand nous l'avions quitté effectivement, Samson, il était installé sur...). Cette connaissance du contexte de l'histoire est disponible pour les élèves et fait donc partie des connaissances de référence.

35 M : Qu'est ce qu'on pourrait imaginer à partir de ça?
36 M : moi, je sais
37 Sébastien : toboggan
38 M : Toboggan, pourquoi toboggan?
39 EE *(brouhaha)*
40 M : pourquoi tu me parles de toboggan?
41 Sébastien : parce que le T et le O ça fait [to], [to / bo], avec les deux, avec ça, ça fait [tobo], avec le A et le N ça fait /g±/ donc toboggan
42 E *(inaudible)*
43 M : vous êtes d'accord?
44 EE *(tous en chœur)* : ouiiiii
45 E :oui oui, tu sais comment on peut le reconnaître aussi c'est parce qu'il est sur le toboggan
46 E : il glisse sur le toboggan
47 M *(désigne l'enfant qui a fait la remarque):* ah, quand nous l'avions quitté effectivement, Samson, il était installé sur...
48 E : sur le toboggan
49 E : sur l'échelle du toboggan
50 E : il était en train
51 M : il était en train de ...

52 E : de grimper
53 M : de grimper à l'échelle, chut.

Au cours de la séance, l'enseignante n'effectue pas uniquement des phases de négociation mais également des phases d'évaluation. Dans cette situation, les élèves passent les uns à la suite des autres pour prononcer dans l'oreille de la maîtresse le mot (bouscula) qu'ils ont lu. L'enseignante évalue individuellement les différentes réponses. Dans l'extrait qui suit, chaque intervention de l'enseignante s'adresse à un élève différent. Elle compare la production de l'élève (le mot qu'il pense avoir lu) à la connaissance de l'enseignante (le mot qu'elle a lu) et désigne la diférence entre ces deux lecture (M : Il manque un son, t'en a oublié en route…). En ce sens il s'agit ici de phases d'évaluation. Ici l'acceptation et le refus des productions sont faits de manière privée et individuelle. On voit donc co-exister dans cette séance les phases d'évaluation et les phases de négociation. L'enseignante ne cherche pas systématiquement la mise en œuvre d'une phase d'évaluation.

54 M : tu l'as pas lu jusqu'au bout.
55 M : oui
56 M : oui
57 M : je crois qu'il manque un son
58 (*Célia quitte sa place, vient en direction du tableau puis fait demi-tour sans rien proposer)*
59 M : oui
60 M : ah, t'en a oublié en route
61 M : oui
62 M : tu en as ajouté toi, regarde bien où ça s'arrête. *(D'autres élèves arrivent)* Oui, oui...
63

Si les « savoirs donnent leurs formes aux pratiques d'enseignement et d'apprentissage » (Sesevy et Mercier, 2007), ce changement de phase de conclusion, peut être interprété comme étant lié à la nature de savoirs mis en jeux. A ce moment de la séance, les élèves disposent de quelques éléments du mot « bouscula ». Ils ont lu « bou » et « la » de bouscula. Alors que la phase précédente consistait à décomposer en syllabe puis en graphème phonème, l'enseignante estime peut-être que les élèves ont suffisamment d'éléments pour se mettre à chercher le mot complet. Pour trouver le mot, on peut penser que l'activité cognitive à réaliser consiste inférer des mots connus à partir des éléments disponibles (Il faut chercher un mot qui commence par « bou » et qui fini par « la »). La nature du savoir mis en jeu a changé (le mot est trouvé à partir d'inductions sur la base d'éléments connus de ce mot, alors que les syllabes étaient quant à elles inférées par déductions), la forme de l'interaction a également changé. D'autres raisons telles que la volonté d'alterner la forme pédagogique peuvent être avancées pour expliquer ce changement de phase de conclusion, et l'on peut penser que c'est la combinaison de plusieurs facteurs qui ont généré ce changement.

L'analyse des phases de conclusion proposée par (Goigoux, 2002) est extrêmement proche de celle que nous proposons. En effet, le chercheur repère dans l'activité de l'enseignante une fonction qui consiste à assurer la conclusion des phases de reconnaissance de mots.
« *Valider (conclusion réalisée par un ou des élèves, sous la responsabilité de la maîtresse) : solliciter l'avis ou l'approbation des élèves, obtenir un assentiment général, l'absence d'opposition équivalant à une approbation consensuelle ; demander à un élève de justifier sa réponse en explicitant sa procédure de résolution dans le cas d'un décodage*

graphophonologique ; solliciter une référence à une connaissance extérieure au passage lu (illustration, début du récit, etc.)
Évaluer (conclusion réalisée par la maîtresse seule) ; notamment lors du chuchotage à l'oreille de la maîtresse » (Goigoux, 2002).

Les mêmes modalités de contrôle de productions ont été repérées par l'auteur et par nous-mêmes. Néanmoins nous pouvons repérer une légère différence dans la définition des phases de validation et des phases d'évaluation. Selon Goigoux (2002), la conclusion est une validation si elle est réalisée par les élèves, sous la responsabilité de la maîtresse, alors que la conclusion est une évaluation si la conclusion est réalisée par la maîtresse seule. Or, dans cet extrait, l'enseignante est omniprésente dans les phases de validation : elle décide de la procédure de contrôle à adopter, elle en définit les étapes, qu'elle développe, pas à pas, avec les élèves. Par exemple, l'enseignante propose aux élèves d'écrire le mot « dans », elle associe la lettre d et le son « de », elle statut sur le caractère muet du « s », elle demande à Sarah de comparer l'écriture du mot écrit « dans » et l'écriture de la syllabe désignée par Sarah « la ». Cette phase de validation (que nous avons appelée phase de négociation) est menée conjointement (Sensevy et Mercier, 2007) par les élèves et l'enseignant. Ce qui en fait selon nous une phase de négociation, ce n'est pas qu'elle est réalisée par les élèves, c'est que l'enseignante et les élèves mettent en jeu des procédures et des connaissances qui ont été préalablement établies, validées publiquement et partagées par la classe (même si elles ne sont pas encore totalement maîtrisées et ne peuvent être utilisées de façon autonome par les élèves). Ainsi, nous distinguons les phases d'évaluation des phases de négociation sur la base d'une analyse mésogénétique (quelle est la nature des savoirs mis en jeu dans la phase de conclusion ?), plutôt que sur la base d'une analyse topogénétique (qui effectue la phase de conclusion ?).

I.7.2.3. Discussion

L'analyse des séances de Mathématiques et de Lecture au C.P. montre que les concepts de phases de conclusion, de phase de négociation, de phase d'évaluation, et de connaissances de référence sont pertinents pour analyser des interactions en classe dans d'autres disciplines que les sciences physiques. Pour la séance de mathématique, ces concepts ont permis d'expliquer la raison pour laquelle certains arguments utilisés pour invalider les productions ne semblent pas efficaces, et ils permettent de proposer des arguments qui pourraient a priori être efficaces.

L'étude comparée des analyses que nous avons effectuées avec celles des auteurs, permettent de pointer quelques nuances dans l'utilisation de ces concepts (phase de conclusion, d'évaluation, de négociation) ou de concepts proches (milieu / connaissances de références). Cette comparaison des analyses des phases de conclusion par différents chercheurs travaillant dans le cadre de didactiques de différentes disciplines amène de nouvelles questions de recherches dans le champ de la didactique comparée : Ces différences traduisent-elles simplement la possibilité de présenter de différentes façons une même idée, ou bien cachent une profonde différence de point de vue ? Si elles cachent une différence profonde de points de vue, où se trouvent clairement la part de ce qui est commun et de ce qui est différent dans l'analyse des phases de conclusion dans différentes disciplines ?

L'analyse de la transcription de la séance de lecture au CP à mis à jour un changement net de phase de conclusion. L'enseignante après avoir mis en œuvre des phases de validation, met

ensuite en œuvre des phases de validation. Le changement de nature du savoir mis en je (savoir déduit / savoir inféré de manière aléatoire), nous a permis d'avancer une explication à ce changement. Cette analyse montre la capacité explicative du second postulat de la théorie de l'action didactique conjointe considère selon lequel « les savoirs donnent leurs formes aux pratiques d'enseignement et d'apprentissage» (Sensevy et Mercier, 2007 : 2).

L'analyse des transcriptions des séances de mathématiques et de lecture montre également que la gestion des productions des élèves ne comprend que la phase de conclusion (évaluation ou négociation). Nous n'avons pas trouvé de phases d'interprétation visant à repérer le raisonnement des élèves et l'origine de l'erreur (partie 1.4.4). Par exemple pourquoi Sarah lit-elle « dans » quand elle voit « la » ? Quelle est sa technique de reconnaissances de mot ? De même dans la séance de mathématiques, l'enseignant tente de trouver les connaissances de référence qui lui permettraient d'invalider les productions (notamment en s'appuyant sur les fractions d'heures) sans avoir explicité la conception des élèves à l'origine de leurs erreurs (l'idée selon laquelle x/y représente la partie d'une unité). Ce constat pose de nouvelles questions : Pourquoi les enseignants n'explicitent-ils pas ou peu les raisonnements erronés des élèves ? Peuvent-ils les repérer ? Est-il souhaitable de développer cette compétence chez les enseignants ? Si oui, comment les développer ?

II Partie 2 : La simulation des interactions en classe pour appréhender l'activité cognitive des enseignants

Notre deuxième axe de recherche, porte sur le lien entre l'analyse des pratiques enseignantes et la formation. Cet axe comprend une partie « recherche » et une partie « développement ». La partie « recherche » consiste à modéliser l'activité cognitive des enseignants en situation d'enseignement. Il s'agit de mieux appréhender les connaissances et raisonnements mis en jeu par les enseignants pour préparer leur intervention au cours de l'interaction. Ces raisonnements et connaissances, constituent des données qui devraient, à terme, fournir des éléments d'aide à la conception et à la gestion de dispositifs de formation. La partie « développement » vise quand à elle à construire des dispositifs de formation, dispositifs dont le but est de développer chez les enseignants la compétence à interagir dans une perspective de construction de savoirs, et plus précisément, à gérer les productions d'élèves. Les dispositifs de formation seront présentés dans la partie 3 de cette note synthèse, partie consacrée à l'étude de l'impact des dispositifs sur les pratiques enseignantes. Que ce soit en termes de recherche ou de développement, ce second axe s'appuie principalement sur l'utilisation du logiciel de simulation d'enseignement.

II.1. Un outil prototypique : le logiciel de simulation de gestion d'une séance portant sur le thème du modèle particulaire

La séance qui a servi à construire le logiciel de simulation[20] porte sur le thème du modèle particulaire. Elle s'adresse à des élèves de collège. Cette séance est issue des travaux de Larcher et al. (1990) qui ont préalablement analysé les difficultés des élèves sur le thème de la

[20] http://www.auvergne.iufm.fr/wiki.php?tag=MorgeSimModPart

matière et ont pris le parti de s'appuyer sur une démarche de modélisation. Les auteurs proposent une séquence d'enseignement composée de plusieurs séances. Nous nous sommes intéressés à la première séance dont l'un des enjeux principaux est l'introduction de l'existence de vide dans la matière. Cette première séance est constituée de quatre tâches successives. Tout d'abord, les élèves observent et décrivent la compression du dioxyde d'azote (gaz roux) placé à l'intérieur d'une seringue bouchée. Au cours de la deuxième tâche, ils expliquent, à l'aide d'un "germe" du modèle particulaire, le phénomène observé. La troisième tâche consiste à formaliser l'établissement de liens entre le registre du modèle et le registre phénoménologique (par exemple : le gaz est plus tassé = les particules sont plus serrées) alors que la quatrième tâche vise à compléter le germe de modèle avec deux nouvelles propriétés : il y a un espace vide entre les particules ; le nombre de particules caractérise la quantité de matière.

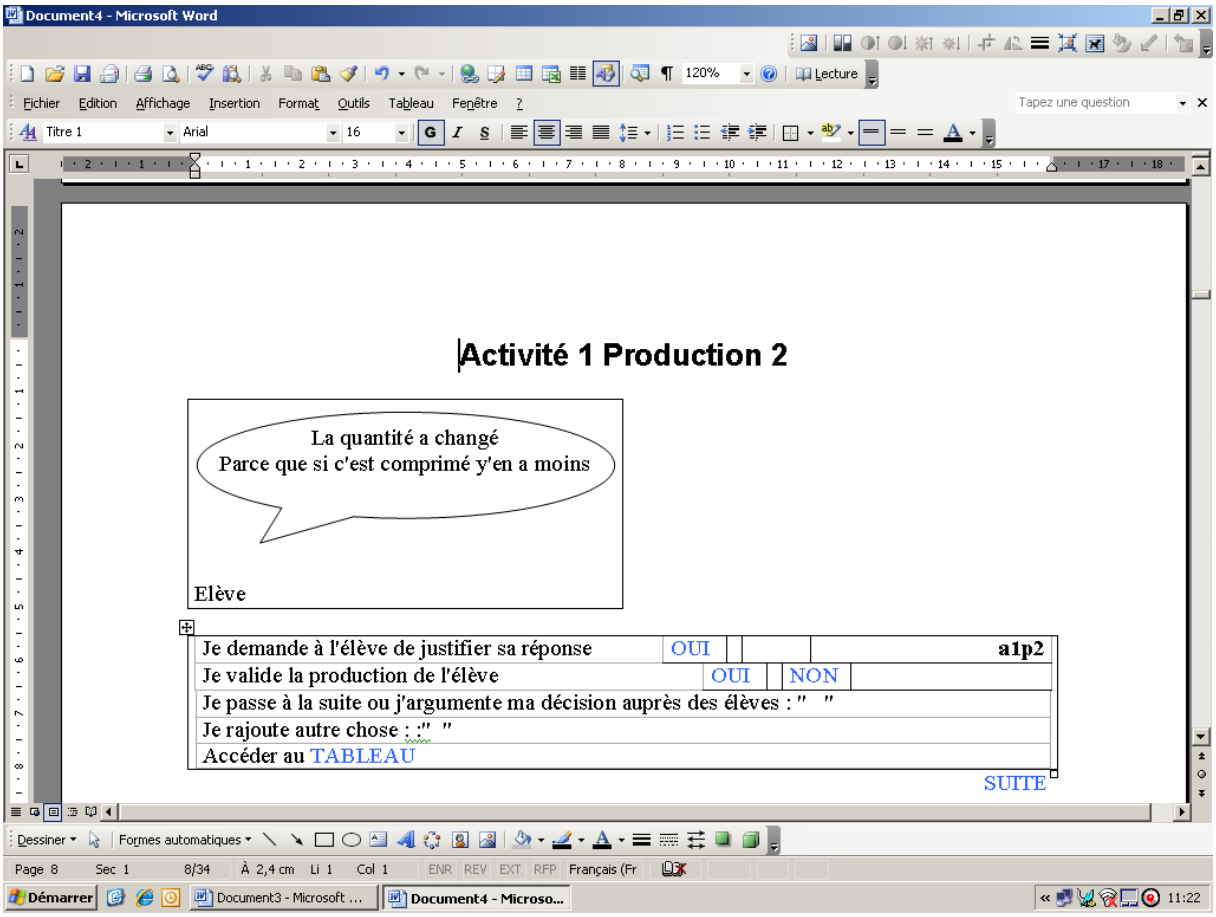
Avant de construire le logiciel, cette séance a été préalablement réalisée dans cinq classes différentes. Ces séances menées par des professeurs-stagiaires de Physique-Chimie ont été enregistrées à l'aide d'un magnétophone et d'un micro-cravate porté par l'enseignant. Les productions écrites des élèves réalisées dans le cadre de cette séance ont également été recueillies. Les enregistrements de séances ont ensuite été transcrits dans leur intégralité. Plusieurs situations réelles rencontrées par les enseignants au cours des cinq séances ont été implantées dans le logiciel. Ces situations sont constituées principalement de moments au cours desquels des élèves exposent et justifient les productions qu'ils ont effectuées en réponse aux tâches qui leurs sont proposées. Pour chaque production d'élève implantée, le logiciel sollicite l'enseignant pour qu'il accepte ou refuse ces productions et qu'il justifie sa décision auprès des élèves. Le fait que l'enseignant accepte ou refuse une production supprime la possibilité de changer d'avis. Par exemple, lorsque la décision d'accepter une production est prise, il n'est pas possible pour l'enseignant de revenir en arrière. Par l'entremise du logiciel, l'enseignant peut demander à un élève virtuel qu'il justifie sa production ; il peut demander à d'autres élèves d'accepter ou de refuser une production ; il peut proposer une reformulation de la tâche (utiliser d'autres mots, choisir le nombre de particules à représenter, choisir le symbole des particules), il peut lancer une tâche complémentaire qu'il devra ensuite gérer (comparer les productions entre elles, interpréter l'espace interparticulaire). L'enseignant peut également accéder à un tableau virtuel sur lequel il peut écrire ou effacer ce qu'il veut à tout instant. Chaque action réalisée par l'enseignant est enregistrée ce qui permet ensuite de retracer le déroulement de la simulation.

Parmi toutes les productions d'élèves recueillies au cours des quatre tâches réalisées dans les cinq séances, certaines sont identiques. Nous avons implanté chaque production originale que nous avons repérée. Le logiciel comporte donc pour l'ensemble des tâches, 69 productions d'élèves ; Un ensemble de choix ont été effectués lors de la construction de ce premier logiciel de simulation. Ces choix doivent être discutés[21].

[21] *Des choix on été faits pour construire et utiliser ce logiciel. Ces choix sont souvent liés à des contraintes techniques, à des objectifs de recherche et de formation. Dans la perspective de développement de nouveaux logiciels, il est nécessaire de questionner à nouveau ces choix : Faut-il implanter toutes les productions ? Si non, lesquelles choisir ? Le logiciel que nous avons utilisé présente aux enseignants des productions, des justifications, des réactions d'élèves sous forme écrite dans des bulles de type "bande dessinée" et/ou sous forme de schémas réalisés par des élèves. Faut-il chercher à se rapprocher de la réalité en insérant par exemple des extraits vidéo ? Dans le logiciel, les élèves n'ont pas de prénom, ils ne sont pas identifiés. Faut-il attribuer des prénoms aux élèves ? Quelles nouvelles questions de recherche permettraient d'aborder cette nouvelle attribution de prénom ? Par exemple, il serait possible d'échanger les prénoms d'élèves (filles-garçons) et de voir si les productions son traitées différemment. En attribuant par exemple des prénoms à des élèves et en leur donnant un niveau (bon / mauvais) il serait également possible de voir si le traitement des productions est*

Les exemples présentés ci-dessous sont tirés du logiciel de simulation. Pour illustrer les questions que posent la prise en compte de ces productions, une analyse des productions et des questions que pose leur prise en compte accompagne les exemples afin de saisir les compétences professionnelles mises en jeu par l'utilisation de ce logiciel.

EXEMPLE1



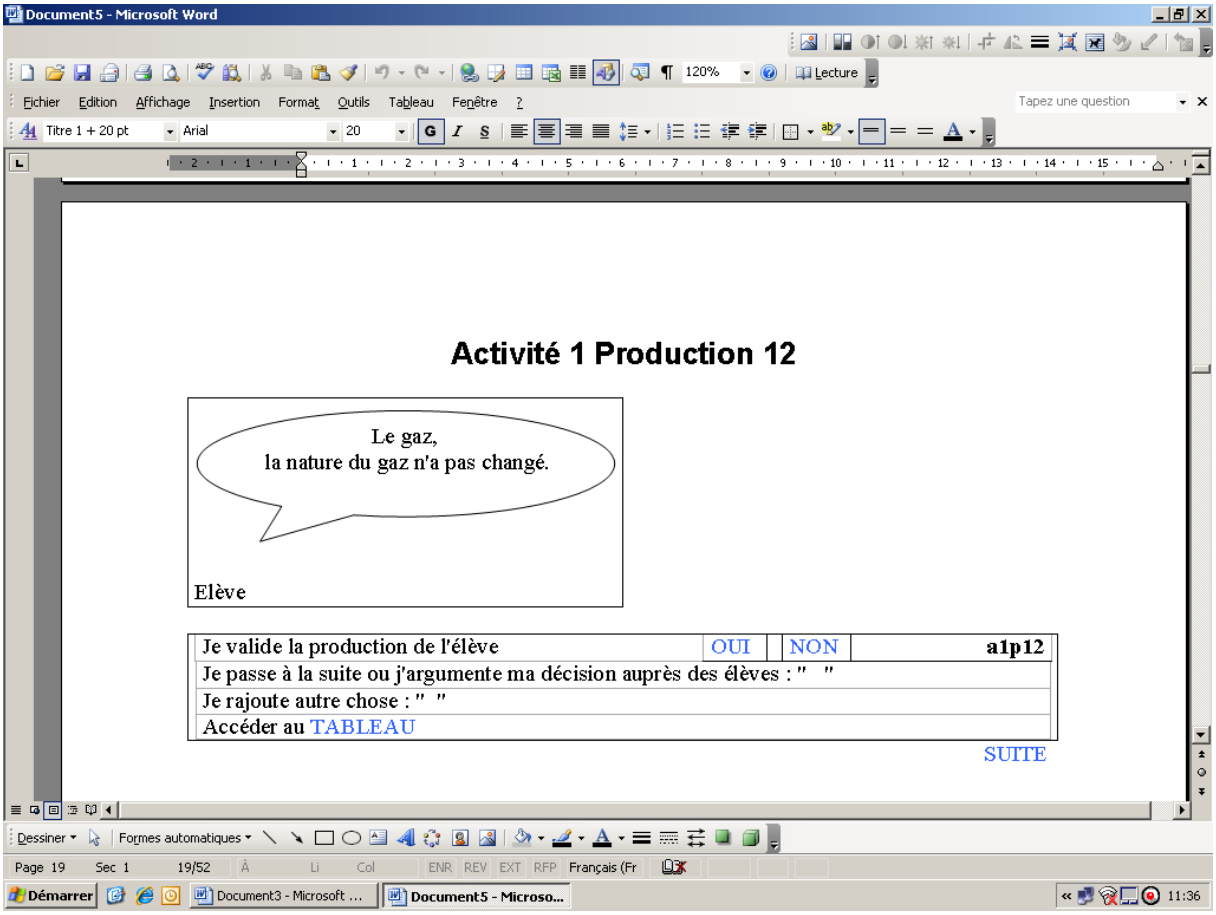
Cette production « la quantité a changé pace que si c'est comprimé y'en a moins » est fausse sur le plan scientifique car, la quantité de gaz n'a pas changée au cours de l'expérience. Cette production révèle chez l'élève une confusion entre les concepts de quantité et de volume. Au cours de la compression, le volume change alors que la quantité de matière ne change pas. La compression du gaz est l'un des premiers phénomènes étudiés par les élèves au cours duquel on observe une modification de volume sans modification de quantité de matière. Pour invalider cette production, l'enseignant peut s'appuyer sur le fait que la seringue est hermétiquement bouchée, qu'aucun gaz n'a pu entrer ou sortir, et donc que la quantité de gaz

---

différent. De même, les enseignants disposent de trois heures pour effectuer leur simulation. Que se passe-t-il si on modifie le temps dont ils disposent pour effectuer cette simulation ? Pour l'instant le même logiciel est utilisé pour accéder à l'activité cognitive des élèves et pour former les enseignants. Faut-il concevoir deux logiciels différents. Le logiciel repose sur la gestion des productions d'élèves au cours des interactions en classe. Faut-il tendre vers la complexité des interactions ou faut-il rester centré sur un aspect de l'interaction, comme la gestion des productions d'élèves ? Le tableau virtuel, introduit pour s'approcher de la réalité de la classe doit-elle être maintenu ?

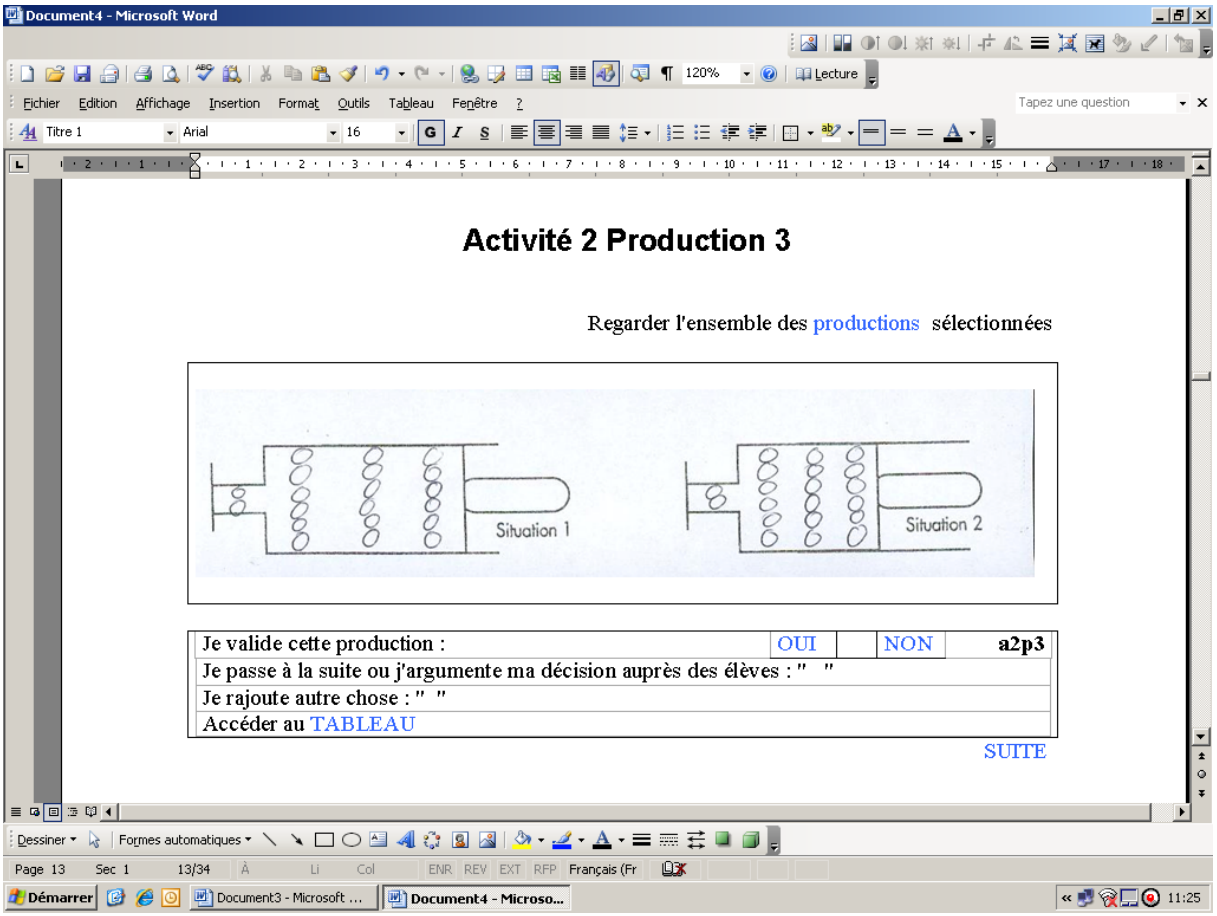
n’a pas pu changer. Il peut également expliciter (ou faire expliciter) la différence entre volume et quantité pour aider l’élève à distinguer ces deux concepts.

EXEMPLE2



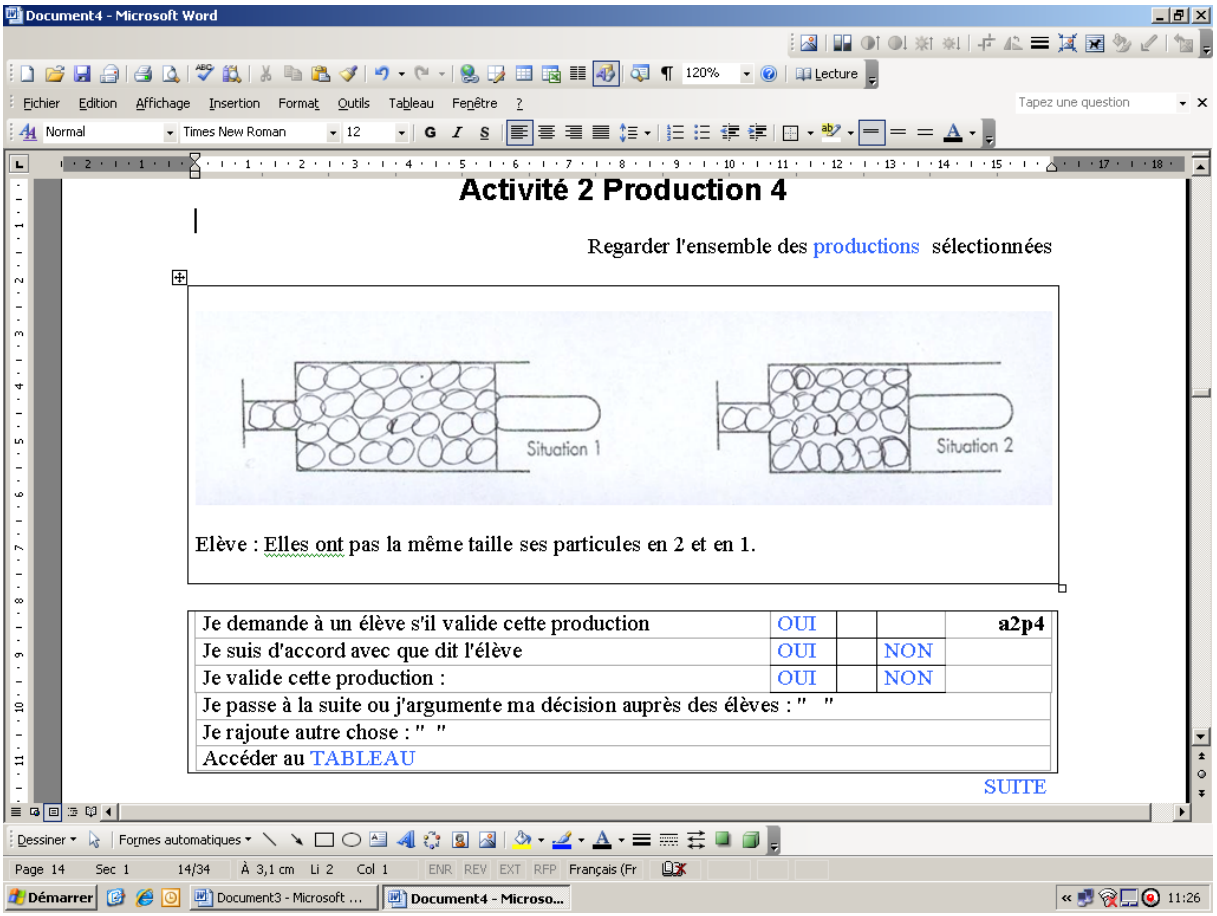
Cette réponse est exacte sur le plan scientifique. En revanche, toute la difficulté pour les enseignants consiste à justifier la validation de cette production. Autrement dit, qu’est-ce qui permet de dire que la nature du gaz n’a pas changé ? En fait, à ce niveau d’enseignement, il n’y a pas véritablement de preuve que la nature du gaz n’a pas changé au cours de la compression. Seuls deux arguments peuvent être ici avancés, arguments qui font penser que la nature du gaz n’a pas changé : 1) La couleur du gaz n’ayant pas changé (il est roux avant et après compression), il s’agit très probablement du même gaz ; 2) La transformation est réversible, or les réactions chimiques sont majoritairement irréversibles. Cette transformation de matière n’est probablement pas une réaction chimique et on peut donc supposer la conservation de la substance. Très peu d’enseignants pensent à ce type d’arguments lorsqu’ils réalisent la simulation.

EXEMPLE3



Cette production peut être considérée comme fausse sur le plan scientifique car les particules ne sont pas alignées verticalement dans la seringue. Même si statistiquement il existe une infiniment faible probabilité que cette figure apparaisse, les particules ont une position aléatoire due à l'agitation particulaire. Bien que fausse sur le plan scientifique cette production est totalement cohérente avec les phénomènes et le modèle actuellement connu des élèves. Les enseignants doivent donc ici choisir deux possibilités : 1) refuser cette production car elle est en contradiction avec le savoir savant, 2) accepter cette production car elle est valide eu égard à l'état d'avancement du savoir de la classe. Dans la second cas, l'enseignant pourra revenir ultérieurement sur cette production lorsque l'agitation particulaire aura été introduite et institutionnalisée. Les enseignants peuvent également se demander pourquoi les élèves alignent ces particules. Il est possible d'expliquer ce type de productions de la façon suivante : Les élèves savent que les particules ont une masse, mais ils ne possèdent pas encore la notion d'agitation particulaire. Normalement les particules devraient se trouver au fond de la seringue, or ils ont vu, lors de l'expérience, que le gaz se répartissait de manière uniforme dans la seringue. En empilant les particules, les élèves peuvent concilier ces deux aspects contradictoires. Là encore, l'introduction ultérieure de l'agitation particulaire permettra de lever cette contradiction.

EXEMPLE4



Activité 2 Production 4

Regarder l'ensemble des productions sélectionnées

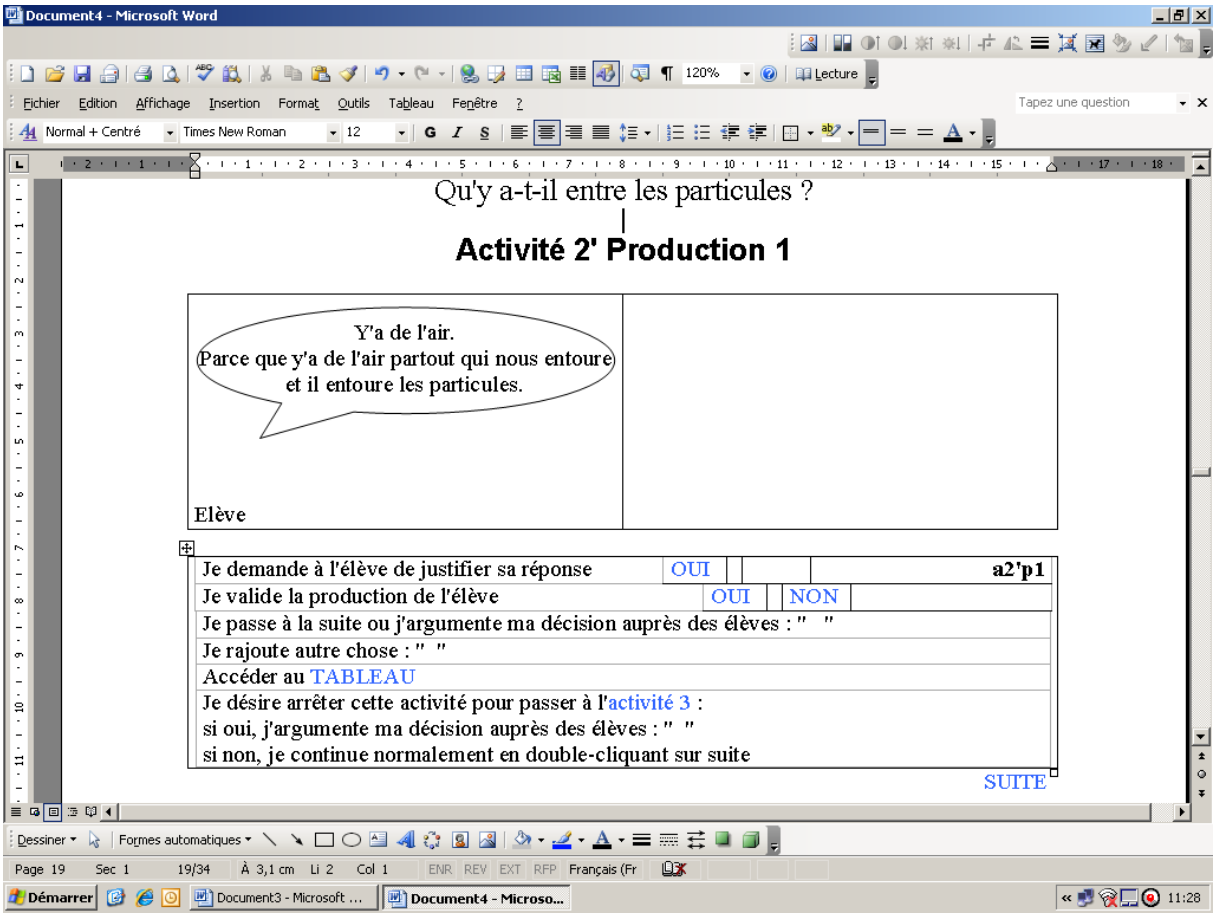
Elève : Elles ont pas la même taille ses particules en 2 et en 1.

Je demande à un élève s'il valide cette production	OUI			a2p4
Je suis d'accord avec que dit l'élève	OUI		NON	
Je valide cette production :	OUI		NON	
Je passe à la suite ou j'argumente ma décision auprès des élèves : " "				
Je rajoute autre chose : " "				
Accéder au TABLEAU				

SUITE

Malgré l'introduction, dans le modèle, de la propriété d'indéformabilité des particules, un très grand nombre d'élèves réduisent la taille ou le nombre de particules entre la situation 1 et la sitation2. Pour invalider ce type de production, l'enseignant peut dénoncer le non respect d'une des propositions du modèle (indéformabilité des particules). Les enseignants peuvent également chercher à comprendre pourquoi les élèves ne respectent pas cette propriété. Beaucoup d'élèves pensent que la nature a horreur du vide et que la matière ne peut pas être constituée de vide (puisque ces deux concepts sont antagonistes). Ils ne peuvent pas laisser de vide entre les particules et doivent donc les comprimer (et/ou en supprimer) dans la seconde représentation. De plus, un grand nombre d'élèves applique les propriétés macroscopiques de la matière au monde microscopique (les gaz est comprimé, alors les particules sont comprimées…). L'enseignant peut donc choisir d'aborder ces interprétations au cours de la séance. L'idée est de remettre en cause explicitement les conceptions erronées à l'origine des productions des élèves. Cette remise en cause ainsi que la construction de nouvelles conceptions constitue l'enjeu principal de cette séance.

EXEMPLE5



Cette production est fausse sur le plan scientifique car le protocole de remplissage de la seringue ne permet pas à l'air de rentrer. De plus, si de l'air s'était immiscé entre les particules de gaz, il n'aurait pas été possible de comprimer le gaz sans perdre de matière, puisque les particules sont indéformables. Tels sont les arguments que l'enseignant peut utiliser pour invalider cette production. Là encore, on peut interpréter cette production comme étant le résultat d'une confusion micro-macro. En effet, l'idée selon laquelle l'air est partout autour de nous est valable à l'échelle macroscopique, mais ne l'est plus à l'échelle microscopique. Enfin, pour limiter ce type de confusion, l'enseignant peut privilégier une formulation du type « le gaz se répartit de manière uniforme dans l'espace qu'il occupe » ce qui éviterait de renforcer chez les élèves l'idée que le vide n'existe pas puisque l'air occupe tout l'espace disponible. Cette formulation accepte la présence de vide.

Ces quelques exemples illustrent quelques unes des connaissances et compétences professionnelles qui sont en jeux dans cette activité de simulation.

II.2. La simulation croisée pour accéder à l'activité cognitive des enseignants

Les recherches sur l'enseignement s'intéressent principalement aux pratiques enseignantes et à l'activité cognitive des enseignants au cours de ces pratiques. Les premières tentent de rendre intelligible uniquement la partie observable de l'activité enseignante (e.g. Flanders, 1970 ;

Postic, 1977 ; Dumas-Carré et Weil-Barais, 1998 ; Morge, 2001a) alors que les secondes tentent de modéliser la genèse de ces pratiques sur le plan du fonctionnement cognitif de l'enseignant (e.g. Pastré, 2002 ; Goigoux, 2002 ; Ria et Chaliès, 2003 ; Morge 2003a). Il s'agit de deux objets différents mais complémentaires. En effet, une meilleure connaissance des pratiques permet de mieux poser la question de leur genèse, et, inversement, la modélisation de l'activité cognitive de l'enseignant permet de mieux comprendre les pratiques. Ces deux axes de recherches alimentent la réflexion sur les contenus et les méthodes de formation des enseignants.

II.2.1. La simulation croisée : apports et limite d'une nouvelle méthode d'accès à l'activité cognitive des enseignants

Il existe une grande variété de méthodes utilisées pour recueillir les données afin de modéliser l'activité d'enseignement. Il est possible de les distinguer selon qu'elles visent à modéliser l'activité cognitive de l'enseignant et/ou sa pratique. Des méthodes telles que l'utilisation de grilles d'observations (e.g. Flanders, 1970 ; Postic, 1977) ou l'enregistrement audio ou vidéo de séances (e.g. Dumas-Carré et Weil-Barais, 1998 ; Morge, 2001a) sont utilisés pour rendre compte de la pratique de l'enseignant. D'autres méthodes telles que le questionnaire, l'entretien d'explicitation, les entretiens d'autoconfrontation, l'instruction au sosie (pour des synthèses voir Kagan (1990) et Marcel et al. (2002)) visent, quant à elles, l'accès aux processus de détermination de l'action de l'enseignant.

Sur un plan méthodologique, il n'est pas simple de déterminer si une connaissance ou un processus de détermination de l'action est effectivement mobilisé par un enseignant en situation d'enseignement. Cette absence de méthodologie fiable peut avoir pour conséquence l'émergence de désaccords importants sur ce sujet entre chercheurs. Par exemple, dans le domaine de l'enseignant des sciences, certains auteurs pensent que les conceptions épistémologiques dont disposent les enseignants ont un rôle prépondérant dans les processus de détermination de l'action (Brickhouse 1990, Briscoe 1991, Gallhager 1991, Désautels *et al.* 1993, Richardson 1996, Keys and Bryan 2001), alors que d'autre pensent qu'elles ont un effet négligeable (Lederman and Zeidler 1987, Duschl and Wright 1989, Lederman 1999). Sur le plan de la formation, cette difficulté à connaître les connaissances utilisées en situation d'ensiegnement, a des répercussions sur des choix de dispositifs de formation. Certains privilégient l'évolution des conceptions épistémologiques des enseignants (Désautels & al. 1993, Rosmorduc, 1995) qui aurait ensuite un effet sur les pratiques, alors que d'autres mettent l'accent sur l'évolution des pratiques (Papadimitriou & al. 1996, Saint-georges 1996, Boilevin 2000), les conceptions d'ordre épistémologique servant à justifier le changement de pratiques.

Les méthodes d'accès à l'activité cognitive des enseignants précédemment citées le (questionnaire, l'entretien d'explicitation, les entretiens d'autoconfrontation, l'instruction au sosie) présentent plusieurs limites dont la principale est qu'elles placent l'enseignant en situation d'analyser une pratique et non pas de l'effectuer. Nous ne négligeons pas ici les précautions méthodologiques prises par les chercheurs pour faire revivre aux acteurs la situation dans laquelle ils étaient, afin de les replacer au plus proche de la situation vécue. Malgré ces précautions méthodologiques, il semble difficile de séparer dans les données recueillies ce qui relève de la reconstruction de la pensée sur l'action et ce qui relève de la pensée dans l'action. Crahay (2002) explique à ce propos que, « autant l'on peut supposer que dans l'interaction avec l'interviewer, l'enseignant est poussé à développer un point de vue

cohérent, autant l'on peut soupçonner qu'en situation d'enseignement, la même personne est contrainte d'adopter un système de pensée simplifiée. » Quand il analyse l'action, l'enseignant est en situation de «réflexion sur l'action» alors que pendant son enseignement, il est en situation de «réflexion dans l'action» (Schön, 1983). En effet, « "la réflexion dans l'action" est un processus d'auto-régulation pendant que l'on échange avec un interlocuteur et la "réflexion sur l'action" se fait dans un retour analytique sur une interaction passée » (Saint-Arnoud 2001 : 19). Les données recueillies dans le cadre d'autoconfrontations ou d'instructions au sosie, montrent donc comment l'enseignant analyse ou revit a posteriori une pratique, les justifications qu'il donne de celle-ci. Cette différence de situation pose des questions quant à la nature des données recueillies. Les raisonnements effectués en situation d'analyse sont-ils identiques à ceux réalisés en situation d'enseignement ou sont-ils reconstruits ? Les connaissances mobilisées en situation d'enseignement et en situation d'analyse sont-elles identiques ? La deuxième limite est liée à la présence du chercheur qui intervient directement sur l'orientation de l'entretien. Cette présence ne permet probablement pas aux enseignants de «nommer leurs intentions "non orthodoxes"» (Saint-Arnoud, 2001 : 21). Elles mettent l'accent sur la pensée réflexive au détriment de la pensée anticipatrice (Conway, 2001). Notre propos n'est pas ici de dénigrer la méthode d'auto-confrontation qui nous paraît excessivement fructueuse, nous voulons juste attirer l'attention sur le fait que cette méthode a des limites et que les résultats obtenus par cette méthode doivent être corroborés par des résultats obtenus à l'aide d'autres méthodes qui ne replaceront pas l'enseignant dans une situation de revivre une action déjà vécue. C'est la similitude des résultats obtenus par différentes méthodes qui légitimera la validité de ces résultats.

Afin de recueillir des données sur l'activité cognitive d'une personne en situation de travail, il est donc préférable que cette personne soit placée dans une situation proche de son activité habituelle de travail. Ainsi, Shön (1983) voulant accéder à la pensée d'un architecte-designer en situation de travail, enregistre les discussions au cours desquelles le formateur-architecte élabore des plans tout en explicitant à haute voix à une étudiante ce qu'il est en train de faire. Il amène ainsi l'étudiante "à la réflexion en cours d'action pendant qu'ils étudient le design" (Schön, 1983 : 114). De la même façon, Vadcard (2005), pour accéder à l'activité cognitive des chirurgiens en situation d'opération, enregistre une discussion entre un chirurgien expériementé et un étudiant au cours d'une opération. Or, cette méthode n'est pas envisageable en situation d'enseignement. En effet, il n'est pas possible d'imaginer qu'en situation de classe, un enseignant expert explicite à un enseignat débutant ce qu'ils vont faire avant de le faire, la façon dont ils vont le faire et les raisons pour lesquelles ils vont le faire. La nature interactionnelle de la situation d'enseignement et sa caractéristique d'immédiateté (Doyle, 1986) interdisent l'utilisation de cette méthode. Ce problème méthodologique d'accès à l'activité cognitive du professionnel en situation se pose de la même manière pour toute forme de travail qui consiste à agir pour et avec un autre (Mayen, 2007).

Ne pouvant accéder par la précédente méthode à l'activité cognitive des enseignants en situation d'enseignement, nous avons développé l'idée d'accéder à l'activité cognitive des enseignants en situation d'enseignement simulé en utilisant le logiciel de simulation de gestion de séance. Pour recueillir les données sur cette activité cognitive, les enseignants sont placés par deux face à un ordinateur. Cette situation les conduit à exprimer à haute voix le déroulement de leur pensée en situation de simulation. Les discussions de chaque couple d'enseignants sont enregistrées à l'aide d'un magnétophone. Ces enregistrements constituent les données brutes qui sont ensuite transcrites et analysées.

La méthode de la simulation croisée que nous avons développée réduit les inconvénients des méthodes précédemment citées en plaçant l'enseignant en situation d'action (même s'il s'agit d'une action simulée) et non plus en situation d'analyse de l'action. L'enseignant doit décider d'intervenir ou non et doit déterminer la façon dont il va le faire. Tout reste à décider. La mise en condition proche d'une situation d'activité d'enseignement est le principal apport de cette méthode. Cette méthode est également simple à mettre en oeuvre puisqu'elle ne nécessite pas la réalisation ni l'enregistrement préalables d'une séance d'enseignement. De surcroît, le chercheur n'est plus physiquement présent à côté des enseignants même si les discussions sont enregistrées à l'aide d'un magnétophone.

La méthode de la simulation croisée présente également des limites. La situation de simulation possède un caractère fictif qui éloigne l'enseignant de la situation réelle. Le logiciel limite cet éloignement de la réalité en proposant des situations réelles rencontrées par des enseignants. Le logiciel déforme également la réalité en ne retenant que certains aspects de la gestion d'une séance, plus particulièrement ceux concernant la gestion des productions et des justifications des élèves. De plus, la situation de débat à deux dans laquelle sont placés les enseignants diffère d'une situation d'enseignement et les temporalités sont également différentes. Notons toutefois que ces deux dernières critiques valent également pour d'autres méthodologies s'appuyant sur le discours différé de l'enseignant.

II.2.2. Des recherches sur le fonctionnement cognitif de l'enseignant

Les recherches concernant le fonctionnement cognitif de l'enseignant permettent de repérer les différents éléments qui contribuent à la réalisation de l'action. Parmi les différents éléments constitutifs des processus de détermination de l'action, on peut citer : les connaissances mobilisées par les enseignants (connaissances disciplinaires, pédagogiques, didactiques, expérientielles, personnelles…) (Shulman, 1986 ; Paquay 1994 ; Develay 1994 ; Durand, 1996 ; Gauthier, 1997, Tardif et Lessard, 1999 ; Morge, 2003a) ; ses intentions (Goigoux, 2002) ; la prise d'information (Pastré, 2002) ; ses émotions (Ria et Chaliès, 2003).

Ainsi, les recherches sur l'activité cognitive des enseignants portent principalement sur les connaissances qu'ils mobilisent en situation d'enseignement mais également sur des éléments du processus cognitif (e.g. la prise d'information préoccupation des enseignants) ou sur des facteurs qui influencent les processus cognitifs (émotions). Les recherches peuvent également se situer plutôt dans une approche descriptive visant à caractériser l'activité cognitive ou plutôt dans une perspective développementale si elles s'intéressent aux facteurs qui agissent sur le développement de cette activité cognitive. La méthode de la simulation croisée permet a priori d'étudier ces différentes dimensions de l'activité cognitive des enseignants. Par exemple, nous avons pu repérer par cette méthode l'existence d'un processus de contrôle de l'activité cognitive des enseignants, le processus de troncature parfois nécessaire au maintien de l'interaction, l'acquisition et la mobilisation de connaissances professionnelles didactiques locales par l'expérience, la mobilisation des connaissances relatives aux programmes… Ainsi, nos recherches contribuent à une meilleure connaissance de cette activité cognitive, soit par l'obtention de nouveaux résultats soit par la confirmation et le renforcement de résultats plus anciens obtenus par d'autres méthodes.

Les enregistrements des discussions entre enseignants contribuent à la modélisation de l'activité cognitive des enseignants en situation d'enseignement simulé. Nous présentons ici

succinctement les premiers résultats que nous avons obtenus par cette méthode avant des les développer par la suite.

Les premiers résultats obtenus par cette méthode montrent que l'activité cognitive de préparation de l'intervention est soumise à un contrôle qui autorise ou interdit certaines actions (Morge, 2004). Ce contrôle repose sur des règles que l'enseignant se donne. Parmi ces règles on peut trouver : l'enseignant ne doit pas laisser passer ni enseigner des énoncés contradictoires avec le savoir savant qu'il possède ; l'enseignant doit respecter le programme ; l'enseignant ne doit pas proposer de tâches qu'il n'est pas capable d'effectuer ; l'enseignant doit être rigoureux dans ses raisonnements scientifiques. La diversité des règles que l'enseignant se donne et l'ordre de priorité de ces règles sont des facteurs qui déterminent son intervention et permettent d'expliquer la diversité des manières de faire dans un même contexte.

L'analyse des transcriptions révèle aussi une procédure de troncature (Morge, 2005a) des productions d'élèves utilisée par les enseignants lorsqu'ils ne parviennent pas à leur attribuer un sens. En tronquant certaines productions les enseignants redonnent un sens à chacun des éléments issus de la troncature. La somme des significations attribuées à chaque élément de la production est différente de la signification qu'il est possible d'attribuer à la production complète. Bien qu'elle dénature le sens de la production, cette troncature permet à l'enseignant de continuer à interagir avec l'élève.

L'analyse des discussions montre que les enseignants mobilisent dans leur raisonements les programmes. La représentation des programmes mobilisée par les enseignants est simplifiée et construite en fonction de leur seul point de vue (selon les contenus et notions qu'ils ont déjà abordés ou non avec les élèves). Cette représentation simplifiée et unilatérale est utilisée par les enseignants pour préparer leurs interventions et / ou pour expliquer ou prévoir les productions des élèves (Morge, 2006a).

Cette méthode de la simulation croisée a permis également de montrer que les enseignants utilisent en situation de simulation des connaissances professionnelles locales acquises par l'expérience au cours d'une première réalisation de séance (Morge, soumis). Ils s'appuient sur ce qu'ils ont appris au cours de la première réalisation « in situ » de la séance pour, dans un second temps, gérer la séance simulée. L'analyse de la transcription de la séquence réellement vécue montre une très grande similitude entre les souvenirs qu'il mobilise du déroulement et le déroulement effectif de la séance vécue avec les élèves.

Ces différents résultats vont être présentés de façon plus détaillées dans les chapitres suivants.

II.2.3. L'opération de contrôle dans l'activité cognitive des enseignants

Face à l'ordinateur, en situation d'enseignement simulé, les couples d'enseignants échangent entre eux afin de déterminer l'action à mener. Parmi la diversité des échanges, certaines de leurs interventions se démarquent des autres par le fait qu'elles mentionnent l'impossibilité ou l'obligation de réaliser certaines actions. Ce type d'intervention nous a amené à formuler l'hypothèse d'une opération de contrôle qui s'exerce durant la préparation de l'action

enseignante[22]. Un aller-retour permanent entre les données brutes constituées des discussions entre enseignants et l'hypothèse d'une modalité de contrôle nous ont permis de préciser les caractéristiques de cette modalité de contrôle. L'hypothèse selon laquelle il existe un système de règles qui contrôle la pensée et l'action des enseignants, n'est donc pas une hypothèse a priori, mais elle s'est construite progressivement à la lecture des transcriptions des discussions entre enseignants en situation d'enseignement simulé. Notons que le terme de contrôle est pris ici dans le sens d'une activité «de surveillance de l'exécution» (Richard, 1995 : 273).

Ces règles ne disent pas à l'enseignant l'intervention qu'il peut effectuer. Elles autorisent ou interdisent certaines actions. En ce sens, le contrôle de l'activité de l'enseignant n'est pas une procédure d'action. Cette opération de contrôle s'effectue sur la base de règles. Le non-respect de ces règles peut placer l'enseignant dans une situation inconfortable. Il semblerait qu'il existe une hiérarchie dans ces règles. Cette hiérarchie se dévoile lorsque des conflits de règles apparaissent et obligent l'enseignant à privilégier l'une ou l'autre de ces règles. L'enseignant se donne à lui-même des règles et les hiérarchise. Certaines de ces règles, telle que celle qui consiste à ne pas laisser passer ni enseigner des énoncés contradictoires avec le savoir scientifique de référence dont dispose l'enseignant, sont partagées par tous les enseignants que nous avons étudiés. Si cette règle s'avérait partagée par la communauté des enseignants, elle serait alors constitutive du genre professionnel de l'enseignement (Clot et al., 2001). En revanche, cette règle n'occupe pas pour tous les enseignants la même place dans la hiérarchie des règles.

Les exemples qui suivent permettent d'illustrer nos propos. Les transcriptions de séance sont tirées d'enregistrements de discussions entre deux enseignants simulant la gestion de la séance portant sur le modèle particulaire.

La discussion entre enseignants, présentée ci-dessous, se déroule lors de la simulation de la gestion de la première tâche de la séance sur le thème du modèle articulaire. Au cours de cette tâche, les élèves doivent noter ce qui a changé et ce qui n'a pas changé entre la situation de compression du gaz dans la seringue et la situation de départ dans laquelle le gaz n'est pas comprimé. Un élève virtuel répond que «la quantité a changé» et justifie sa réponse en précisant : «la quantité de volume, elle a bien changé.»

Pendant l'expérience de compression, la quantité de gaz n'a pas pu changer puisque la seringue est bouchée et qu'aucun gaz n'a pu entrer ou sortir. De son côté, l'élève justifie sa réponse en affirmant que la quantité de volume a bien changé. Cette justification semble montrer que l'élève ne fait pas clairement la différence entre quantité et volume. La notion de quantité renvoie à la quantité de matière présente dans la seringue alors que la notion de volume renvoie à l'espace occupé par cette matière. Ces deux notions étant proportionnelles dans un très grand nombre de situations, elles sont difficilement dissociables chez les jeunes élèves.

Au cours de la discussion qui se déroule pendant la simulation, les enseignants repèrent que cette réponse n'est pas acceptable (E1I2) car ils savent que la quantité n'a pas changé, mais ils ne savent pas comment interpréter cette production (E1I1, 2, 3, 4, 5). Ce qui apparaît clairement dans la discussion c'est que, si les enseignants ne savent pas comment intervenir,

[22] Il faut différencier l'opération de contrôle (qui est un élément du processus de détermination de l'action) et les modalités de contrôle des productions d'élèves (qui est un élément constitutif de l'interaction maître-élèves) dont nous avons parlé jusqu'à présent. La première détermine en partie la seconde. La première est observable alors que la seconde est cachée.

ils savent qu'ils doivent intervenir : «Ah ben là on peut pas laisser ça comme ça, c'est sûr.» (E1I6 et 7). Cet extrait illustre selon nous l'application de la règle selon laquelle l'enseignant ne peut pas laisser passer d'énoncés contradictoires avec le savoir scientifique de référence qu'il possède. Cet extrait montre également que ces règles ne disent pas à l'enseignant comment faire pour intervenir. En effet, les enseignants ne savent toujours pas comment intervenir après avoir explicité la nécessité d'intervenir. Ne sachant pas comment interpréter la production de l'élève, les enseignants vont finalement la refuser en donnant à l'élève la bonne réponse «La quantité de matière ne change pas, en revanche le volume varie. Attention au vocabulaire.» (E1I13)

E1I1	L'enseignant ne comprend rien, il demande de justifier.
E1I2	La quantité a changé. Il faut que je lui demande de justifier sa réponse parce que là je comprends rien. «La quantité a changé, la quantité de volume elle a bien changé». Alors je valide pas.
E1I3	Mais ce qu'il faut dire… Vas-y.
E1I4	Ce qu'il faut leur dire c'est que la quantité de matière elle a pas changé on l'a déjà vu avant avec la masse, par exemple, t'as vu la masse, t'as vu la quantité de matière. Par contre le volume, c'est une unité de mesure donc euh, enfin, euh, le volume c'est une grandeur physique.
E1I5	Ce que tu fais, tu révises et puis après, on en parle.
E1I6	Non mais franchement tu vas bien leur dire quelque chose quand même, hein.
E1I7	Ah ben là on peut pas laisser ça comme ça, c'est sûr.
E1I8	La quantité de volume, elle a bien changé.
E1I9	Non c'est la quantité, quantité, quantité de matière n'a pas changé et le volume il a changé.
E1I10	Quand on parle de quantité, on parle de…
E1I11	Qu'est-ce que tu veux mettre là ?
E1I12	Ça sera la surprise, laisse-moi écrire.
E1I13	(Les enseignants lisent à haute voix ce qu'ils écrivent sur l'ordinateur en s'adressant à l'élève virtuel qui a effectué cette production.) «La quantité de matière ne change pas, en revanche le volume varie. Attention au vocabulaire.».

L'extrait suivant permet d'illustrer un conflit de règles. Dans le cadre de la première tâche de la séance qui consiste à observer ce qui a changé et ce qui n'a pas changé pour la seringue et pour le gaz, le logiciel présente aux enseignants la réponse d'élève suivante : «Le gaz, la nature du gaz n'a pas changé». Cette réponse est tout à fait en accord avec le savoir scientifique de référence puisqu'au cours de cette compression, les particules restent identiques. En revanche, il est impossible d'en apporter la preuve à ce niveau d'enseignement. Seuls quelques arguments peuvent laisser penser que la nature du gaz n'a pas changé (voir partie 2.1 Activité 1 production 12).

Mais les deux enseignants qui effectuent la simulation dont est tiré l'extrait suivant ne pensent pas à ces arguments. Cette production étant en accord avec le savoir savant dont ils disposent, ils devraient l'accepter s'ils veulent respecter la règle selon laquelle «l'enseignant ne peut pas laisser passer d'énoncés contradictoires avec le savoir scientifique de référence qu'il possède ». Mais les enseignants veulent adopter une posture scientifique en adossant cette affirmation à un raisonnement scientifique rigoureux. Nous supposons donc l'existence d'une autre règle : l'enseignant doit être rigoureux dans ses raisonnements scientifiques. Cette règle va pousser un enseignant à vouloir un instant refuser cette production qui est pourtant en accord avec les connaissances dont il dispose (E3I1 à 6). Pour tenter de concilier ces deux

règles - ne pas refuser une réponse juste sur le plan scientifique et avoir un raisonnement scientifique rigoureux -, les enseignants pensent dire à l'élève qu'ils acceptent sa réponse, mais que rien ne le prouve et que cela reste à vérifier (E3I15 à 19).

...
E3I1 Je valide la production de l'élève ? J'ai pas envie puisqu'on sait pas.
E3I2 T'as pas envie.
E3I3 J'ai pas envie parce.
E3I4 T'as pas envie mais qu'est-ce que tu vas lui dire ?
E3I5 Qu'est-ce qui le prouve ? On en sait rien.
E3I6 Pourtant lui c'est pas faux. Autant lui c'est pas faux et on valide pas...
...
E3I11 Alors toi tu mettrais oui, et tu mettrais quoi après
E3I12 J'en sais rien, c'est ça le problème.
E3I13 Oui mais après c'est pareil, on va dire d'accord mais, si on lui demande d'argumenter, on lui demande en somme de ... Pourquoi il a pas changé de nature, qu'est qui lui montre ?
E3I14 Ben si il te dit le gaz, la nature du gaz n'a pas changé, oui, et qu'on lui demande de préciser, toute façon il va nous dire ben parce que on a bouché la seringue et il a pas pu partir et . Rien ne prouve effectivement qu'il n'y a pas eu réaction.
E3I15 Bon et si on met «rien nous le prouve».
E3I16 Oui, marque-le. Et on met quoi ? Oui, non ?...
E3I17 Si on met oui, on met oui peut-être mais rien ne nous le prouve. Ça reste à vérifier.
E3I18 Ça reste à vérifier, et on rajoute tout ça…

Ces premiers résultats nous amènent vers une modélisation de l'activité cognitive de l'enseignant en situation d'enseignement comme étant une activité intrinsèquement contrainte. Cela signifie que les règles dont dispose chaque enseignant contraignent et cadrent ses pratiques. Elles autorisent ou interdisent certaines actions. Cette modélisation s'écarte de plusieurs conceptions de l'activité enseignante. En effet, si l'on considère que l'activité d'enseignement est contrainte, l'enseignant ne dispose pas d'un large éventail d'interventions acceptables pour lui, il n'est donc pas modélisé comme un décideur rationnel qui fait des choix délibérés entre des possibles dont il estime le rapport coût / efficacité (Shavelson,1976, cité par Durand, 1996 : 22). C'est plutôt l'absence de choix entre des possibles viables qui caractériserait l'activité cognitive des enseignants.

II.2.4. Les connaissances acquises par l'enseignant au cours d'une première expérience de gestion de la séance du modèle particulaire

Parmi les connaissances mobilisées par les ensiegnats en situation d'enseignement, on trouve des connaissances acquises par l'expérience (e.g. Tardif et Lessard, 1999). La méthode de la simulation croisée a permi de montrer a) que les enseignants acquièrent des connaissances professionnelles au cours de la réalisation d'une séance b) qu'ils utilisent ces connaissances pour déterminer leur action au cours d'une seconde réalisation de cette même séance et c) que les connaissances d'origine expérientielle mobilisées deux mois et demi après la réalisation de la séance correspondent parfaitement à l'expérience vécue (Morge, soumis).

Pour obtenir ces résultats, le méthodologie employée est la suivante. Dans le cadre d'un module de formation, 11 enseignants-stagiaires PLC2 physique-chimie sont invités à réaliser et enregistrer la séance sur le modèle particulaire une fois dans l'année scolaire à la période de leur choix. Le module de formation "analyse de pratiques" se compose de trois séances de formation (Partie 3.2.2).

Parmi les onze enseignants, deux ont réalisé la séance sur le modèle particulaire avant de simuler sa gestion sur ordinateur dans le cadre de leur formation. Les deux enseignants qui avaient déjà réalisé la séance, que nous appellerons les enseignants expérimentés, ont effectué la simulation avec un collègue qui n'avait pas réalisé précédemment cette séance. Les deux enseignants participant à la simulation et n'ayant pas précédemment réalisé la séance avec leurs élèves sont appelés les enseignants inexpérimentés. Leurs discussions au cours de la simulation sont enregistrées. L'analyse de ces transcriptions montre que les enseignants expérimentés font appel à des connaissances expérientielles qu'ils ont acquises au cours de la première réalisation de la séance avec leurs élèves. En outre, l'analyse de l'enregistrement de la séance qu'ils ont effectuée avec leurs élèves permet de comparer l'expérience réellement vécue (deux mois et demi avant la simulation) à l'expérience qu'ils disent avoir vécue et sur laquelle il se basent pour définir leur intervention au cours de la simulation.

Au cours de la simulation, les enseignants se rapellent 1) des productions d'élèves apparues ou non apparues, 2) de leur capacité ou incapacité à repérer les raisonnements d'élèves à l'origine de leurs productions, 3) des arguments, utilisés ou non, dans les phases de conclusion, 4) de la façon dont ils ont formulé les productions qu'ils ont retenues, 5) des reformulations des consignes. L'ensemble de ces connaissances professionnelles d'origine expérentielle sont mobilisées par les enseignants au cours de la simulation pour préparer leur intervention. Selon la typologie des connaissances professionnelles des enseignnats de Schulman (1986), ces connaisances professionnelles sont des Pedagogical Content Knowledge, puisqu'elles dépendent des contenus d'enseignement. Puisque ces connaissances sont également des connaissances dépendantes de la séance d'enseignement, nous qualifions ces connaissances de Local Pédagogical Content Knowledge(cf. § II.4.4). Les résultats présentés ci-dessous, montrent donc que les enseignants contruisent des LPCK au cours de la réalisation d'une première séquences d'enseignement et qu'ils réutilises ces LPCK pour préparer leur intervention au cours d'une seconde réalisation de cette même séance. Ces résultats contribuent à la recherche sur le dévelopement des PCK. Ces résultats indiquent également que ces connaissances sont encore disponibles chez les enseignants deux mois et demi après leur acquisition[23].

II.2.4.1. Le souvenir des productions apparues ou non apparues

L'analyse des discussion entre enseignants au cours de la simulation, montre que les enseignants expérimentés mobilisent le souvenir d'épisodes au cours desquels certaines productions d'élèves les ont gênés et/ou mis en difficulté. Les enseignants ont été mis en difficulté principalement pour deux raisons. La première est liée à la difficulté d'apparition de certaines réponses nécessaires à la suite du déroulement de la séance. Les enseignants peuvent également être mis en difficulté s'ils n'arrivent pas à interpréter une production et ne savent

[23] *Une des questions de recherche que permettrait d'aborder le logiciel de simulation porte sur la « durée de vie » des LPCK élaborées au cours d'une première réalisation de séance. La recherche consisterait donc à suivre le même protocole que celui utilisé ici, et de faire varier la durée qui sépare la date de réalisation de la première séance de la date de la simulation.*

pas comment la gérer. Par exemple, l'enseignante voit à nouveau apparaître une production présentant un alignement de particules. N'ayant pas su prendre en compte cette production au cours de la séance initiale, l'enseignante se retrouve à nouveau démunie au cours de la simulation.

Pour illustrer à la fois le type de données recueillies, la méthodologie utilisée et les résultats obtenus, prenons comme exemple l'extrait ci-dessous. Cet extrait est tiré de la transcription de la discussion entre deux enseignantes au cours de la simulation. L'enseignante expérimenté se rappelle qu'un élève avait donné une réponse proche de « la quantité n'a pas changé ». La transcription de l'enregistrement de la séance qui s'est déroulée deux mois et demi avant la simulation confirme l'apparition du terme contenance, considéré par l'enseignante comme un terme synomyme de quantité.

Extrait n°2, simulation a (E = expérimenté ; I = inexpérimenté ; gras = rappel séance initiale)

2I1 : Ils te l'ont dit ça la quantité ou pas ?
2E2 : **Ben y'en a un qui est très fort qui me l'a sorti.**
2I3 : Ah c'est bien ça.
2E4 : **Ah je sais pas s'il a dit quantité, il a pas dit quantité, il a dit**
2I5 : Peut être le nombre de ..
2E6 : **Non, il m'a sorti un truc et je lui ai dit oui, ça on peut dire quantité, mais il m'a pas dit vraiment quantité.**

Séance initiale, extrait 2', annexe 2 : La transcription de la séance réelle montre qu'un élève a répondu que la contenance avait changé. L'enseignante avait interprété ce terme de contenance comme un synonyme de quantité. Elle a ensuite demandé à un autre élève de donner le terme "quantité", réponse qu'elle avait vue précédemment en passant dans les rangs.
Extrait 2' : Transcription de la séance initiale renvoyant à l'extrait 2 de la simulation

Professeur en passant dans les rangs : - Oui, je vois qu'on a écrit là, oui, la couleur, la pression, la quantité de gaz, d'accord. Ah, on a la même chose écrite à droite.
... Élève : - La contenance de gaz est la même.
Professeur s'adressant à la classe : - Ah, la contenance de gaz reste la même, donc ça n'a pas changé. Alors j'avais vu. Antoine au fond qui avait écrit autre chose.
Élève : - Le volume.
Professeur : - Dans ce qui n'a pas changé.
Élève : - La quantité de gaz, la contenance, donc effectivement, la quantité de gaz.

II.2.4.2. Le souvenir des arguments, utilisés ou non, dans les phases de conclusion

Au cours de la simulation, les enseignants se rappellent de leur capacité à inférer les connaissances et raisonnements d'élèves à l'origine des productions des élèves. Dans l'extrait qui suit, extrait tiré de la discussion des enseignantes au cours de la simulation, les deux enseignantes doivent accepter ou refuser la production suivante "le gaz, la nature du gaz n'a pas changé". Cette production est apparue au cours de la première activité de la séance simulée. Elles acceptent cette réponse ("On va dire oui, on valide" 1I4) qui est correcte sur le plan scientifique. Elles cherchent ensuite la façon dont cette production peut se justifier "Comment est-ce qu'il peut supposer que le gaz est le même ?" (1E5). Elles ne trouvent pas d'argument pouvant montrer qu'il s'agit du même gaz. Elles trouvent même un argument qui pourrait laisser penser aux élèves qu'il ne s'agit pas du même gaz : "La couleur est pas tout à

fait la même" (1E5). Pour les enseignantes, la justification de cette production est donc impossible et peut les amener dans une impasse. " Là tu t'enfonces dans un truc que tu t'en sortiras plus jamais" (1I12). Pour ne pas s'engouffrer dans cette impasse, il faut donc éviter de justifier cette production. Cette dispense de justification est envisageable si aucun autre élève ne pense que la nature du gaz a changé. Les enseignantes doivent donc prévoir ce que les élèves peuvent penser à propos de la conservation de la nature du gaz. L'enseignante expérimentée cherche donc ce que les élèves avaient dit à propos de la nature du gaz : "Moi, ils m'ont dit le gaz est le même, ils me l'ont bien dit" (1E7). Les enseignantes peuvent donc supposer qu'aucun élève ne va penser que la nature du gaz a changé, ce qui leur permet de passer sous silence la justification périlleuse de cette production (1E14).

Extrait n°1, simulation a (E = expérimenté ; I = inexpérimenté ; gras = rappel séance initiale)

1E1 : Le gaz, la nature du gaz n'a pas changé.
1I2 : Ah ! La nature du gaz.
1E3 : Bon c'est pas mal.
1I4 : On va dire oui, on valide.
1E5 : Comment il le sait ça? Pourtant il voit bien que la couleur est pas tout à fait la même. Comment est-ce qu'il peut supposer que le gaz est le même? Ben, en fait, il peut pas, il pourrait croire qu'il change le gaz.
1I6 : Je sais pas qu'est-ce qu'ils t'ont dit toi ?
1E7 : **Moi, ils m'ont dit le gaz est le même, ils me l'ont bien dit.**
1I8 : Ben on pourrait leur demander pourquoi.
1E9 : Ben ils peuvent pas te dire pourquoi, c'est impossible.
1I10 : Ben oui.
1E11 : On peut pas leur demander pourquoi à mon avis.
1I12 : Là tu t'enfonces dans un truc que tu t'en sortiras plus jamais.
1I13 : Donc on le met dans le tableau ça c'est clair, mais on peut peut-être rajouter euh.
1E14 : Oui effectivement. Je crois que je rajouterai rien. Oui, d'accord, j'insiste pas parce que.
1I15 : La nature du gaz.

Séance initiale, extrait 1': La transcription de la séance initiale montre bien que plusieurs élèves sont d'accord avec cette idée et qu'aucun élève n'a effectivement formulé une demande de justification ou n'a même exprimé une idée contraire à celle-ci.

Extrait 1' : Transcription de la séance initiale renvoyant à l'extrait 1 de la simulation

Professeur en public : - Et est-ce qu'on a toujours du dioxyde d'azote à la fin ?
Plusieurs Élève : - Oui.
Professeur : - Donc finalement le gaz est toujours le même, c'est la couleur qui change, mais le gaz lui, il est toujours le même.

II.2.4.3. Le souvenir de leur capacité ou incapacité à repérer l'origine des productions d'élèves

Dans l'extrait suivant, les enseignantes sont en train de regarder les différentes productions d'élèves qui ont été sélectionnées et qu'elles devront ensuite gérer. Parmi les différentes production, l'enseignante repère une production qu'elle a vue apparaître lorsqu'elle a réalisé la séance avec ses élèves. Elle se souvient également qu'elle n'a pas compris l'origine de cette production. Elle ne comprend pas pourquoi les élèves alignent les particules (alignement vertical).

Extrait n°5, simulation a (E = expérimenté ; I = inexpérimenté ; gras = rappel séance initiale)

5E1 : **Ils alignent les particules. Ils le font tous ça et je sais pas pourquoi.**

Séance initiale, extrait 5', annexe 2 : Effectivement au moins un élève a aligné les particules pendant la séance initiale. L'enseignante n'est effectivement pas intervenue sur cet alignement et ne savait donc probablement pas l'expliquer.

Extrait 5' : Transcription de la séance initiale renvoyant à l'extrait 5 de la simulation

Élève : - On l'avait pas vu, mais ça doit pas être, les molécules de gaz doivent pas être alignées, c'est que dans les solides.
Professeur : - Ah alors, en particulier, il a représenté les molécules alignées. Est-ce que qu'on lui a dit de le faire, est-ce qu'on lui a dit que c'était une propriété
Élève : - C'est l'eau alignée.
Professeur : - On lui a pas dit non plus de pas le faire, bon mais est-ce qu'on respecte ici ?

II.2.4.4. Le souvenir de la formulation des traces écrites

Au cours de la simulation, les enseignantes veulent écrire au tableau "le gaz est plus tassé" (7I1), réponse qu'elles ont préalablement acceptée (extrait n°7). L'enseignante expérimentée se rappelle avoir retenu la formulation "état de tassement du gaz" (7E4). Cette connaissance offre la possibilité aux enseignantes de choisir entre deux possibilités ("le gaz est plus tassé" et "l'état de tassement du gaz"). Les deux solutions paraissant équivalentes, c'est la formulation trouvée pendant la simulation qui sera retenue.

Extrait n°7, simulation a (E = expérimenté ; I = inexpérimenté ; gras = rappel séance initiale)

7I1 : Bon, tableau euh "le gaz est plus tassé" on rajoute.
7E2 : Oui, oui, oui OK OK
7I3 : Donc ce qui a changé, "gaz plus tassé"
7E4 : **Moi j'avais mis "état de tassement du gaz", mais bon, c'est bon.**

Séance initiale, extrait 7', annexe 2 : C'est effectivement la formulation "état de tassement" que l'enseignante a écrite au tableau.

Extrait 7' : Transcription de la séance initiale renvoyant à l'extrait 7 de la simulation

Professeur parle à haute voix et écrit au tableau avant de débuter la deuxième tâche : - Alors la quantité de gaz, le quantité de gaz est la même au début et à la fin. Et l'état de tassement par contre, change.

II.2.4.5. Le souvenir des consignes, de leur formulation et de leurs effets

Avant de débuter la seconde tâche qui consiste à modéliser le gaz dans la seringue, les enseignants peuvent demander aux élèves de limiter le nombre de particules à représenter. Les enseignants ont ainsi la possibilité d'affiner la consigne. Pour choisir, en toute connaissance de cause la consigne à mobiliser, les enseignants doivent connaître l'effet de cette consigne sur les élèves. L'enseignant expérimenté n'avait donné aucune consigne quant au nombre de particules à réaliser (9E3). Cette absence de consigne avait amené certains élèves à en réaliser

dix, alors que d'autres n'en ont mis aucune (9E5). Cette connaissance professionnelle locale acquise par l'expérience permet de prévoir les effets d'une consigne sur les productions d'élèves et contribue au choix de cette consigne. La consigne peut être réutilisée à l'identique si aucun effet indésirable n'est connu, ou elle peut être modifiée dans le cas inverse. Ici, les enseignants modifieront la consigne initiale qui avait été utilisée par l'enseignant expérimenté. Ils proposent une fourchette du nombre de particules à représenter « Entre 10 et 20 particules »

Extrait n°9, simulation b (E = expérimenté ; I = inexpérimenté ; gras = rappel séance initiale)

9E1 : Je laisse les élèves représenter le nombre de particules.
9I2 : Ça c'est pas super.
9E3 : **Moi je les avais laissés.**
9I4 : Et ça a donné quoi ?
9E5 : **Ben y'en a, ils m'en ont mis dix et y'en a d'autres qui m'en ont mis aucune.**
9I6 : Faudrait peut-être en faire 10 quoi.
9E7 : Inaudible. Bof, tu les laisses et après au pire tu corriges quoi.
9I8 : Moi je leur donnerai un nombre quand même. Un nombre pour montrer que ...
9E9 : Non, J'argumente ma décision... Donc, ... Bon, entre combien et combien ?
9E10 : Ouais, entre 10 et 20.

Séance initiale, extrait 9', annexe 2 : La transcription de la séance montre que dans un premier temps l'enseignant ne fournit aux élèves aucune consigne concernant le nombre de particules. Puis en passant dans les rangs, il se rend compte que certains élèves ne font pas de particules ou très peu et il demande à ce que les élèves en fassent "un certain nombre". Cela correspond à ce qu'il relate pendant la simulation à ce détail près, qu'il ne dit pas avoir ensuite rectifié la consigne en demandant qu'ils en fassent un certain nombre.

Extrait 9' : Transcription de la séance initiale renvoyant à l'extrait 9 de la simulation

L'enseignant lit la consigne sans donner d'indication concernant le nombre, puis il passe dans les rangs de la classe : - Faîtes en quand même un certain nombre de particules, faîtes en pas trois quatre hein. Tu me fais rien là tu me dessines aucune particule là tu me fais du coloriage là.

Ces extraits montrent que les enseignants acquièrent au cours de la réalisation de séances des connaissances professionnelles locales (LPCK), connaissances relatives au contenu et à la séance qui aborde ce contenu. Lors d'une seconde réalisation de cette même séance les enseignants mobilisent ces LPCK acquises par l'expérience. La méthode de la simulation croisée a également permis de mettre à jour un phénomène de troncature.

II.2.5. La troncature des productions d'élèves

Certaines productions d'élèves sont difficilement compréhensibles pour les enseignants. Cette incompréhension n'est pas nécessairement liée à un problème de formulation, de syntaxe… mais, elle peut être liée à l'utilisation par l'élève de concepts qui ne sont pas encore totalement maîtrisés. Des productions telles que « la quantité de volume elle a bien changée » ; « Il peut pas y avoir de vide parce qu'on a appris que le gaz il occupe tout l'espace qu'on lui donne » ; « Il y a la même quantité de gaz que de particules » posent aux enseignants de sciences physiques des problèmes d'interprétation car les concepts sont associées de façon inhabituelle pour le scientifique. Pour continuer à interagir avec ses élèves même lorsqu'il n'arrive pas à attribuer un sens à une production d'élève, il arrive que l'enseignant tronque la production de l'élève, ce qui lui permet de redonner un sens à chacune des parties tronquées (Morge, 2005a).

L'analyse des simulations montre que c'est l'impossibilité d'attribuer un sens à la production de l'élève qui oblige l'enseignant à la tronquer et donc à la transformer. Ce n'est donc pas une volonté mais plutôt une nécessité qui s'impose à l'enseignant.
Nous avons également remarqué que les problèmes d'attribution de sens aux productions d'élèves rencontrées par les enseignants apparaissent au début de la discussion qui s'établit dès la production apparaît à l'écran. Cela signifie, selon nous, que l'attribution d'un sens à la production d'un élève est une des premières étapes du processus de détermination de l'action des enseignants. Notons également que la troncature ne peut être utilisée que pour des productions présentant au moins deux entités conceptuelles dissociables.

L'extrait de la simulation que nous avons choisi pour illustrer cette troncature se situe au moment où deux enseignants découvrent une production "La quantité de volume, elle a bien changé". Cet extrait a été précédemment utilisé pour illustrer la règle selon laquelle l'enseignant ne peut pas laisser passer d'énoncés contradictoires avec le savoir scientifique de référence qu'il possède (Partie 2.2.3). Les premiers échanges des enseignants traduisent leur incapacité à comprendre ce que dit l'élève (2E1, 3E1). Nous interprétons cette incapacité de la façon suivante. Dans le domaine de la physique-chimie, plus précisément celui de la matière, le terme "quantité" est utilisé pour signifier la "quantité de matière". La quantité de matière est proportionnelle à la masse de cette matière. Le terme "volume" signifie quant à lui, l'espace occupé par cette matière. Pour les collégiens, la distinction entre ces deux termes n'est pas évidente. En effet, ces deux termes sont souvent employés indifféremment car ils sont proportionnels dans la plupart des phénomènes de la vie courante. La distinction entre ces deux concepts devient nécessaire quand des phénomènes de dilatation ou de compression de la matière sont envisagés. Dans ces cas, le volume change sans que la quantité de matière varie. Pour les élèves, le terme quantité n'est donc pas utilisé avec la même signification que pour l'enseignant. Pour l'élève, le terme "quantité de" peut signifier "nombre de". Ainsi, le sens attribué par l'élève à l'association "quantité de volume" est peut être celui de "nombre de volume". Mais le volume étant une grandeur physique, il n'est pas nécessaire d'utiliser le terme "quantité de volume" pour exprimer "le volume". Dans tous les cas, pour l'enseignant, l'association entre quantité et volume ne peut pas prendre de sens s'il utilise la signification scientifique de ces deux termes.
Si l'enseignant ne s'appuie pas sur cette production dans son intervention, il rompt l'enchaînement interlocutoire. Il refuserait alors cette production (fin de 3E1) sans même pouvoir la comprendre (5E1, 6E1). Pour donner un sens à la production d'élève, l'enseignant sépare "quantité" et "volume". Il peut alors attribuer un sens aux deux expressions verbales suivantes : "la quantité de matière ne change pas" et "le volume varie" (14E1). Cette troncature lui permet de rester le plus proche possible de la production initiale de l'élève et de ne pas rompre l'enchaînement interlocutoire.

1E1 : La quantité de volume elle a bien changé.
2E1 : L'enseignant ne comprend rien, il demande de justifier.
3E1 : La quantité a changé. Il faut que je lui demande de justifier sa réponse parce que là je comprends rien. "La quantité a changé, la quantité de volume elle a bien changé". Alors je valide pas.
4E1 : Mais ce qu'il faut dire… Vas-y.
5E1 : Ce qu'il faut leur dire c'est que la quantité de matière elle a pas changé on l'a déjà vu avant avec la masse, par exemple, t'as vu la masse t'as vu la quantité de matière. Par contre le volume, c'est une unité de mesure donc heu, enfin, euh, le volume c'est une grandeur physique.
6E1 : Ce que tu fais, tu révises et puis après, on en parle.

7E1 : Non mais franchement tu vas bien leur dire quelque chose quand même, hein
8E1 : Ah ben là on peut pas laisser ça comme ça, c'est sûr.
9E1 : La quantité de volume, elle a bien changé.
10E1 : Non c'est la quantité, quantité, quantité de matière n'a pas changé et le volume il a changé.
11E1 : Quand on parle de quantité, on parle de…
12E1 : Qu'est-ce que tu veux mettre là ?
13E1 : Ça sera la surprise, laisse-moi écrire.
14E1 : La quantité de matière ne change pas, en revanche le volume varie. Attention au vocabulaire.

II.2.6. L'utilisation des programmes

L'analyse des discussions entre enseignants au cours de la simulation de la gestion de la séance révèle qu'ils se réfèrent parfois aux programmes pour décider de leur intervention auprès des élèves (Morge, 2006a). Cette analyse montre également que la représentation des programmes qu'ils mobilisent est une représentation constituée d'une succession linéaire de contenus. Les enjeux généraux du programme, les idées directrices, les démarches ne sont pas mobilisés dans leur représentation Enfin, cette représentation est construite autour du seul point de vue de l'enseignant qui détermine les parties du programme qu'il a "faîtes ou pas faîtes", autrement dit, ce que l'élève a "vu ou pas vu".

Les expressions "vu" / "pas vu" ou "fait" / "pas fait" apparaissent presque dans chaque discussion entre enseignants faisant appel à leur connaissance des programmes (voir dans les extraits ci-dessous : E1I1, E2I2, E2I4). Les expressions "vu" ou "fait" (vs. "pas vu" / "pas fait") possèdent un sens équivalent. Les expressions "vu" / "pas vu" se situent du côté de l'élève et caractérisent l'état d'un contenu d'enseignement que l'élève a vu ou n'a pas encore vu. Les expressions "fait / pas fait" se situent quant à elles du côté de l'enseignant et caractérisent l'état d'un contenu d'enseignement que l'enseignant a fait ou pas fait. Mais ces expressions reflètent le même point de vue, celui de l'enseignant. Le point de vue de l'élève, qui consisterait à déterminer ce qu'il "sait / ne sait pas", n'est pas associé aux discussions faisant appel aux programmes. Autrement dit, la représentation du programme mobilisée par les enseignants-débutants en situation d'enseignement est une représentation du temps d'enseignement (ou temps didactique) et non pas une représentation du temps d'apprentissage Chevallard (1991).

Cette représentation est économique à construire car elle ne met en jeu que le point de vue de l'enseignant. Elle ne nécessite pas de prise d'information sur l'apprentissage des élèves. Cette représentation est aussi plus simple à utiliser car les savoirs mis en jeu possèdent deux statuts possibles (fait / pas fait) alors que l'évaluation de l'apprentissage est sans aucun doute plus nuancée (acquis / en cours d'acquisition / pas acquis) et nécessite de préciser plus finement les contenus en jeu. Enfin, l'évaluation du temps d'enseignement apporte une seule réponse pour tous les élèves alors que l'évaluation de l'apprentissage aboutit nécessairement à plusieurs réponses individualisées. Une telle représentation, située du point de vue de l'élève, si elle paraît souhaitable, semble néanmoins inutilisable dans une situation où l'enseignant doit préparer son intervention.

Nos résultats étendent aux situations de gestion de séances la prédominance d'un raisonnement centré sur le point de vue de l'enseignant déjà repéré par Charlier (1989) chez des enseignants en situation de préparation de séances.
Les données que nous avons recueillies par la méthode de la simulation croisée, montrent que le programme, tout du moins sa représentation construite par les enseignants, remplit au moins deux fonctions. La première fonction est de contrôler le contenu de l'intervention de l'enseignant. Par exemple, l'enseignant s'autorise à utiliser une connaissance qui été vue. La représentation simplifiée des programmes a également pour fonction d'interpréter les productions des élèves en s'appuyant sur les connaissances préalablement vues par les élèves.

En réponse à la question de savoir "ce qui a changé et ce qui n'a pas changé pour la seringue et pour le gaz", un élève virtuel répond que la concentration a changé (E1I1). Notons que, dans le domaine de la chimie, le terme de concentration est généralement utilisé pour décrire la proportion de soluté dans un solvant. Habituellement, ce terme de concentration n'est donc pas utilisé pour représenter la quantité de particules par litre de gaz. Les enseignants ont décidé de réaliser cette simulation en considérant qu'elle se déroule en quatrième. Dans ce contexte, l'un d'eux considère que les élèves ont donc vu que le terme de concentration est utilisé pour les solutions acqueuses. L'enseignant demande donc à ses élèves de ne pas utiliser ce même terme pour signifier l'état de tassement d'un gaz (E1I1).

E1I1 - Alors là, la concentration a changé, alors moi là je dirai que je suis pas d'accord, parce que les concentrations ils l'ont vu, disons qu'on se place en **quatrième.** Ils l'ont vu donc **en cinquième** et je dirai que c'est pour des solutions. Et on ne définit pas de concentration pour un gaz. "On ne parle pas de concentration pour un gaz".
E1I2 - Même s'il est plus concentré.
E1I3 - Oui mais là je vais pas le dire
E1I4 - Ben oui.
E1I5 - Tu les induis en erreur. Ils vont dire concentration, gaz.

L'extrait suivant montre comment les programmes sont utilisés par les enseignants pour prévoir et expliquer des productions d'élèves. A la même question que celle posée ci-dessus, un élève répond : "le gaz, la nature du gaz n'a pas changée". Bien que cette production soit acceptable, un enseignant pense que rien ne prouve la permanence de la nature du gaz au cours de la compression. Il sait même qu'il existe des situations de compression entraînant des réactions chimiques qui modifient la nature de la matière comprimée (E2I1). Le second enseignant explique alors que les élèves ne peuvent pas supposer que le gaz a changé de nature par compression car ils n'ont pas vu ce phénomène de réaction chimique qui n'est abordé que plus tard (E2I2). Dans ce raisonnement, le programme sert à déterminer les connaissances dont l'élève dispose pour interpréter ou prévoir ses productions. Notons que l'enseignant considère ici, de façon caricaturale, que les contenus préalablement vus sont considérés comme les seuls dont peut disposer l'élève.

E2I1 - Il pourrait y avoir eu une réaction chimique avec la pression. Et oui !
E2I2 - **Ils sont en cinquième, ils l'ont pas vu.**
E2I3 - Rire
E2I4 - Oui, mais ils savent pas que c'est ce qu'on va voir après.
E2I5 - Ça il en sait rien, qu'est-ce qu'il le prouve, il en sait rien. Faudrait peut-être tester la nature du gaz avant de l'affirmer. T'en sais rien.

II.3. Utiliser le logiciel comme un outil de recherche sur l'activité de l'enseignant : les pistes qui restent à explorer

Dans la partie précédente, nous avons présenté les premiers résultats obtenus à l'aide du logiciel de simulation utilisé en tant qu'outil d'accès à l'activité des enseignants en situation d'enseignement. Ces premiers résultats ne recouvrent pas l'ensemble des recherches pouvant être menées dans cette direction. Nous présentons dans ce paragraphe, certaines directions de recherche encore inexplorées.

Le logiciel de simulation a été utilisé jusque là pour explorer certains pans de l'activité cognitive des enseignant en situation d'enseignement simulé. Or, le logiciel permet aussi d'accéder aux pratiques enseignantes. En effet, les enseignants, au cours de la simulation interviennent auprès des élèves, acceptent refusent certaines production, argumentent auprès des élèves leurs décision reformulent des tâches, écrivent au tableau. Autrement dit, le logiciel permet également d'accéder à la partie visible de l'activité de l'enseignant : ses pratiques. Si le but d'une recherche est de décrire au plus près de la réalité, les pratiques enseignantes, nous pensons que l'observation des pratiques simulées est moins pertinente, moins riche que l'observation des pratiques effectives. L'intérêt d'observer les pratiques simulées des enseignants apparaît beaucoup plus clairement si on se situe dans une perspective comparatiste. En effet, le logiciel de simulation offre la possibilité de placer plusieurs enseignants dans une même situation d'enseignement (ce qui est impossible dans la réalité). Deux grands champs de recherches s'ouvrent alors. En effet, il devient possible de placer des enseignants aux caractéristiques différentes dans une situation identique d'enseignement simulé, ou inversement de placer des enseignants aux caractéristiques identiques dans des situations d'enseignement différentes (situations dans lesquelles les facteurs modifiés sont contrôlés).

Le logiciel de simulation permet de placer des populations différentes d'enseignants (homme / femme ; novice / expérimenté …) dans une situation identique. L'attribution d'éventuels écarts de pratiques entre deux populations est donc plus sûrement attribuable aux caractéristiques intrinsèques de ces populations. Ce type de résultat relatif aux pratiques enseignantes serait encore plus pertinent s'il était possible de montrer que les pratiques simulées sont proches des pratiques réelles. S'ouvre ici tout un champ de recherche encore totalement inexploré dans le champ de la simulation de l'enseignement.

Les modifications apportées à la situation d'enseignement simulé sont tout à fait contrôlables, ce qui n'est pas le cas des situations réelles. Il s'agit donc ici de provoquer un changement dans la situation d'enseignement et d'étudier l'effet de ce changement sur l'activité (cognitive et comportementale) des enseignants. Nous qualifierons cette approche d'expérimentale puisque le phénomène observé est provoqué par le chercheur. Prenons ici quelques exemples pour illustrer notre propos. Pour savoir quelles modifications sur l'activité de l'enseignant entraînent les contraintes de temps, nous pouvons demander à deux populations comparables d'enseignant de simuler la gestion d'une séance en donnant des contraintes de temps différentes (une heure, deux heures, trois heures). Afin d'étudier l'expression des stéréotypes de genre, nous pouvons attribuer aux élèves des prénoms séxués et analyser l'activité des enseignants. Il suffit dans un second temps, d'inverser dans le logiciel le sexe des prénoms et d'étudier les modifications que ce changement engendre dans l'activité d'un second échantillon d'enseignant comparable. Après avoir montré que les enseignants-débutants de sciences physiques mobilisent des stéréotypes de genre au cours de leur préparation de séquences (Morge et al. 2007, Morge et Toczek, soumis), nous pourrons évaluer l'expression

de ces stéréotypes en situation d'enseignement (simulé). Une autre question de recherche que permettrait d'aborder le logiciel de simulation porte sur la « durée de vie » des LPCK élaborées au cours d'une première réalisation de séance. Nous avons montré que les LPCK élaborés au cours d'une première réalisation de séance sont encore disponibles deux mois et demi plus tard. En faisant varier la durée qui sépare la date de réalisation de la première séance et la date de la simulation, il serait possible d'estimer la « durée de vie » de ces LPCK. Afin d'évaluer l'impact du contexte d'enseignement, il serait possible de suggérer aux enseignants qu'ils gèrent soit une classe avec de très bons élèves issus d'un milieu social favorisé, ou bien qu'il gèrent une classe de ZEP avec des élèves difficiles.

La propriété du logiciel à placer les enseignants dans des situations d'enseignement comparables permet également de suivre l'évolution de l'activité d'un ou de plusieurs individus dans le temps. Il s'agit là de comparer une même population utilisant le même logiciel à des instants différents (avant et après une formation, en début et en fin de carrière…).

Tableau 1 : Les différentes recherches pouvant être menées à l'aide du logiciel de simulation utilisé comme outil de recherche

	Activité enseignante simulée		Activité enseignante réelle
	Activité cognitive au cours de la simulation	Pratiques simulées	Pratiques réelles
Objectifs de recherche	1) Etudier l'influence des paramètres d'une situation d'enseignement sur l'activité enseignante (2 populations identiques réalisent 2 simulations différentes), 2) Comparer l'activité de différentes populations d'enseignants (2 populations différentes réalisent la même simulation), 3) Suivre l'évolution de l'activité d'une même population d'enseignants (1 même population d'enseignant réalise la même simulation à 2 instants différents)		1) Evaluer les écarts et similitudes entre pratiques simulées et pratiques réelles

Ces nouvelles questions de recherche sont présentées de manière plus détaillée et organisée dans la partie 5 de cette note de synthèse.

III Partie 3 : La simulation des interactions en classe pour former les enseignants

Dans la partie précédente nous avons exposé les principaux résultats relatifs à l'activité cognitive des enseignants obtenus pour l'instant par la simulation croisée. Dans cette troisième partie, nous présentons une seconde utilisation du logiciel : la formation des enseignants. Dans cette troisième partie nous présenterons successivement a) les fondements à partir desquels nous avons conçus nos dispositifs de formation, b) les dispositifs et c) les impacts de ces dispositifs sur les enseignants.

III.1. Conception des dispositifs de formation : Principes, objectifs et contenus

La connaissance des pratiques effectives des enseignants, des conceptions dont ils disposent, des connaissances qu'ils mobilisent en situation d'action, en situation de réflexion sur l'action, et de leurs conditions de développement sont nécessaires à la construction raisonnée de dispositifs de formation. La partie qui suit, vise à expliciter les liens entre ces connaissances relatives à l'activité des enseignants et l'élaboration des dispositifs de formations.

III.1.1. Un constat : la corrélation entre les pratiques ordinaires des enseignants de sciences et leur conception empirico-réaliste

Plusieurs auteurs de différents pays semblent s'accorder pour constater que la plupart des enseignants de Sciences Physiques ont majoritairement une approche transmissive et/ou dogmatique de l'enseignement associée à une vision empirico-réaliste de la science.

Ainsi en Grèce, "malgré quelques tentatives de renouvellement de l'enseignement scientifique, les enseignants de physique n'ont pas encore largement adopté dans leur quotidien des pratiques d'enseignement nouvelles, centrées sur l'élève et ses idées personnelles" "... Ils imitent des pratiques stéréotypées (transmission du savoir) auxquelles ils sont familiarisés." (Papadimitriou et al., 1996, p. 392).

Ce constat est souvent relié aux conceptions épistémologiques des enseignants selon lesquelles les savoirs scientifiques sont des vérités induites à partir de l'expérience. Si les savoirs scientifiques sont synonymes de vérités, l'enseignant a un rôle de transmetteur de ces savoirs ou un rôle de censeur, ce qui peut l'amener à juger, de façon dogmatique, bonnes ou mauvaises les réponses des élèves.

Au Québec, pour Désautels & al. (1993), "il est reconnu que, de manière générale, les enseignants adhèrent à une vision empirico-réaliste de la science ... qui les conduit à privilégier un enseignement assez traditionnel dans lequel ni le statut épistémologique de l'élève (en tant que re-producteur du savoir) ni le caractère construit et social du savoir scientifique ne sont considérés." (p. 55). "Par exemple, un enseignant du secondaire, qui conçoit la méthode scientifique comme un processus rationnel et linéaire conduisant à la vérité", privilégie "de façon prononcée l'obtention de la bonne réponse..." (p. 54). Perret-Clermont & al. (1992) ont décrit à ce propos des processus d'extorsion des réponses en situation asymétrique.

En France, Joshua & Dupin (1989) avancent, "sans grande audace", l'hypothèse selon laquelle, "pour une majorité de pédagogues, l'enseignement de la physique se confond avec celui de la "méthode expérimentale", et cela jusqu'à nos jours. Cette finalité fixée à l'enseignement de la physique va le plus souvent de pair avec la réduction de la méthode expérimentale elle-même aux processus d'induction." (p. 17). Le type de débat dans lequel le professeur pose les questions et sélectionne les réponses de manière à faire avancer plus ou moins rapidement le temps didactique "est d'ailleurs à l'œuvre dans une majorité de classes de physique ; il admet une large variété de pratiques, selon que les réponses sélectionnées

comme pertinentes par le professeur sont "bonnes" (ce qui permet une avancée rapide de la leçon) ou "mauvaises" (ce qui permet d'insister sur les points jugés difficiles)." (p. 97-98).
Dans le cadre d'une formation, Saint Georges (1996) affirme aussi que, pour les enseignants de sciences physiques, "le rôle de correcteur et de censeur, en tant que représentant du savoir, est prépondérant." (p. 222).
Hirn (1995) montre que les enseignants "ne font pas de distinction entre les situations d'observation et les situations d'interprétation : comprendre c'est voir. La manipulation à elle seule révèle le phénomène et son interprétation." (p. 48).
Robardet & Guillaud (1997) constatent aussi que "dans les classes des collèges et des lycées, on applique généralement la méthode dite "expérimentale" dont les étapes sont dans l'ordre : observation, mesures puis mise en évidence de la loi.

De même en Angleterre, "beaucoup d'enseignants ont un point de vue réaliste du monde, un point de vue inductiviste de la méthodologie scientifique, et un point de vue accumulationniste des progrès scientifiques" "Les enseignants semblent encore réticents à abandonner une conception de la science comme vérité absolue..." (Gilbert 1994, p. 37).

En Espagne, Porlan Ariza & Martin Toscano (1994) proposent, dans une perspective de formation des enseignants, de chercher à "aller au-delà de l'ancienne conception empiriste et naïve selon laquelle la connaissance est découverte, à partir de la réalité, par un processus inductif qui va de l'observation neutre à la théorie." (p. 55). Sur un plan didactique, "l'enseignant devrait être en mesure de dépasser l'idée, si fréquente dans l'enseignement, que les élèves apprennent en écoutant et en mémorisant le discours du professeur..." (p. 56).

En France, Robardet (1994) a établi de façon statistique une corrélation entre les conceptions épistémologiques des enseignants (enseignants en formation initiale et enseignants plus expérimentés) et leurs représentations des démarches d'enseignement.

Les travaux de didactique s'appuient quant à eux sur une conception rationaliste de la science qui met l'accent sur le caractère construit et hypothétique des savoirs scientifiques. C'est alors la théorie qui organise et détermine l'observation et non l'inverse. Cette théorie pouvant changer au fil du temps, la « réalité » étudiée par le savant change d'aspect, « perdant ainsi ce caractère de permanence qui fonde le réalisme philosophique. » (Bachelard, 1949, p.9). Au mythe naturaliste de la découverte scientifique vient se substituer la notion d'obstacles épistémologiques à la construction d'un savoir rationnel (Bachelard, 1938). Le progrès scientifique n'est plus décrit en termes d'évolution continue mais en termes de révolution scientifique et de changement de paradigme (Kuhn, 1983). Notons que la vision empirico-réaliste de la science peut parfois apparaître dans les programmes (Morge, 2007a), ce qui contribue à leur propagation.

Cette corrélation établie par différents auteurs de différents pays, n'est pas remise en cause mais elle ne définit pas pour autant une relation de causalité : les conceptions épistémologiques déterminent-elles les pratiques enseignantes ou les pratiques enseignantes sont-elles relativement indépendantes des conceptions des enseignants ? Cette question théorique est de taille puisqu'elle justifie le type d'objectif à atteindre en formation, et la priorité des recherches à mener. En effet, si les conceptions épistémologiques déterminent les pratiques enseignantes, les recherches sur ces conceptions doivent être prioritaires et la modification des conceptions constitue l'objectif principal des formations des enseignants de sciences. Les situations de formation peuvent prendre la forme suivante : exposés de résultats de recherche didactique (Bériot & al, 1992), simulation de recherche scientifique avec

utilisation de logiciel (Désautels & Larochelle, 1993), simulation de controverses scientifiques actuelles (Désautels & Larochelle, 1993), entraînement à la reformulation d'énoncés dogmatiques en énoncés scientifiques (Favre et Rancoule, 1993), réflexion sur l'histoire des sciences (Rosmorduc, 1995), initiation à la recherche scientifique (Porlan & Martin, 1994).
La principale critique émise à l'égard de ce type de formation porte sur la décontextualisation de celle-ci. Pour Weil-Barais (1994b), ce type de formation expulse "des tâches pratiques que les enseignants ont à affronter. C'est en effet davantage les connaissances en actes qui sont intéressantes à connaître plutôt que les opinions sorties de leur contexte." (p. 123). Pour Van der Maren et Blais (1994) "les théories sont trop générales, elles doivent être complétées par des répertoires d'actions qui en sont des opérationnalisations." (p. 137).

En revanche, si la pratique des enseignants de sciences n'est pas gouvernée de façon prépondérante par leurs conceptions, les recherches visant à mieux connaître ces pratiques sont prioritaires, et la formation se focalisera de façon plus spécifique sur les pratiques enseignantes. Dans ce cas, la formation s'appuie principalement sur l'analyse de pratique : analyse de séquences de TP problèmes (Saint Georges, 1996), gestion de problèmes ouverts (Boilevin, 2000), gestion d'entretiens avec quelques élèves de façon à s'entraîner à suivre leur raisonnement (Papadimitriou et al, 1996). Les situations de formation sont ici fortement contextualisées.

La mise en place d'un dispositif de formation ne peut donc pas éviter cette question à laquelle nous allons tenter de répondre.

III.1.2. Le lien entre pratiques et représentations enseignantes en situation d'action

De façon à préciser notre point de vue sur les recherches à mener et sur les formations à développer, nous tenterons dans un premier temps de nous situer par rapport à la question suivante : quel(s) lien(s) entretiennent les conceptions épistémologiques et didactiques des enseignants et leurs pratiques ? Avant de répondre, nous allons tout d'abord préciser cette question. En effet, rien ne permet de postuler que les liens entre conceptions et pratiques enseignantes soit de même nature dans toutes les situations (situation d'enseignement face à des élèves, situation de préparation de séance, situation d'entretien avec un chercheur, avec un collègue…). De plus, nous faisons une différence entre pratique effective et pratique déclarée. Ainsi, la question reformulée à laquelle nous allons tenter de répondre est la suivante: en situation d'enseignement, quels liens entretiennent les conceptions épistémologiques et didactiques des enseignants et leurs pratiques effectives.

Plusieurs arguments permettent de considérer que, dans l'action, la pratique de l'enseignant fonctionne de façon relativement autonome par rapport à ses propres représentations.

Tout d'abord nous savons qu'il peut exister des contradictions entre les pratiques effectives des enseignants et leur point de vue sur l'enseignement ou l'apprentissage. Par exemple, selon Orlandi (1991), certains professeurs affirment que le tâtonnement et la découverte sont importants alors qu'ils ne les mettent pas en œuvre dans leur classe. Hirn (1995) a également remarqué que, chez les enseignants ayant travaillé dans le cadre de sa recherche, l'écart est important entre leur discours sur les difficultés des élèves - très proche de celui de la

recherche - et leurs propos sur leur enseignement. Cette contradiction traduit selon nous l'écart entre les représentations et les pratiques enseignantes.

Les enseignants sont susceptibles de forger leur propre pratique sur la base de ce qu'ils ont vécu en tant qu'élève ou ce qu'ils observent pendant les stages ou également en s'appuyant sur les manuels scolaires. Dans ces cas de " transmission " de pratique, on peut légitimement penser que la pratique de l'enseignant va être plus influencée par les séances d'enseignement qu'il connait que par ses propres conceptions.

En cherchant à comprendre comment les enseignants lisent les nouvelles instructions officielles, Hirn (1995) a mis en évidence que les habitudes des enseignants influencent la façon dont ils comprennent les propositions de nouveaux programmes. Les enseignants associent des notions du programme à des expériences classiques (propagation en ligne droite et visualisation du faisceau avec de la poussière de craie), ils appliquent l'ordre d'entrée dans un thème selon leur habitude et ils attribuent au préalable une importance à certains concepts. Autrement dit, ces enseignants, pourtant au fait des recherches en didactiques, activent, dans ce cas précis, des schèmes d'actions pour imaginer leurs séances d'enseignement sans faire appel à leurs propres représentations épistémologiques ou didactiques.

D'après certains auteurs (Charlier, 1989, p. 118 ; Crahay, 1992, p. 44) les enseignants ne font pas nécessairement de liens entre leurs pratiques et leurs connaissances théoriques. Ces deux types de savoirs auraient leur champ d'application propre : des connaissances d'ordre théorique seraient utilisées pour communiquer avec les chercheurs, les autres enseignants ; des connaissances pré-conceptuelles serviraient aux prises de décisions pédagogiques.

Enfin dans le cadre de nos propres recherches (Morge, 1997), nous avons montré l'existence chez un même enseignant, dans une même séance, de pratiques relevant d'une conception constructiviste de la science et de pratiques relevant d'une conception réaliste. En effet, dans des phases d'enseignement magistral, cet enseignant cherche à faire comprendre comment s'est construit la réponse au regard du problème posé alors que, lorsque l'élève est invité à élaborer de nouvelles connaissances, c'est une gestion de type "attente de la bonne réponse" ou "devinette" qui est mise en œuvre. Dans le premier cas, c'est la construction du savoir qui est explicitement convoquée, dans le second, c'est l'idée de l'existence d'un savoir scientifique préexistant à découvrir qui est mise en avant. Ceci permet d'argumenter en faveur d'une certaine indépendance entre conceptions épistémologiques et pratiques de classe. Autrement dit, nous pouvons penser que, pour cet enseignant, l'interaction avec ses élèves ne fait pas partie du champ d'application de ses conceptions épistémologiques. De manière plus générale, l'idée d'une relation de causalité entre pratiques et conceptions enseignante repose sur l'hypothèse selon laquelle l'enseignant connaîtrait l'ensemble du champ des pratiques qui devraient être modifiées par l'adoption de nouvelles conceptions. Or, certains aspects de la pratique cachent des conceptions épistémologiques et didactiques qu'elles véhiculent de manière implicite (Morge, 2005b).

Ainsi, des pratiques transmissives et dogmatiques pourraient être interprétées non plus comme l'expression de conceptions épistémologiques et didactiques différentes de celles des chercheurs mais comme l'expression d'un manque de schèmes d'actions alternatifs. Le nouveau rôle de l'enseignant dans des situations d'investigation nécessite l'acquisition de gestes professionnels qui ne se construisent pas spontanément, certaines décisions d'enseignants peuvent être prises pour simplifier une gestion trop complexe. Autrement dit, nous supposons ici que les décisions des enseignants peuvent s'interpréter comme étant

d'abord une réponse aux difficultés générées par leur nouveau rôle et non pas forcement comme étant le résultat de la mise en œuvre d'une représentation épistémologique ou didactique inadéquate du point de vue du chercheur.

III.1.3. Le lien entre pratique et représentations enseignantes en situation de formation

Dans une situation d'action, nous supposons que la gestion des interactions par l'enseignant est fortement contrainte par des problèmes liés directement à la pratique et que les représentations épistémologiques et didactiques de l'enseignant jouent un rôle mineur dans la prise de décision. En revanche, nous supposons qu'en situation de formation, l'introduction de nouvelles représentations épistémologiques et didactiques est nécessaire car le cadre théorique ainsi formé permet d'une part à l'enseignant de considérer ses actions comme relevant d'un choix de pratiques et de représentations associées et, d'autre part, au formateur de justifier des suggestions de tâches ou d'interactions. Autrement dit, pour l'enseignant en situation de formation, l'introduction de conceptions épistémologiques ou didactiques relève, dans un premier temps, principalement de la justification de nouvelles pratiques. Dans un deuxième temps, les conceptions épistémologiques et didactiques construites peuvent orienter sa pratique à condition que l'enseignant dispose de différentes possibilités d'intervention, qu'il soit conscient des options didactiques et épistémologiques dont peuvent relever ces interventions, et que les aspects didactiques ou épistémologiques soient des critères prioritaires de choix pour l'enseignant.

Concernant la formation, nous supposons que des pratiques peuvent se développer chez l'enseignant sans qu'il s'interroge sur les représentations qui les sous-tendent et inversement, des représentations peuvent se développer sans que l'enseignant soit en mesure d'adapter ses pratiques à ces représentations. Ainsi, nous soutenons l'idée selon laquelle l'adéquation entre conception et pratique ne se crée pas spontanément chez l'enseignant, mais peut (ou doit) constituer un objectif de formation.

III.1.4. Un triple objectif de formation : l'évolution des pratiques, des conceptions et la construction de leurs liens

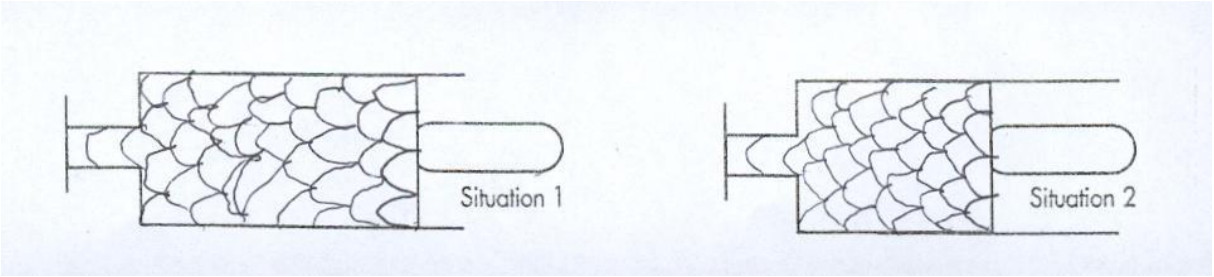
Les dispositifs de formation que nous avons élaborés visent un triple objectif : l'évolution des pratiques enseignantes, l'évolution des conceptions didactiques et épistémologiques des enseignants et la construction du lien entre pratiques et conceptions. Nous supposons que la construction de ce lien n'est pas spontanée mais qu'il doit faire l'objet d'un enseignement. Nos dispositifs de formation s'inscrivent dans le paradigme du praticien réflexif, largement diffusé dans de nombreux pays (Recherche et Formation 36, 2001). Ce paradigme postule que le savoir professionnel n'est pas dans un rapport d'application avec les savoirs théoriques ou méthodologiques mais qu'il se construit dans l'action et la réflexion sur l'action. La réflexion sur l'action étant le moment privilégié pour la construction du lien entre les pratiques et les conceptions épistémologiques et didactiques des enseignants. A partir de ce paradigme, se sont développés des dispositifs de formation dont l'activité centrale est l'analyse de pratiques (e.g. Saint-Georges 1996 ; Morge 1997 ; Boilevin 2000).

Nos dispositifs de formation visent l'acquisition de deux sortes de connaissances 1) des connaissances d'ordre épistémologique et didactique, qui permettent de justifier certaines pratiques ; 2) des connaissances d'ordre pratique qui permettent à l'enseignant d'agir, et plus précisément de gérer les productions d'élèves au cours d'une séquence d'investigation.

Dans les deux cas, les connaissances professionnelles visées par la formation sont, selon la typologie de Shulman (1986), des Pedagogical Content Knowledge, ou PCK. Notre référence à Shulman s'inscrit dans un regain d'intérêt de la communauté scientifique internationale pour le concept de Pedagogical Content Knowledge (voir pour des synthèses Gess-Newsome, J. et Lederman N.G. (1999), Van Driel, De Jong & Verloop 2002, Méheut, 2006). Shulman a introduit les PCK comme étant une catégorie spécifique de connaissances professionnelles "which goes beyond knowledge of subject matter per se to the dimension of subject matter knowledge for teaching" Shulman (1986: 9). Autrement dit, Shulman suppose l'existence de connaissances professionnelles liées à l'enseignement de contenus disciplinaires particuliers. Ces PCK incluent : "the most regularly taught topics in one's subject area, the most useful forms of representation of those ideas, the most powerful analogies, illustrations, examples, explanations, and demonstrations - in a word, the ways of representing and formulating the subject that make it comprehensible to others" (Shulman, 1986, p. 9). D'autres typologies proposaient déjà l'existence de connaissances professionnelles relatives à l'enseignement et l'apprentissage de la discipline (e.g. Durand 1996 ; Develay 1994). Mais l'intérêt de la communauté internationale des chercheurs pour les PCK, réside dans la fécondité de postuler clairement l'existence de connaissances professionnelles qui seraient dépendantes des contenus disciplinaires enseignés et pas uniquement de la discipline enseignée. Considérer qu'il existe des PCK, c'est effectivement considérer qu'enseigner l'électricité nécessite l'acquisition de connaissances professionnelles différentes de celles nécessaires à l'enseignement de la mécanique. De la même façon, enseigner l'électricité au collège, nécessite l'acquisition de connaissances professionnelles différentes de celles nécessaires à l'enseignement de l'électricité en lycée. Ce concept de PCK ouvre donc la voie à des recherches visant le repérage des PCK et des conditions favorisant l'acquisition de ces PCK par les enseignants. Nos travaux relatifs à la formation des enseignants (axes 2 et 3) s'inscrivent directement dans ce paradigme de recherche.

Alors que par exemple, Bécu-Robinault (2007) explore les PCK mobilisées en situation de préparation de cours, nous explorons quant à nous les PCK mobilisées lors des situations d'enseignement en classe. Appliqué à la gestion des productions d'élèves au cours d'une investigation, le concept de PCK prend la forme de connaissances professionnelles relatives aux productions qui peuvent apparaître au cours d'une séance particulière (Quelles productions apparaissent au cours de la séance sur l'introduction du modèle particulaire ? Quels arguments sont disponibles pour valider ou invalider ces productions ? Quelles connaissances de références sont nécessaires à la gestion de telle ou telle production ? Dans quelles productions et comment apparaissent, émergent s'expriment les conceptions des élèves…).

L'exemple qui suit montre l'existence d'une PCK. Au cours de la séance portant sur le modèle particulaire, les élèves doivent représenter des particules dans la seringue, avant et après compression du gaz roux. Pour tenir compte de l'indéformabilité des particules et de la compressibilité du gaz, certains élèves représentent les particules par des écailles qui se chevauchent, et glissent les unes sur les autres lors de la compression. Ce faisant, l'élève peut concilier sa conception selon laquelle « il ne peut pas y avoir de vide dans la matière » et la compressibilité du gaz.



Face à ce type de production, l'enseignant peut être tout à fait désarçonné. Quel argument lui permettrait de refuser cette production qui respecte l'indéformabilité des particules et empêche de poser la nécessité de considérer l'existence du vide entre les particules ? Autrement dit, c'est la constructibilité de « la présence de vide entre les particules » qui est ici en jeu. Pour invalider cette production, l'enseignant peut utiliser l'argument suivant : « Si les écailles se superposent lors de la compression, et si les particules sont indéformables, alors la seringue se déformerait et gonflerait, ce qui est contradictoire avec l'observation phénomène. La connaissance de l'existence de cette production et la connaissance de l'argument qui peut être utilisé dans ce contexte, constituent des connaissances professionnelles didactiques locales. Ces connaissances professionnelles didactiques locales sont en lien avec les savoirs théoriques (d'ordre scientifique et didactiques). En effet, l'utilisation d'un tel argument repose sur la connaissance de la part de l'enseignant, des conceptions des élèves sur la matière (il n'y a pas de vide dans la matière), des points de vues socio-constructivites et épistémologiques qui justifient la supériorité des phases de négociation par rapport aux phases d'évaluation dans un enseignement scientifique. Connaître les productions d'élèves et les arguments qu'il est possible d'avancer pour accepter ou refuser ces productions, connaître la conception est l'origine d'une production sont autant de connaissances professionnelles visant à favoriser l'apprentissage d'un contenu précis. Ces connaissances peuvent donc être placées dans la catégorie des PCK. Ces connaissances professionnelles dépendent du contenu mais également des tâches qui sont proposées aux élèves afin qu'ils acquièrent ce contenu. En ce sens elles sont un caractère plus local qu'une autre PCK du type « connaître une analogie pour enseigner tel ou tel contenu, connaître une expérience pour aborder ou illustrer tel phénomène». Les connaissances professionnelles que nous décrivons sont donc des PCK qui ont un caractère local (Local Pedagogical Content Knowledge), dépendantes à la fois du contenu enseigné et de la séance d'enseignement proposée aux élèves. L'acquisition de ces LPCK constitue un des objectifs des dispositifs de formation que nous avons développé.

L'analyse a priori de plusieurs réalisation d'une même séance d'enseignement nous a permis de repérer différents types de LPCK relatives à la gestion des productions d'élèves Un enseignant qui dispose de connaissances professionnelles locales relatives à la gestion des productions d'élèves connaît :.

« des productions possibles d'élèves en fonction des tâches proposées et du niveau des élèves, des arguments mobilisables en fonction des productions, l'influence des connaissances de référence mobilisables sur l'éventail des arguments utilisables, les impasses dans lesquelles il peut lui-même se placer, l'influence d'une modification de la consigne sur les productions des élèves, les différentes formes d'expression des conceptions des élèves. » (Morge, 2003).

Dans nos précédents travaux nous avions utilisé le terme de « connaissances professionnelles locales », pour nommer ce type de connaissances professionnelles (Morge, 2003).

Aujourd'hui nous préférons parler de « connaissances professionnelles didactiques locales » ou de « Local Pedagogical Content Knowledge ». En effet, le terme de « connaissances professionnelles locales » peut inclure des connaissances professionnelles qui ne relèvent pas du contenu d'enseignement comme, par exemple, des connaissances sur le fonctionnement de l'établissement, le projet d'école, la connaissance des élèves de la classe, de leur caractère de leur histoire…

Le paragraphe suivant est dédié à l'explicitation des dispositifs de formation visant l'acquisition par les enseignants de connaissances professionnelles d'ordre pratique (permettant l'action), de connaissances d'ordre théorique (permettant une justification de l'action) et leurs liens.

III.2. Les dispositifs de formation

Les dispositifs de formation que nous avons conçus dans le cadre de nos recherches sont présentés ci-dessous. Ils ne constituent pas des résultats de recherche mais des outils de recherche permettant de mieux connaître les conditions d'évolution des pratiques enseignantes. Cette partie est consacrée à la description de ces dispositifs. La partie concernant les impacts de ces dispositifs de formation sur les enseignants et sur les élèves dont les enseignants ont suivi ces formations seront respectivement présentés dans les parties 3 et 4. Ces dispositifs de formation sont construits à la fois pour former les enseignants à la gestion des interactions en classe, et pour répondre à des questions de recherches.
La principale question de recherche relative à la mise en place du premier dispositif concernait l'évaluation de l'impact du dispositif sur les conceptions et les pratiques effectives enseignantes. Il s'agissait également de contribuer à mieux connaître les difficultés rencontrées par les ensiegnants pour mettre en œuvre une gestion compatible avec le point de vue socio-constructiviste.

Le second dispositif permet sur le plan de la recherche de répondre aux questions suivantes : 1) quel est l'impact de ce deuxième dispositif sur les pratiques effectives des enseignants et sur les performances des élèves dont les enseignants ont suivi cette formation ? 2) Quel est l'impact de l'apport complémentaire d'une formation visant l'acquisition de LPCK ?

III.2.1. Dispositif 1 : Procéder par décalages successifs pour aborder la construction de séquences, l'anticipation des productions d'élèves, la simulation de leur gestion et l'analyse de cette simulation

Ce premier dispositif de formation a été conçu au cours de notre travail de thèse (Morge, 1997). Pour les enseignants-stagiaires, la formation consiste, dans un premier temps, à élaborer une séquence d'enseignement. Ils prévoient les tâches qui seront proposées aux élèves, à l'aide d'une grille dont nous présentons une version simplifiée (document 1) et ils anticipent la façon de gérer les interactions à l'aide d'une autre grille dont nous présentons également une version simplifiée (document 2). Des simulations d'interactions sont effectuées à partir de la grille de gestion selon un modèle en trois temps : exposition, justification, acceptation ou refus de la proposition. Ces simulations permettent de tester la faisabilité de la tâche et de préparer l'enseignant à sa gestion en temps réel. Ces simulations peuvent être comparées à un jeu de rôle entre une deux personnages, l'élève et le professeur. Le formateur

endossant le rôle de l'élève. La réponse de l'élève, sa justification et l'argument avancé pour statuer sur celles-ci sont ensuite soumises à discussion sur des plans épistémologiques, scientifiques et didactiques. Une fois la séquence réellement mise en œuvre, enregistrée et transcrite, elle est analysée par les stagiaires. Les grilles d'analyse (reprenant les items des grilles d'anticipation) permettent de comparer les choix effectués a priori et les choix effectifs.

Document 1

La tâche
Quelles sont les connaissances supposées partagées par les élèves et nécessaires à la résolution de la tâche (connaissances de référence) ?

Quelle est la formulation de la tâche ?

Quels sont les objectifs ?

Quelles propositions cohérentes est-il possible d'imaginer a priori ?

Document 2

La gestion de la tâche

L'exposition de la proposition
Quels sont les éléments attendus dans la proposition ? Qui expose ?

La justification de la proposition
Quelle justification peut être attendue ? Qui justifie ?

Acceptation ou refus de la proposition
Quelle est la modalité d'acceptation ou de refus ? Qui accepte ou qui refuse ?

Ces grilles peuvent être adaptées par les enseignants en fonction des tâches (émettre une hypothèse, élaborer un protocole expérimental, faire une prévision, modélisation un phénomène, décrire un phénomène) et des contenus abordés.

Au cours de la formation, les séances co-construites avec les enseignants-stagiaires sont de plus en plus complexes à gérer. Les séances prennent progressivement en compte les représentations des élèves, les enjeux épistémologiques de la modélisation, les tâches sont de plus en plus ouvertes, les contenus scientifiques de plus en plus complexes. C'est donc par des décalages successifs qui prennent en compte ce que les enseignants étaient capables de produire et de gérer que progressait la formation ainsi proposée. Chaque décalage faisait suite à un cycle de formation comprenant la construction des tâches, l'anticipation des productions d'élèves, la simulation de leur gestion et l'analyse de cette simulation. Notons qu'ici la simulation est effectuée à partir des productions envisagées a priori, ce qui n'est pas le cas au cours de la simulation sur ordinateur.

Ce dispositif de formation présente quatre limites principales. La première limite réside dans la difficulté à prévoir les productions d'élèves. En effet, en tant qu'adulte spécialiste de la

discipline, il est très difficile d'imaginer a priori les productions d'élèves. Or ce sont principalement les productions inattendues qui posent problème aux enseignants. La deuxième limite réside dans la construction de séquences. En effet, la séquence est co-construite avec l'enseignant et le chercheur. Cette phase de construction est très formatrice pour les enseignants, car ils s'interrogent sur la nature des savoirs scientifiques (leur condition de construction, de contrôle, leur nature etc…), sur la formulation et l'ordre des tâches, sur les objectifs visés, sur les connaissances nécessaires aux élèves pour réaliser ces tâches, sur la possibilité de contrôler les productions des élèves etc… La séquence co-construite résultait d'une négociation entre le chercheur et l'enseignant et tenait compte de ce que l'enseignant était capable de produire et de gérer. Or, la plupart de ces séquences peuvent être critiquées sur un plan didactique, certaines tâches étaient trop simples, d'autres trop complexes pour les élèves, certains thèmes ne se prêtaient pas nécessairement à la mise en place de séquences d'investigation etc… La construction de séquences d'investigation adaptée aux élèves et aux objectifs de l'Ecole est une compétence complexe à acquérir. Suite à ces nombreux essais, nous avons abandonné le champ de la construction de séquence pendant les formations en relation avec nos recherches, pour nous centrer uniquement sur le domaine de la gestion de séances[24]. La troisième limite de ce dispositif de formation réside dans la lourdeur et la difficulté technique d'entendre et/ou de transcrire des enregistrements qui ne sont pas toujours de grande qualité. La quatrième et dernière limite réside dans l'absence de réinvestissement de LPCK acquises au cours de l'analyse a postériori de la séance. En effet, l'analyse a posteriori d'une séquence d'enseignement, permet de construire des LPCK qui ne seront pas réinvesties dans l'activité professionnelle.

III.2.2. Dispositif 2 : Un dispositif composé de trois sessions. S1 : Analyse d'une séance issue de la recherche, S2 : Réflexion sur la gestion des productions d'élèves, S3 : simulation analysée de la séance

Le deuxième dispositif de formation que nous avons mis en œuvre est composé de trois sessions de formation (S1, S2, S3) réparties dans l'année scolaire. La première session dure trois heures et porte sur l'analyse de la séance d'introduction au modèle particulaire. Pour les enseignants, le but est de connaître les objectifs didactiques et épistémologiques de la séance, les conceptions des élèves sur la matière et de les relier aux activités qui composent cette séance d'enseignement. La deuxième session de formation dure également trois heures et porte sur la conduite des interactions maître-élèves en classe de sciences, plus précisément sur la gestion des productions d'élèves. Suite à une présentation générale des façons de gérer les productions d'élèves, des exemples tirés de transcriptions de séances sont étudiés. Les thèmes utilisés comme exemples sont la radioactivité, l'optique et l'électricité statique. L'objectif pour les enseignants est de connaître les différentes façons de gérer des productions d'élèves et de connaître également les conceptions épistémologiques et didactiques qui les sous-tendent (Morge, 2005a). Enfin, la troisième session de formation dure six heures. Elle consiste à simuler sur ordinateur la gestion de productions d'élèves pendant la séance sur le modèle particulaire et dans un deuxième temps à analyser les décisions prises lors de la simulation. Le but pour les enseignants est ici d'acquérir des connaissances professionnelles

[24] *Pour construire le logiciel, nous avons donc emprunté une séance (Chomat et al, 1992) construite dans le cadre de recherche en didactique, testée dans plusieurs classe, et dont l'effet sur les acquisitions des élèves est connu. Le choix des séances est une étape fondamentale dans le processus de développement de recherches sur la simulation sur ordinateur de gestion de séances. Les critères de choix devront faire l'objet d'une réflexion approfondir.*

locales socio-constructivistes directement ancrées dans le contexte de la séance sur le modèle particulaire (PCK). Les activités et les objectifs de chaque session de formations sont précisés ci-dessous.

Le but de ce dispositif de formation est de préparer les enseignants à la gestion des interactions en situation d'investigation scientifique et de façon plus spécifique à la gestion de la séance sur le modèle particulaire.

La session de formation S1 : Analyse de la séance d'introduction au modèle particulaire

La première séance de formation (S1) dure 3 heures. Elle porte sur l'analyse des enjeux épistémologiques et didactiques de la séance d'enseignement portant sur le thème du modèle particulaire. Les documents d'accompagnement de programmes présentant cette séance (MEN, 1997), le document donné aux élèves en début de séance et un article des auteurs de cette séance (Larcher et al. 1990) sont analysés dans la perspective de dégager a) les conceptions des élèves prises en charge dans cette séance (les gaz n'ont pas de masse, la quantité de matière est proportionnelle à son volume, il n'y a pas de vide dans la matière, transfert des propriétés macroscopique de la matière à ses propriétés microscopiques) b) les propriétés du modèle également prises en charge dans cette séance (il est hypothétique, évolutif, explicatif et prédictif ; il possède une cohérence interne, un domaine de validité) c) les contenus abordés dans cette séance (e.g. les premières propriétés du modèle particulaire), et ceux qui ne le sont pas (e.g. l'agitation particulaire). Une comparaison entre cette séance et celle qui est suggérée dans un manuel scolaire montre que cette dernière occulte à la fois l'activité de modélisation et la prise en compte des conceptions des élèves.

Session S2 : La gestion des productions d'élèves en situation d'investigation scientifique

La seconde séance de formation (S2) dure trois heures. Elle porte sur les phases de conclusion, moment de l'interaction maître-élève où l'enjeu est d'accepter ou de refuser une production d'élève. Les stagiaires sont d'abord invités à s'exprimer par écrit sur la façon dont ils penseraient intervenir face à différentes productions d'élèves. Ces productions sont des productions réelles d'élèves issues d'enregistrements de séances portant sur les thèmes de l'optique, la radioactivité et l'électricité statique. Une vingtaine de productions est ainsi traitée par les stagiaires. Ensuite, le formateur présente les différents types de phases de conclusions qui existent et les conceptions qu'elles véhiculent (Morge, 2005). Deux types de phases de conclusion sont distinguées au cours de cette présentation : la phase de négociation et la phase d'évaluation (cf. partie 1.4).

Suite à cette présentation des phases de conclusion et des conceptions qui les sous-tendent, les stagiaires imaginent à nouveau la façon dont ils interviendraient dans les mêmes situations que celles qui leur ont été présentées au début de la session. Les interventions imaginées par les stagiaires sont comparées entre elles et discutées au regard de l'apport théorique préalable sur la gestion des productions d'élèves. Pour chaque production d'élèves, les enseignants sont invités à interpréter l'origine de la production de l'élève (les conceptions mises en œuvre) en cherchant à expliciter le raisonnement de l'élève et les connaissances qu'il mobilise. L'enjeu de la phase d'interprétation est la compréhension de l'origine de la production de l'élève. Si la production a été invalidée au cours de la phase de conclusion,

cette phase d'interprétation peut être l'occasion de remettre en cause le raisonnement ou les connaissances mobilisées par l'élève.

Session S3 : Simulation analysée de la gestion de la séance sur l'introduction du modèle particulaire

La troisième session de formation (S3) d'une durée totale de six heures comporte deux parties d'une durée identique. Dans un premier temps, les enseignants effectuent une simulation sur ordinateur de la gestion de la séance du modèle particulaire. Ils acceptent refusent des productions d'élèves, ils argumentent leurs décisions, ils interprètent l'origine de certaines productions, ils modifient ou complètent des consignes… Le deuxième temps de la formation est celui de l'analyse de la simulation. Le logiciel de simulation est utilisé par le formateur devant l'ensemble des enseignants-stagiaires à l'aide d'un vidéo-projecteur. Chaque enseignant possède une version papier de l'ensemble des décisions qu'il a prises au cours de la simulation. Ces décisions sont comparées entre elles et argumentées sur un plan pédagogique, épistémologique ou scientifique. Dans ce deuxième temps de formation, les savoirs initialement présentés dans les sessions 1 et 2 sont maintenant contextualisés. Par la simulation et son analyse, les enseignants découvrent un ensemble de productions d'élèves, ils découvrent comment les conceptions des élèves sur la matière s'incarnent dans certaines productions, ils découvrent comment interpréter certaines productions. Pour chaque production ils imaginent, échangent et comparent des arguments permettant d'accepter ou de refuser ces productions, puis ils interprètent l'origine de ces productions. Les savoirs mis en jeu sont contextualisés, intimement liés au contenu d'enseignement.

Dans la partie suivante, nous nous intéressons à l'évaluation de l'impact des dispositifs de formation sur les enseignants (leurs pratiques effectives, leurs conceptions, les difficultés qu'ils rencontrent dans la gestion socio-constructivite des interactions). Les résultats permettent de mieux connaître les conditions favorables au développement de l'activité des enseignants. La très grande majorité des recherches visant à évaluer l'impact d'une formation s'intéressent à l'impact sur les enseignants. Si ce type de recherche est absolument nécessaire, nous estimons qu'il est insuffisant puisqu'il ne prend pas en compte l'impact sur les élèves.

III.3. Les différents niveaux d'évaluation d'une formation

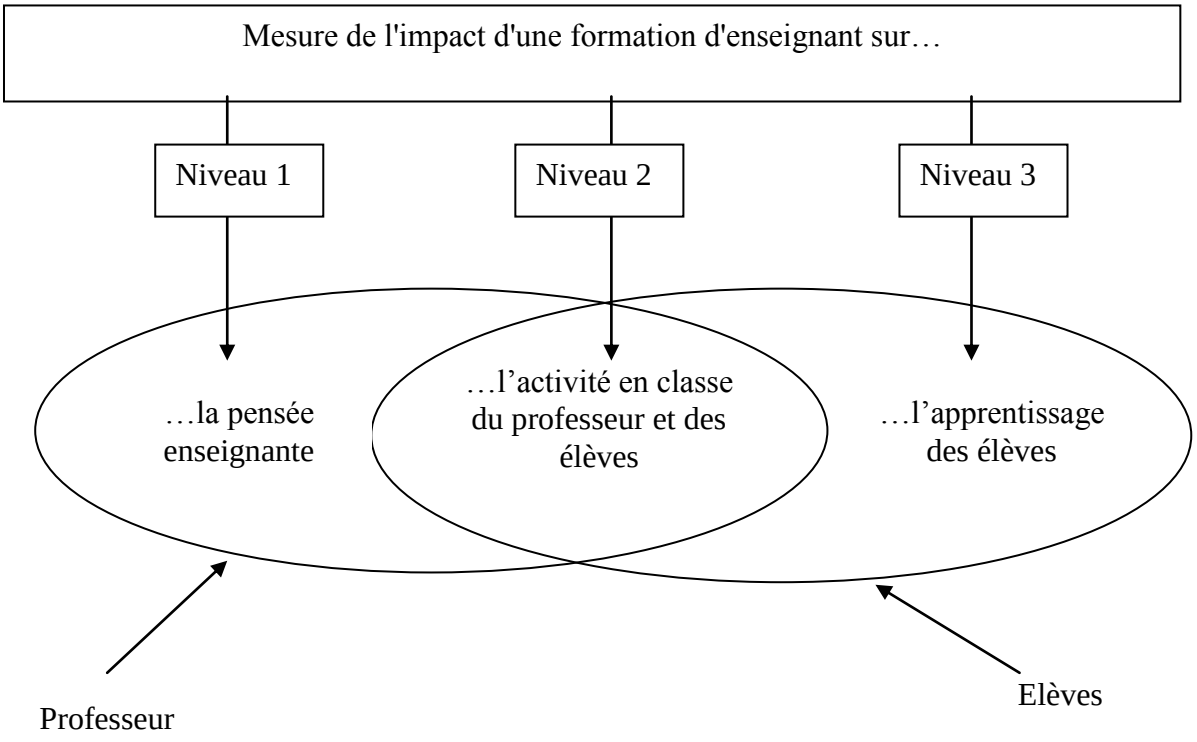
La plupart des recherches sur la formation possède une dimension d'ingénierie dans laquelle des dispositifs de formation sont conçus, mis en œuvre et évalués (e.g. Désautels et al. 1993, Viennot 1997, Robardet 1998, Saint-Georges 1998, Robardet 1999, Fillon 2001, Morge 2001a, Boilevin et Dumas-Carré 2001, Saint-Georges 2001, Schneeberger & Gouanelle 2001, Antheaume 2001, Van driel De Jong Verloop 2001, Yip 2001, Luft 2001, Schaverien 2003, Bitain-Friedlander Dreyfus & Milgrom 2004, Lavonen et al. 2004, Lee 2004).

Toutes les validations des dispositifs de formation comportent une dimension théorique et une dimension empirique. La validation théorique s'effectue par une argumentation du dispositif et de ses objectifs en référence à des résultats de recherche antérieurs et à divers cadres théoriques sur l'enseignement, l'apprentissage et la formation d'adulte. La validation empirique consiste généralement à évaluer l'impact de la formation sur les enseignants.

Mais cette méthode d'évaluation est selon nous incomplète. En effet, la majorité des dispositifs de formation visent une amélioration de l'apprentissage des élèves à travers la formation de leurs enseignants. Ainsi, le but ultime d'une majorité de formations est d'avoir un effet sur les élèves. Or cet effet n'est, à notre connaissance, encore pas ou peu évalué dans le champ de l'enseignement scientifique.

En partant du principe selon lequel la formation des enseignants est un moyen de favoriser l'apprentissage des élèves, trois niveaux de validation empirique d'une formation d'enseignants peuvent être distingués. Le niveau de validation est différent selon que cette évaluation porte sur 1) la pensée enseignante, 2) l'activité réelle de l'enseignant et des élèves en classe ou 3) l'apprentissage des élèves dont les enseignants ont suivi la formation.

Figure 1
Les trois niveaux de validation empirique d'une formation d'enseignant



Le premier niveau de validation empirique d'une formation correspond à la mise en évidence d'un effet de la formation sur la pensée enseignante, c'est-à-dire "sur la façon dont les enseignants pensent, connaissent, perçoivent, se représentent leur profession, leur discipline, leur activité et, par extension, sur la manière dont ils réfléchissent aux problèmes quotidiens liés à leur activité d'enseignement, sur la manière dont ils résolvent leur problème, sur leur planification cognitive, leurs convictions, leur histoire personnelle et leur recherche de sens." (Tochon, 2000, p.130). Les méthodes généralement utilisées pour mesurer cet effet s'appuient sur l'analyse du discours enseignant. Plusieurs de ces méthodes peuvent être utilisées conjointement, parmi lesquelles on peut citer le questionnaire et / ou l'entretien (e.g. Désautels et al. 1993, Viennot 1997, Robardet 1998, Van driel et al. 2001, Lavonen et al. 2004), l'analyse d'écrits de l'enseignant comme le carnet de bord ou le mémoire professionnel

(e.g. Désautels et Larochelle 1993, Robardet 1999) ou l'analyse de l'évolution des connaissances mobilisées par les enseignants en situation de formation (Saint-Georges 1998, Fillon 2001, Boilevin et Dumas-Carré 2001, Morge 2001a, Schaverien 2003, Bitain-Friedlander Dreyfus & Milgrom 2004). La modification de la pensée enseignante est alors un levier utilisé pour modifier la pratique enseignante qui, à son tour, modifiera l'apprentissage des élèves. Le lien entre pensée et pratique enseignante n'est pas contrôlé dans ce premier niveau de validation. Il est simplement supposé. Pour cette raison, la mise en évidence de l'effet d'une formation sur les pratiques effectives constitue un niveau supérieur de validation.

Le second niveau de validation empirique d'une formation est donc atteint lorsque l'effet de la formation sur les pratiques effectives des enseignants est mis en évidence (e.g. Boilevin et Dumas-Carré 2001, Fillon 2001, Luft 2001, Morge 2001a, Yip 2001, Lee 2004). Dans ce cas, la méthode utilisée est l'observation des séances de classe. Cette observation peut être directe si l'observateur est dans la classe pendant la séance ou indirecte si l'analyse est effectuée à partir d'un enregistrement audio ou vidéo de la séance. En considérant que l'enjeu de toute formation est de favoriser l'apprentissage des élèves, ce second niveau de validation est supérieur au précédent. En effet, si les pratiques enseignantes sont modifiées, l'activité des élèves l'est également, ce qui peut avoir un effet sur leurs apprentissages. Puisque l'activité de l'enseignant et celle de l'élève sont étroitement liées, nous ne distinguons pas, dans ce second niveau, les recherches qui montrent une modification des pratiques enseignantes et celles qui montrent une modification de l'activité des élèves en classe. Mais, si l'analyse de l'activité de l'enseignant et des élèves en classe permet d'inférer un effet sur l'apprentissage, ce dernier n'est toujours pas mis en évidence.

Le troisième et dernier niveau de validation empirique d'une formation montre l'effet de la formation des enseignants sur l'apprentissage des élèves. Ce troisième niveau de validation est supérieur au précédent si on considère que le but ultime d'une formation est de favoriser l'apprentissage des élèves à travers la formation de leurs enseignants. Les recherches bibliographiques effectuées n'ont pas permis de trouver des travaux de didactique des sciences montrant une validation de niveau trois. Seul le travail de Bartholomew et al. (2004) mentionne la réalisation d'une telle évaluation sans que les auteurs ne présentent leurs résultats car le traitement de leurs données n'était pas encore achevé au moment de la publication de l'article. La recherche présentée dans cet article s'inscrit dans ce troisième niveau de validation en fournissant les résultats de l'évaluation de l'impact d'une formation sur les performances des élèves. Ce dernier niveau de validation correspond à celui que Guskey (2000) appelle dans sa propre taxonomie 'student learning outcomes'.

III.4. Evaluation de l'impact des formations sur les pratiques effectives des enseignants

Les deux dispositifs que nous avons construits ont été évalués selon deux méthodes différentes. Le premier dispositif de formation a fait l'objet d'une évaluation de niveaux 1 et 2.

Concernant le premier dispositif, l'évolution des connaissances mises en œuvre par les enseignants est inféré à partir d'un entretien, de leur mémoire professionnel ainsi que de l'enregistrement des moments de formation (niveau 1). L'évolution des pratiques effectives des enseignants a fait également l'objet d'une étude (niveau 2). Les séances d'enseignement

ont été enregistrées et transcrites (Morge, 1997). Ces données permettent un suivi longitudinal des pratiques d'un même enseignant au cours de différentes séances.

Le deuxième dispositif de formation (composé de 3 sessions) a fait l'objet d'une évaluation de niveaux 2 et 3. Les séances d'enseignement réalisées par les stagiaires ayant suivi la formation ont été enregistrées. Les enseignants réalisent tous la même séance (même activités proposées aux élèves) ce qui permet de comparer la gestion des productions d'élèves par les enseignants ayant suivi S1, S1+S2, S1+S2+S3. Une évaluation des élèves dont les enseignants ont suivi soit S1, S1+S2, S1+S2+S3 a permis d'évaluer l'impact de la formation des enseignants sur leurs élèves.

III.4.1. Un suivi longitudinal d'évolution des pratiques et des conceptions (évaluation du dispositif 1 de formation)

Lors de la première année, dans le cadre du mémoire professionnel, les deux stagiaires, nommées ici N. et S., élaborent, gèrent et analysent une première séquence sur le thème du tableau périodique des éléments. Lors de la deuxième année, S. prépare puis gère deux séquences d'enseignement sur les thèmes du pont de diodes (3ème) et de l'électricité statique (4ème). N. et S. ont accepté un entretien portant sur la formation suivie.

Différentes discussions menées lors de la présentation de la formation, l'analyse des mémoires professionnels et de l'entretien permettent de confirmer que ces deux stagiaires, ont avant formation, une approche transmissive ou dogmatique dans leur enseignement. Elles utilisent des arguments d'autorité pour statuer sur les réponses d'élèves et attendent des élèves qu'ils fournissent la bonne réponse. Les extraits suivants sont repris de Morge (1997b) et Morge (2001a).

- Première séquence : se dégager d'un enseignement transmissif et/ou dogmatique

Une première séquence sur "le tableau périodique" est envisagée par les enseignantes. Demande leur est faite de se dégager d'un enseignement transmissif et/ou dogmatique. Elles prévoient alors un cours sous forme d'une succession de questions très fermées. Les élèves doivent classer des éléments qui leur sont proposés. Pendant la gestion de la séance, les stagiaires demandent aux élèves d'argumenter leur réponse. Les arguments d'autorités sont évités.

Extrait de la séance

Les élèves cherchent le nombre de possibilités de liaison du Silicium. A ce moment de la séance, les connaissances de référence disponibles pour les élèves sont les suivantes :
- l'élément carbone a quatre possibilités de liaison
- l'élément azote a trois possibilités de liaison
- les éléments oxygène et soufre ont deux possibilités de liaison
- les éléments hydrogène et chlore ont une possibilité de liaison
- le silicium se combine avec l'oxygène dans les proportions codifiées par la formule chimique suivante : SiO2.

Au tableau, un élève place l'élément silicium sous le chiffre deux, ce qui correspond à deux possibilités de liaison.

1 P : - L'élément silicium a donc deux possibilités de liaison. Est-ce que tout le monde est d'accord ?
2 E : - Oui (par l'ensemble de la classe).
3 P : - Bien, j'aimerais la justification maintenant.
4 L'élève représente la molécule SiO2 : O _ Si _O
5 P : - Tout le monde est d'accord ?
6 E : - Oui (par l'ensemble de la classe).
7 P : - Et bien pas moi ! Si je regarde le tableau, je vois l'élément oxygène a deux possibilités de liaisons et S. (l'élève) n'en a mis qu'une ! L'élément oxygène a deux possibilités de liaison, il lui faut deux pattes.

Au lieu de dire à l'élève que sa réponse est fausse, N. demande à l'élève de justifier sa réponse (3P) ce qui lui permettra ensuite de montrer la contradiction entre la réponse de l'élève et le savoir préalablement établi (7P). L'enseignante se réfère ainsi aux connaissances préalablement établies (connaissances de référence) pour refuser la réponse de l'élève.

Caractéristiques générales de l'interaction travaillées lors de cette séquence
L'enseignant recherche, pendant la préparation de la séquence, les connaissances scientifiques supposées partagées par les élèves sur lesquelles ils vont ensuite pouvoir s'appuyer pour déterminer la validité des différentes propositions. Pendant la séquence, l'enseignant incite l'élève à faire fonctionner les connaissances scientifiques par des demandes d'argumentation et de recherche de validité des propositions des élèves au regard des connaissances scientifiques de référence. Le contrôle des propositions s'effectue en terme de validité au regard des connaissances de référence et de pertinence par rapport à la question posée.

Références épistémologiques et didactiques de ces caractéristiques
D'un point de vue épistémologique, c'est l'idée de construction de savoirs qui est introduite. Dans ce type d'interaction, le savoir préalablement établi (connaissances de référence) permet le contrôle des productions des élèves et sert ainsi de base à la construction d'un nouveau savoir. L'élève, disposant des connaissances lui permettant de s'insérer dans l'interaction, peut participer à la négociation des différentes productions. D'un point de vue didactique, l'élève est *effectivement pensé comme quelqu'un qui peut (ou doit) faire des choix négociés sur les savoirs, qui peut avoir une pensée réflexive à leur propos, qui peut aussi confronter différentes sortes de solutions* (Weil-Barais, 1994b, p. 7).

- Deuxième séquence : la prise en compte des représentations des élèves

La deuxième séquence envisagée porte sur le pont de diodes. Il est suggéré à S. de prendre en compte une conception des élèves sur le courant susceptible d'apparaître dans ce contexte : le courant réagirait en fonction des obstacles qu'il rencontre. Cette représentation risque d'interférer avec la compréhension de la circulation du courant dans le pont de diodes. L'anticipation des arguments possibles doit donc prendre en compte cette représentation. Au début de la séance, cette représentation peut être considérée comme une « connaissance de référence » dans la mesure où l'enseignante et les élèves peuvent l'utiliser comme argument de leurs prévisions.

Extrait de la séance

Les élèves pensent que le courant réagit en fonction des obstacles qu'il rencontre. Dans un montage, une pile, une ampoule, une diode en sens bloquant sont placées en série. Les élèves doivent prévoir si l'ampoule s'allume.
1 P : - Tu parles bien fort, tu expliques aux autres et les autres écoutent ce qu'elle propose.
2 E : - La lampe s'allume parce que le courant circule du + au -. La diode étant placée après la lampe, elle ne gêne pas le passage du courant dans la lampe.
3 P : - D'accord, tu nous montres sur le dessin ce que fait le courant...
L'expérience permet de voir que l'ampoule ne s'allume pas.
... 4 E : - Ça vient de la lampe qui est grillée.
5 P : - Attendez. On va voir si la lampe est grillée.
6 P : - Bon, tout marche normalement.
7 E : - Les fils sont coupés à l'intérieur.
8 P : - N'exagérez pas, les fils, je les ai pris ce matin avec les autres et tout a fonctionné.
9 E : - Mais là ça ne marche pas.
10 E : - C'est qu'il y a un problème quelque part.
11 P : - Il y a un problème quelque part. Où ça ?
12 E : - Dans le branchement.
13 P : - Il y a un problème dans le branchement ?
14 Plusieurs élèves : - Non.
15 P : - Donc, où est-ce qu'il y a un problème ?
16 E : - Dans ce qu'on a dit...

L'enseignante accepte comme argument de la prévision une conception du courant qu'elle sait pouvoir remettre en cause ultérieurement. La prévision " l'ampoule s'allume " (2E) est acceptée par l'enseignante (3P) relativement à une conception du courant qu'elle a accepté provisoirement de prendre en compte. Enseignante et élèves se réfèrent alors à cette même conception pour juger la validité de la prévision (3P). Après avoir vérifié que l'erreur de prévision n'est pas liée à un problème expérimental (5P, 6P, 7E, 12E), c'est la représentation qui va être remise en cause (16E).

Caractéristiques générales de l'interaction travaillée lors de cette deuxième séquence
La représentation des élèves constitue leur base argumentative. Pour assurer la co-référence, l'enseignant la considère à son tour, et pour un temps limité, comme la base argumentative partagée. Autrement dit, pour un instant, la représentation est considérée, dans l'interaction, comme une connaissance de référence. Par conséquent, des prévisions cohérentes avec cette représentation peuvent être acceptées comme telles par l'enseignant. Si les prévisions des élèves sont contradictoires avec le résultat expérimental et cohérentes avec la représentation utilisée, celle-ci peut être remise en cause et remplacée par une représentation plus pertinente. Celle-ci peut être à son tour introduite dans les « connaissances de référence » partagées et servir dans un deuxième temps de base à l'argumentation commune pour l'enseignant et les élèves.

Références épistémologiques et didactiques de ces caractéristiques
D'un point de vue didactique, c'est le statut de l'erreur, de la représentation des élèves qui est en jeu. Introduite dans les « connaissances de référence », une représentation erronée est considérée pendant un temps de l'interaction comme une référence commune aux élèves et à l'enseignant. D'un point de vue épistémologique, c'est le caractère évolutif des savoirs qui est pris en compte. Le savoir scientifique est conçu comme une construction de la pensée qui passe par des phases de rupture allant d'une représentation à une autre plus performante.

- Troisième séquence : vers la diversification des modalités de contrôle et l'explicitation de la démarche

Le thème de cette séquence est l'électricité statique. Au début de la séquence, les élèves possèdent un modèle qu'ils devront compléter pour expliquer les nouveaux phénomènes présentés par l'enseignante. Cette tâche est plus ouverte que celle des séquences précédentes puisque les élèves ne possèdent pas toutes les connaissances leurs permettant d'expliquer ces phénomènes. Enfin, les conceptions épistémologiques et didactiques construites au cours des préparations et analyses de séances ont permis à l'enseignante de faire partager les enjeux épistémologiques de la tâche et d'analyser " in situ " le déroulement de la séance.

Extraits de la séance

Les élèves disposent du modèle suivant : il existe une électricité négative et une électricité positive. Il est arbitrairement décidé que l'ébonite est chargée négativement alors que le plexiglas est chargé positivement. Deux corps qui portent des charges de même signe se repoussent. Deux corps qui portent des charges de signe contraire s'attirent. Un corps, s'il n'a pas été chargé, est électriquement neutre. Il est possible de charger des corps par frottement. Une charge positive est symbolisée par un + et une charge négative est symbolisée par un -.
Les élèves doivent expliquer les phénomènes suivants. Une boule d'aluminium est attirée par une baguette d'ébonite. Parfois cette boule est éjectée alors que d'autres fois, elle reste collée. Pour expliquer les phénomènes observés, les élèves sont amenés à compléter le modèle en introduisant l'électrisation à distance par répartition asymétrique des charges dans le corps neutre et l'électrisation par contact avec transfert de charges.

En restant dans l'espace de négociation délimité par les connaissances de référence, S. développe différents types d'arguments pour invalider les réponses des élèves. Ces types d'arguments utilisés par S. sont : le renvoi au modèle préalablement construit, la réalisation d'une contre - expérience, le raisonnement par l'absurde, le repérage d'une inadéquation entre la réponse de l'élève et la question posée, la réalisation d'une expérience, l'identification d'une étape de l'interprétation inexpliquée avec le modèle (Morge, 2001b). On voit ici l'enseignante inventer des modalités de contrôles de productions qui relèvent de la négociation. Les concepts de phases de négociation et de connaissances de référence offrent un espace argumentatif qui peut prendre différentes formes.

S. ne se contente pas uniquement de gérer les réponses d'élèves. Elle cherche à rendre explicite la démarche utilisée et l'enjeu de la tâche : utiliser la valeur prédictive du modèle pour juger de sa pertinence (2P).

1 E : - Faut prévoir ce qu'il va se passer.
2 P : - Voilà, vous prévoyez ce qu'il va se passer. Alors, vous n'oubliez pas qu'on essaye. Le but de cette expérience, c'est d'essayer de vérifier notre modèle. Donc, vous reprenez bien ce qu'on a fait ce matin. Vous essayez de voir, de prévoir ce qu'il va se passer, après on fera l'expérience et si vous avez prévu quelque chose qui se vérifie par l'expérience, donc, notre modèle sera quelque chose d'acceptable.

Une fois que le modèle est complété avec l'électrisation par contact, S. demande à ses élèves de prévoir le comportement de la tige mobile d'un électroscope lorsque le bâton d'ébonite

frotté préalablement est retiré de l'électroscope après contact avec ce dernier. Les élèves prévoient que la tige mobile va retomber alors que, pendant l'expérience, la tige mobile reste levée.

1 P : - Alors est-ce que, ça, ce que tu viens d'expliquer, Peter, est-ce que ça remet en cause le modèle ? Est-ce qu'on l'avait prévu ça, qu'il y avait des charges négatives qui pouvaient...
2 Plusieurs élèves : - Non.
3 P : - Oui, mais est-ce qu'on l'avait dit dans notre modèle qu'il y avait des charges négatives qui pouvaient aller sur l'électroscope ?
4 E : - Avec la boule.
5 E : - Oui parce qu'on avait dit qu'il y avait des charges qui pouvaient (inaudible).
6 P : - Oui puisque, au moment où elle est éjectée, c'est parce qu'elle a pris des charges négatives. Donc on l'avait prévu dans notre modèle. Par contre, vous l'avez pas pris en compte. Donc la prédiction d'expérience a été fausse. D'accord ?
A l'unanimité les élèves pensent que la tige va retomber. Maîtrisant les enjeux de la tâche (1P), l'enseignante rappelle avec les élèves (3P, 4E, 5E) que le modèle incluait la possibilité d'un transfert de charge par contact. L'erreur de prévision est donc liée à utilisation incomplète du modèle et ne remet pas en cause sa validité (6P).

Caractéristiques générales de l'interaction travaillées lors de cette séance
Pendant l'interaction, l'enseignant peut prendre en compte des objectifs de démarche. Il peut proposer des tâches plus ouvertes. Répondre à ces questions ouvertes peut nécessiter, de la part des élèves, l'élaboration d'une démarche de résolution avec définition de sous - tâches nécessaires à la résolution du problème initial. L'enseignant peut également expliciter aux élèves les enjeux de la tâche, la démarche suivie. On observe une grande variété des arguments utilisés dans les phases de négociation.

Références épistémologiques et didactiques de ces caractéristiques
D'un point de vue épistémologique, la science ne se caractérise pas uniquement par ses productions mais également par les démarches qu'elle emprunte qui peuvent donc être un enjeu d'interactions. Les objectifs d'apprentissage ne se limitent aux savoirs produits par la science mais peuvent également s'étendre aux démarches qu'elle utilise pour produire et contrôler ces mêmes savoirs.

III.4.2. Ce que l'on apprend des conditions de développement des pratiques enseignantes

L'analyse des séquences et des enregistrements de séances montre une évolution progressive des pratiques enseignantes. Ainsi, cette étude de cas (deux enseignantes-stagiaires volontaires ont participé à cette formation) semble montrer que ce premier dispositif peut avoir un impact sur les pratiques enseignantes.

III.4.2.1. Des décalages successifs permettent une évolution progressive des pratiques

C'est donc par décalages successifs, que les nouvelles pratiques et nouvelles conceptions sont introduites et suggérées. Les enseignants adhèrent ou rejettent ces suggestions en fonction de ce qu'ils sont capables de produire et de gérer. Progressivement les tâches proposées sont

d'un niveau de qualification de plus en plus élevé (Fillon, 2001), les préparations de séquences prennent en compte les conceptions des élèves. Sur le plan de la gestion de la séance, les arguments utilisés dans les phases de négociation se diversifient progressivement, des enjeux d'ordre épistémologiques sont pris en charge par l'enseignant au cours de l'interaction avec les élèves. Les pratiques enseignantes peuvent donc évoluer vers la conception de séquences d'enseignement donnant une place importante à l'activité de l'élève et vers une gestion socio-constructiviste des interactions en classe.

Toutefois, un point de la formation n'a pas été véritablement mis en œuvre dans les classes. En effet, lors des préparations de gestion des tâches de chaque séquence d'enseignement, les enseignantes avaient prévues de déléguer aux élèves le contrôle des réponses. Cette possibilité est théoriquement envisageable dans la mesure où les connaissances utilisées dans l'argumentation sont constituées par des connaissances partagées par la classe. Mais l'analyse des transcriptions montre que ce contrôle est effectué très majoritairement par les enseignantes. Ce choix réside, selon nous, dans la volonté de limiter les perturbations liées à leur nouvelle pratique. En déléguant le contrôle des productions aux élèves, l'enseignante ajoute un degré de liberté dans les interactions ce qui en complique la gestion. En effet, l'enseignante devra contrôler non seulement les réponses et justifications des élèves mais également les modalités de contrôle qu'ils mettent en oeuvre. Les élèves ayant eux aussi des difficultés à exercer leur nouveau rôle de producteur de savoirs, l'enseignante limite cette perturbation en prenant en charge le contrôle de validité des propositions. Cette délégation du pouvoir de juger les productions paraît plus envisageable une fois que les élèves auront vu l'enseignant exercer ces jugements de validité et que les protagonistes auront bien stabilisé et compris leur rôle.

III.4.2.2. Gérer des séquences d'investigation c'est une prise de risque

Les enseignantes (N. et S.) ont initialement proposé des tâches extrêmement simples. Cette faible ambition peut trouver plusieurs explications. Lors de l'entretien N. et S. expriment plusieurs facteurs qui marquent une certaine appréhension de se lancer dans ce type de séance. En effet, les enseignantes, en essayant d'abandonner des arguments d'autorité, vont prendre le risque de se trouver acculées par les élèves qui auront pensé à des solutions inattendues et que les enseignantes ne sauront pas réfuter sur-le-champ. Ces situations risquent de mettre en péril, aux yeux des élèves, des parents et des autres enseignants, la reconnaissance de leurs compétences professionnelles. Cela justifie la nécessité, dans un dispositif de formation, de diminuer la prise de risque et l'angoisse si on veut que les enseignants rentrent plus facilement dans la mise en œuvre de séquences d'investigation. La simulation sur ordinateur devrait remplir cette fonction car elle permet l'enseignant de ne pas aller vers l'inconnu.

(S) Il y avait toujours une angoisse parce qu'il y a toujours euh...

(N) Ben l'angoisse de la nouveauté.
(N) Et puis c'est vrai que deux mois après la rentrée on avait trop peur de dire une bêtise. (S) C'est vrai.
(N) La peur de pas être à la hauteur surtout.
(S) Pas rassurée par rapport à...
(S) Par rapport au métier en général.

(N) Voilà.
(S) Voilà. Le métier en général.
(S) Oui, dans un sens, ça a rajouté une angoisse.

(S) Mais on était prêt à prendre le risque parce que c'était quelque chose qui était tellement attrayant en fait, qu'on était prêt à prendre le risque.
(S) Et puis c'est pareil, c'est encore une question pratique, mais au bout de plusieurs années quand on est dans le même collège et tout, et on a une réputation. Si on l'avait mis en place alors qu'on est dans un collège en poste fixe et qu'on rate, on se plante carrément, ça marche pas on est passé pour je sais pas, pour quelqu'un qui sait rien auprès des élèves parce qu'on n'a pas su répondre à leur euh. Il y a une réponse qui a pas collé et puis on a pas su s'en défaire et bien après, ça va vite dans le collège ou dans le lycée : "Ouais, la prof elle est nulle, elle sait pas faire et tout ça."[25] Tandis que là, cette année, on s'est dit même si ça rate, même si on a un problème.

On retrouve ici très clairement la dimension multifinalisée de l'activité d'enseignement explicitée par Goigoux (2005).
« Nous considérons aussi que l'activité d'enseignement est dirigée dans plusieurs directions simultanément, c'est pourquoi nous la qualifions de multifinalisée... Nous distinguons quatre directions principales selon que cette activité est orientée :

- *vers les élèves : l'enseignant vise à faciliter les apprentissages des élèves, dans différents registres cognitifs et sociaux (instruire et éduquer).*
- *vers la classe : l'enseignant vise à faire vivre le collectif-classe en tant que groupe social …*
- *vers les autres acteurs de la scène scolaire : l'enseignant consacre une partie de ses ressources à rendre lisible et acceptable (voire à valoriser) son action professionnelle à leurs yeux. Il faut aussi qu'il puisse intégrer son activité à celle des autres : les parents de ses élèves, sa hiérarchie…*
- *vers l'enseignant lui-même : l'activité d'enseignement produit des effets sur celui qui l'accomplit à la fois sur le plan physique – fatigue, santé – et sur le plan psychique, celui de l'accomplissement de soi… "*

III.4.2.3. La conception et la gestion de séquence d'investigation sont contre nature

En effet, N. et S. expliqueront qu'elles ont dû lutter pendant la séance contre des comportements naturels tels que celui de laisser peu de place à l'expression des élèves, de prendre la réponse de l'élève pour ce que l'enseignant voudrait qu'elle soit, ou d'user d'arguments d'autorité. Une forme de contrôle conscient est opéré pour maîtriser son comportement.

(N) Il s'est pourtant avéré que le plus difficile à gérer dans ce genre de séquence n'était pas justement la réaction des élèves mais justement ses propres réactions.... "Chasser le naturel, il revient au galop[26]."(...)"

---

[25] La simulation sur ordinateur de la gestion d'une séquence d'enseignement supprime tout risque de jugement de la part des élèves, des parents, des collègues… L'utilisation du logiciel permet de lever la pression du jugement extérieur ce qui permet aux enseignants qui seraient freinés par cette pression de se préparer (de se former) à de nouvelles pratiques.
[26] *Modifier ses pratiques nécessite une prise de distance, une réflexion dans l'action (Schön, 1986). L'utilisation du logiciel de simulation peut être un outil qui, en supprimant l'immédiateté de l'interaction inhérente à un*

(S) "Il faut perdre l'habitude de répondre aux questions que l'on pose ou d'attendre la réponse que l'on désire."
(*N) Souvent on fait le cours et puis on dit "Non mais attends, là ça ne va pas t'es en train de tout leur donner, ils vont pas comprendre grand chose". Et puis, tu tournes le truc complètement à l'envers. C'est eux qui participent et puis ça passe bien.*

Les enseignants ont dû également modifier leur façon de préparer cette séquence. Il s'agit d'élaborer un cours sous forme de questions qui vont permettre aux élèves de construire de nouvelles connaissances tout en pensant à la façon dont ces tâches vont être gérées. Habituées en tant qu'élèves, puis en tant qu'étudiantes à ne rencontrer que des savoirs sous leur forme achevée, N. et S. découvrent ici une autre façon de penser leurs préparations en essayant, selon leur expression, de "faire le chemin à l'envers". Il s'agit d'imaginer à la fois la façon dont ces connaissances peuvent se construire, les questions qui rendent possible cette construction et les contrôles qui peuvent être exercés sur les productions des élèves.

(S) Bon, il fallait déjà chercher la tâche, il fallait essayer nous même de construire cette tâche, de nous même construire le tableau périodique. Donc, déjà, c'était quelque chose qui était assez dur à faire.

(N) Et à la fac on a appris des théorèmes, on a appris des sciences, mais personne ne nous a jamais rien dit sur l'épistémologie. On a appris à faire, on n'a pas appris à comprendre, à retrouver. Donc, maintenant c'est à nous de faire le chemin à l'envers.[27]

III.4.2.4. L'adhésion des élèves aux séquences d'investigation n'est pas systématique, les enseignants ont du mal à évaluer les capacités cognitives des élèves

Les enseignants sont assez surpris que certains élèves fassent le choix de ne pas rentrer dans le nouveau rôle qui leur est attribué. Ce comportement peut tout à fait démobiliser les enseignants car c'est avant tout pour les élèves que des séances d'investigation sont proposées par les enseignants.

(N) "J'ai pu remarquer que certains élèves préféraient de loin le rôle d'apprenant passif. Finalement, je me rendais compte, tout au long de la séquence, que le travail préparatoire personnel que j'avais fait ne pouvait pas se mettre en place directement sans travail préparatoire collectif avec les élèves. Je comprenais qu'on ne pourrait pas faire passer les élèves d'un rôle à l'autre sans les avoir préparés à ce changement."

---

enseignement réel (Doyle,1986), facilite la mise ne place de cette réflexion dans l'action nécessaire à un changement de pratique.

[27] *Ainsi, la conception et la réalisation de séquences d'investigation ne sont des pratiques ni habituelles ni naturelles. Cela justifie la nécessité de mettre en place des dispositifs de formation visant à accompagner les enseignants dans la mise en œuvre de séquences d'investigation. Rappelons dans la perspective de construction d'un curriculum de formation que le dispositif de formation par simulation analysée ne prend pas en charge cette partie de la formation.*

Ce point négatif est en revanche largement compensé à la fois par l'attrait des élèves pour des séquences qui leur donnent une large part à la construction de connaissances et par la découverte du potentiel intellectuel des élèves.

(S) ...Dans une autre classe j'ai présenté le cours le pont de diodes comme ça, sous forme de cours, sous forme de transmissif. Bon ben après on m'a dit "Bon madame on comprend rien aux petites flèches qui se baladent dans tous les sens." Ça c'est l'évidence même. Eux ils n'avaient pas compris comment marchait le pont de diodes, alors que ceux qui avaient fait la tâche, qui avaient construit le pont de diodes, ils le maîtrisent parfaitement. J'ai eu beau changer la forme du pont de diodes, changer le sens des diodes, ils me retrouvent tous le sens du courant. Et ce n'est pas une classe qui réussit particulièrement, c'est pas parce que ce sont des petits génies.

(S) Pour la première [séance] ça m'a permis effectivement de voir qu'il y avait d'autres possibilités chez les élèves[28]*, mais le fait d'avoir vu cette façon de travailler, ça me permet, quand je discute avec d'autres, de leur prouver que les élèves, ils sont pas nuls. Ils ont des choses à dire, il faut les écouter et prendre le temps de les écouter, il faut prendre le temps de les faire travailler, ils ont des choses à dire qui sont intéressantes et ils sont capables de faire des choses. On peut leur demander beaucoup plus que ce qu'on fait en cours, d'apprendre bêtement en cours et de refaire les exercices.*

III.4.3. Evaluation de l'effet du deuxième dispositif de formation sur la façon dont les enseignants gèrent certaines productions

Dans ce deuxième dispositif (pour le descriptif se reporter à la partie 3.2.2) les enseignants réalisent tous la même séance d'enseignement. Selon que les enseignants ont suivi soit S1, S1+S2, S1+S2+S3, on peut observer une évolution dans la manière qu'ils ont de prendre en compte les productions d'élèves en situation réelle d'enseignement (Morge et al. soumis). Pour faciliter la comparaison, nous comparons les différentes façons dont les enseignants (ayant suivi soit S1, S1+S2, S1+S2+S3) gèrent en classe une même production d'élève.

Comment les enseignants (ayant suivi soit S1, S1+S2, S1+S2+S3) gèrent la production relative à la quantité de gaz ?

La séance sur le modèle particulaire débute par une activité d'observation au cours de laquelle il est demandé aux élèves d'observer la compression du gaz roux dans une seringue et d'écrire dans un tableau, ce qui a changé et ce qui n'a pas changé pour la seringue et pour le gaz. Dans la colonne « ce qui n'a pas changé », les élèves placent souvent la réponse suivante « la quantité de gaz ». En effet, la seringue étant hermétiquement close, le gaz roux n'a pas pu sortir et aucun gaz n'a pu rentrer. Par conséquent la quantité de gaz n'a pas changé. Mais, certains élèves confondent le volume et la quantité de gaz. En effet, dans la plupart des situations de la vie quotidienne, le volume et la quantité d'une matière sont proportionnels et ces deux concepts ne sont pas différenciés. Rappelons que la situation de la compression du

[28] *La simulation sur ordinateur peut être le moyen de montrer aux enseignants le potentiel intellectuel des élèves à condition bien sûr que le logiciel soit construit sur la base d'enregistrements de séquences réellesC'est une fonction supplémentaire du logiciel de simulation.*

gaz roux est l'un des premiers phénomènes rencontré par les élèves au cours duquel le volume de matière varie sans que la quantité de matière varie. L'analyse d'extraits des séances concernant la gestion de la production « la quantité de gaz a changé », permet de mettre au jour les différences de gestion de cette production entre les enseignants ayant suivi soit S1, S1+S2, S1+S2+S3.

Dans le premier extrait, un enseignant ayant suivi uniquement S1 accepte la production « la quantité de gaz ». Pourtant, une certaine confusion semble régner chez les élèves concernant les concepts de quantité, contenance, volume. Le terme de contenance est assez flou. Il renvoie plutôt à l'idée de volume d'un récipient alors que l'élève (2E1P) semble plutôt l'utiliser avec le sens de quantité puisqu'il répond « la contenance reste la même ». L'enseignant entretient cette confusion en insinuant que contenance et quantité sont similaires (9E1T). Enfin, l'acceptation de cette production n'est pas argumentée et la différence entre volume et quantité n'est pas explicitée. Ce faisant, l'enseignant ne facilite pas chez les élèves, la distinction entre ces concepts. En ne justifiant pas l'acceptation de cette production, il ne lie pas cette production aux connaissances précédemment acquises, ce qui, selon le cadre théorique socio-constructiviste ne favorise pas la construction de connaissances.

Extrait 1 : Enseignant ayant suivi F1

1E1 P:	Camille, oui.
2E1 E:	La contenance de gaz reste la même.
3E1 P:	Ah !
4E1 E:	Il a pas de forme propre.
5E1 P:	La contenance de gaz reste la même. Donc ça n'a pas changé. J'avais vu Antoine au fond qui avait écrit autre chose.
6E1 E:	Le volume.
7E1 P:	Dans ce qui n'a pas changé qu'est-ce que tu avais écrit ?
8E1 E:	La quantité de gaz.
9E1 P:	La quantité de gaz, la contenance donc effectivement la quantité de gaz. (l'enseignant écrit au tableau « la quantité de gaz »)
10E1 E:	Et le volume.
11E1 P:	Le volume c'est ce que j'attendais.

Dans ce deuxième extrait, un enseignant ayant suivi S1 + S2 va lui aussi accepter la production selon laquelle la quantité de gaz n'a pas changé. L'argument utilisé ici consiste à dire qu'aucun gaz n'est entré ni sorti de la seringue. L'argument est donné par un élève (4E2P) suite à la sollicitation de l'enseignant (3E2T). L'acceptation est ici argumentée. Les connaissances utilisées dans l'argumentation font partie des connaissances de référence. Ceci autorise à dire qu'il s'agit d'une connaissance co-construite.

Extrait 2 : Enseignant ayant suivi S1+S2

1E2 P:	Qu'est-ce que ça veut dire y'a la même quantité de gaz ? Est-ce que je vais pouvoir en rajouter là ?
2E2 E:	Non.
3E2 P:	Pourquoi ?
4E2 E:	Parce que y'en a pas qui rentre et y'en a pas qui sort.

Dans le troisième extrait, un enseignant ayant suivi S1 + S2 + S3, accepte également la production « la quantité a changé ». Face à la réponse un peu confuse de l'élève « il (le volume) est le même, mais il est serré dans la seringue », l'enseignant va, dans un premier temps, chercher à différencier quantité et volume de gaz (3E3T). La trace écrite qu'il dictera à

ses élèves oppose clairement la quantité et le volume ce qui peut aider les élèves à distinguer ces deux concepts : « le volume a changé, mais la quantité de gaz non » (10E3T). Les arguments utilisés pour accepter cette production sont variés : il n'y a pas eu de fuite (8E3P, 10E3T), la seringue était bouchée (11E3T), elle était hermétique (11E3T). Dans ce cas, l'enseignant et les élèves utilisent plusieurs formulations d'arguments. De plus, l'enseignant repère et explicite les conceptions des élèves (confusion quantité et volume).

Extrait 3 : Enseignant ayant suivi S1+S2+S3

1E3 P:	Maintenant j'ai vu quelque chose d'écrit sur le volume. Qu'est-ce qui s'est passé pour le volume ?
2E3 E:	Il est toujours le même, mais il est serré dans la seringue, alors qu'avant il avait plus de place.
3E3 P:	Bon en fait tu peux confondre entre deux choses. Tu peux confondre entre le volume et ce qu'il y a dedans. Le volume c'est à l'intérieur du cylindre. Alors, est-ce que le volume a changé ?
4E3 E:	Oui.
5E3 P:	Est-ce que le gaz qu'il y avait à l'intérieur a changé de quantité?
6E3 E:	Non
7E3 P:	Donc, ce qui n'a pas changé c'est… Par exemple, est-ce qu'il y a eu des fuites.
8E3 E:	Non.
9E3 P:	Non, j'ai bien bouché et le piston est bien hermétique.
…	
10E3 P:	Vous écrivez, le volume a changé, mais la quantité de gaz non, parce qu'il n'y a pas eu de fuite, j'ai bien appuyé pour que ce soit hermétique.
…	
11E3 P:	La seringue étant bouchée, y'a pas plus de gaz après, ni moins, qu'avant. La quantité elle ne change pas OK ?

Comment les enseignants gèrent la production : « entre les particules, il y a de l'air » ?

Le deuxième et dernier exemple concerne la question du vide entre les particules. Les élèves ont des grandes difficultés à accepter l'idée qu'entre les particules de gaz, il y a du vide. Certains élèves disent qu'il y a de l'air entre les particules, d'autres disent qu'il y a d'autres particules mais très peu acceptent l'idée du vide. Un enseignant ayant suivi uniquement S1 refuse l'idée qu'il y a de l'air entre les particules en argumentant de la façon suivante : s'il y avait de l'air entre les particules, celui-ci aurait été représenté dans les seringues au cours de l'activité 2, et comme elles ne sont pas été représentées, c'est qu'il n'y a pas d'air. Ici, l'enseignant inverse l'argumentation, en supposant que la représentation du modèle sert de preuve à l'inexistence de l'air entre les particules (les particules d'air n'existent pas puisqu'elles n'ont pas été représentées).

Un enseignant ayant suivi S1+S2, tente de mettre en défaut l'idée selon laquelle il y a de l'air entre les particules de gaz en prenant le cas de l'air et en tenant le raisonnement suivant : L'air est lui-même un gaz, il est donc formé de particules et entre les particules de l'air il ne peut pas y avoir d'autres particules d'air. Mais les élèves ne sont pas sensibles à cet argument, puisqu'ils répondent à nouveau qu'il y a de l'air, du gaz, de l'oxygène entre les particules. L'enseignant reprend ensuite la bonne réponse d'un élève disant qu'il y a du vide et refuse la réponse selon laquelle il y a de l'air entre les particules. Il finit donc par utiliser un argument

d'autorité, n'ayant pas trouvé d'arguments de validité adaptés et compréhensibles par les élèves, permettant d'invalider la présence d'air entre les particules de gaz.
Un enseignant ayant suivi S1 + S2+ S3, refuse l'idée selon laquelle il pourrait y avoir de l'air entre les particules. Il argumente ce refus en expliquant que si les espaces étaient occupés par des particules d'air, la seringue n'aurait pas pu être compressée. Ici l'enseignant s'appuie sur un phénomène connu des élèves. Il utilise des connaissances disponibles pour les élèves (le gaz est compressible, les particules ne le sont pas). Un peu plus loin dans la leçon, l'enseignant définit le vide comme une absence de particule.

En conclusion, cette analyse qualitative des enregistrements de séquence d'enseignement montre des différences de gestion des productions entre les enseignants qui ont suivi soit S1, S1+S2, S1+S2+S3. Ces différences de gestion peuvent se caractériser de la façon suivante :
Les enseignants ayant suivi uniquement S1 évitent certaines productions d'élèves qui ne sont donc pas prises en compte par les enseignants. Lorsque l'enseignant statue sur les productions des élèves, l'acceptation ou le refus des productions n'est pas systématiquement argumenté. Lorsque des arguments sont utilisés, ils ne sont pas nécessairement adaptés aux productions des élèves. Les enseignants ne repèrent pas ou peu les conceptions sous-jacentes à travers les productions des élèves.
Les enseignants ayant suivi S1 + S2, sont sensibilisés à la prise en compte des productions d'élèves dans l'interaction, ils ne laissent pas de côté certaines productions. Ils cherchent à argumenter l'acceptation ou le refus des productions d'élèves mais ils ne trouvent pas toujours les arguments adaptés. Ils ne repèrent pas toujours les difficultés d'apprentissage, les conceptions que les élèves mettent en œuvre à travers leurs productions.
Les enseignants ayant suivi S1+S2+S3 prennent mieux en compte l'ensemble des productions d'élèves apparues publiquement au cours de la séance, ils disposent d'un ou de plusieurs arguments adaptés justifiant l'acceptation ou le refus des productions des élèves et ils sont capables de repérer les difficultés d'apprentissage des élèves à travers l'analyse et l'interprétation des productions des élèves.

Cette analyse montre de façon qualitative comment la formation dispensée modifie les pratiques des enseignants vers une meilleure prise en compte des productions des élèves au cours de l'interaction. Cette gestion socio-constructiviste des productions d'élèves développée par la formation des enseignants devrait avoir un effet favorable sur l'apprentissage des élèves.

III.4.4. Ce que l'on apprend des conditions de développement des pratiques enseignantes : les LPCK ne se construisent pas spontanément

Les résultats de cette recherche fournissent des éléments de réflexion sur les conditions de développement des pratiques enseignantes. En effet, les résultats montrent un faible impact de la formation décontextualisée (S1+S2 / S2). En revanche, les résultats montrent un important changement de pratiques suite à la formation par la simulation analysée visant l'acquisition par les enseignants de connaissances professionnelles contextualisées (S1+S2+S3 / S1+S2).

Ce résultat nous permet d'avancer l'hypothèse selon laquelle les LPCK ne se construisent pas spontanément. En effet, la session de formation S3 n'est que la

contextualisation dans le cadre de la séance sur le modèle particulaire de connaissances acquises au cours S2 (comment gérer les productions d'élèves dans une perspective socio-constructiviste). Or la combinaison des contenus de S1 (connaissance des conceptions des élèves, tâches proposées dans la séance, objectifs de cette séance) et de S2 ne permet pas aux enseignants d'anticiper suffisamment les productions d'élèves, d'imaginer les arguments qu'ils peuvent mobiliser, de repérer les conceptions à l'œuvre dans certaines productions… Ces résultats nous montrent que l'acquisition de LPCK par la simulation analysée modifie de façon ostensible les pratiques enseignantes, et d'autre part que LPCK ne se construisent pas spontanément à partir de connaissances décontextualisées. Le mode d'acquisition des LPCK est, comme celui des PCK, majoritairement expérientiel (Grossman, 1990) car ces connaissances sont étroitement liées au contexte et plus précisément au contenu d'enseignement. Les LPCK doivent donc faire l'objet de formation visant spécifiquement leur acquisition

IV Partie 4 : Evaluation de l'efficacité de certaines pratiques enseignantes sur les performances des élèves

Le deuxième dispositif de formation que nous avons conçu et mis en place a fait l'objet d'une évaluation de l'impact de la formation sur les pratiques enseignantes et sur les performances des élèves dont les enseignants ont suivi la formation. Ce type de recherche relève d'une approche quasi-expérimentale qui provoque de manière contrôlée le changement de certains aspects de la pratique interactive afin d'en évaluer l'effet sur les performances des élèves. Ces recherches sont sur le plan méthodologique extrêmement complexes à monter, ce qui peut expliquer que « la relation entre ce discours de l'enseignant et l'apprentissage réalisé chez l'apprenant » est l'une des directions de recherches sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences qui reste encore très peu développée (Tiberghien, 2003 : 380) .

IV.1. Evaluation de l'impact du deuxième dispositif de formation sur les performances des élèves dont les enseignants ont suivi la formation

Le deuxième dispositif de formation permet de recueillir des évaluations d'élèves E1, E2, E3 dont les enseignants ont suivi respectivement les sessions de formation S1[29], S1+S2[30], S1+S2+S3[31].

Figure 3
Chronologie du recueil de données

Déroulement d'une année scolaire

[29] S1= session de formation portant sur l'analyse de la séance sur le modèle particulaire
[30] S2=session de formation visant à apprendre à gérer les productions d'élèves hors du contexte de la séance du modèle particulaire.
[31] S3= session de formation visant l'acquisition de LPCK par la simulation puis l'analyse de la simulation de la séance sur le modèle particulaire.

Formation	S1		S2		S3	
Recueil de données		Réalisation par les enseignants ayant suivi F1 et évaluation des élèves		Réalisation par les enseignants ayant suivi F1 + F2 et évaluation des élèves		Réalisation par les enseignants ayant suivi F1 + F2 + F3 et évaluation des élèves

L'hypothèse générale selon laquelle une formation à la gestion socio - constructiviste des productions d'élèves dans l'interaction maître-élèves en classe de sciences a un effet positif sur l'apprentissage des élèves, amène à prévoir que les résultats obtenus par les élèves se hiérarchisent de la façon suivante : E3>E1 et E2>E1. De plus, l'hypothèse selon laquelle les enseignants disposant de connaissances professionnelles locales contextualisées (LPCK) sont plus efficaces que les enseignants ne disposant que de connaissances professionnelles plus générales ou décontextualisées, nous amène à prévoir que les résultats suivants : E3>E2 (Morge, 2003a). Les résultats présentés dans cette partie sont tirés de (Morge et al soumis).

Les mesures réalisées auprès des élèves

L'évaluation réalisée après enseignement, se présente sous la forme d'un questionnaire comportant 15 questions. Les questions posées portent sur les conceptions des élèves à propos de la matière (les gaz n'ont pas de masse, la quantité de matière est proportionnelle à son volume, il n'y a pas de vide dans la matière, transfert des propriétés macroscopiques de la matière à ses propriétés microscopiques).

Tableau 1

	VRAI	FAUX	JNSP
Les gaz ont une masse.			
Une particule de gaz peut grossir.			
Une même quantité de gaz a toujours le même volume.			
Une même quantité de gaz a toujours la même masse.			
Il y a de l'air entre les particules de gaz.			
Il y a du vide entre les particules de gaz.			
Si deux seringues contiennent le même nombre de particules, ces seringues ont nécessairement le même volume.			
Si deux seringues contiennent le même nombre de particules, ces seringues ont nécessairement la même masse.			
Quand je comprime un gaz, les particules se rapprochent les unes des autres.			
Quand je comprime un gaz, les particules deviennent plus petites.			
Deux ballons de foot identiques sont gonflés de façon différente. Les deux ballons ont la même masse.			
Deux ballons de basket identiques sont gonflés de façon différente. Le nombre de particules est identique à l'intérieur des deux ballons.			
Le gaz est compressible (son volume peut être réduit par compression).			
Une particule de gaz est compressible (son volume peut être réduit par compression).			
Si le volume d'un gaz change, sa masse change nécessairement.			

La population expérimentale (enseignants et élèves) et les données recueillies

Les dix enseignants ayant participé au recueil de données sont tous des professeurs - stagiaires de Physique - Chimie en deuxième année de formation à l'IUFM d'Auvergne. Au total, 303 élèves ont participé au recueil de données. La répartition des élèves dans les groupes E1, E2, E3 est aléatoire car il dépend des classes attribuées aux enseignants en début d'année scolaire et de l'ordre dans lequel leurs enseignants abordent les différents thèmes du programme. Toutefois, ayant rencontré des difficultés pour obtenir les résultats des évaluations nationales dans certains collèges, notre étude porte sur les 172 élèves pour lesquels nous disposons de l'ensemble des indicateurs. En effet, les notes des élèves au test national en mathématiques, constitue un indicateur du niveau scolaire des élèves, ce qui nous a permis de tester l'homogénéité de nos échantillons et de classer les élèves en deux groupes forts / faibles afin d'étudier un éventuel impact différencié selon le niveau scolaire des élèves.

Après nous être assuré que tous les élèves avaient un niveau scolaire comparable, nous avons pu vérifier l'impact de la formation sur les performances des élèves.

Comparaison des effets de la formation des enseignants sur les résultats de leurs élèves

Tableau 2
Moyennes des performances obtenues par les élèves à l'issue des situations d'enseignement

Pupils X	*Average (SD)*	*F*	*Linear contrast*
P1	8.33 (3.10)	12.952***	19.135***
P2	8.66 (2.71)		
P3	10.67 (2.72)		

Key: P1, P2, P3 are pupils whose teachers respectively did the S1, S1+S2, S1+S2+S3 training sessions.

*** p<.0001

Une analyse de variance montre un effet de la formation (F (2, 171) = 12,952, p<.0001, η^2 =.13) et un test de contraste linéaire confirme que l'effet est dans le sens attendu (F(1,171) = 19,135, p<.0001).

Des analyses complémentaires ont également montré que l'effet est exactement le même pour tous les élèves, quel que soit leur niveau scolaire. Ces analyses révèlent la même différence significative dans les performances des élèves en fonction du niveau des élèves (F(2,77) = 6.823, p=.002 ; F(2,93) = 7.610, p=.001) et une augmentation linéaire de ces performances en accord avec nos hypothèses (F(1,77) = 11.232, p=.001 ; F(1,93) = 6.023, p=.016). Il semblerait donc qu'il n'y ai pas d'effet élève pouvant mieux expliquer la progression des performances que la formation elle-même.

Table 2. Averages of pupils' performances depending on their basic academic level, after the teaching situations

Pupils X	*Average (SD)*	*F*	*Linear contrast*
P1 (low-achievers)	7.43 (2.33)	6.823**	11.232**
P2 (low-achievers)	7.71 (3.22)		
P3 (low-achievers)	9.85 (2.83)		
P1 (high-achievers)	9.53 (3.64)	7.610**	6.023*
P2 (high- achievers)	9.10 (2.37)		
P3 (high-achievers)	11.38 (2.44)		

Key: P1, P2, P3 are pupils whose teachers respectively did the S1, S1+S2, S1+S2+S3 training

* p<.05
** p<.005

Une analyse de variance permettant de comparer les scores moyens obtenus au test pour chaque classe dans chacun des 3 niveaux de la formation confirme l'hypothèse selon laquelle il existerait un effet de l'enseignant, en plus de celui de la formation, sur les performances des élèves au test. Ces premières analyses permettent néanmoins de montrer un effet réel de cette formation qui est vraisemblablement modulée par les caractéristiques intrinsèques de chaque enseignant mais qui permet une progression des élèves quel que soit leur niveau.

IV.2. Ce que l'on apprend sur l'apprentissage des élèves : la gestion socio-constructiviste favorise l'apprentissage des élèves qu'ils soient d'un niveau scolaire fort ou faible

Sur le plan de l'apprentissage des élèves, les résultats de cette recherche montrent une corrélation entre la mise en place d'une gestion socio-constructiviste des productions d'élèves et l'accroissement des performances des élèves (Toczek et Morge, 2007, Morge et al. soumis, Toczek et Morge, sous presse). Ces résultats confirment, complètent et précisent les résultats obtenus en psychologie sociale (Vygotsky 1934, Doise et al. 1978, Bruner 1983, Perret-Clermont 1986, Toczek & Martinot 2004). En effet, cette recherche fournit de précieux résultats de ce point de vue puisqu'à ce jour, aucune recherche n'avait opérationnalisé ce type d'interactions socio-constructivistes lors d'un enseignement de sciences physiques.

Un autre résultat montre que les élèves dont les enseignants ont suivi S1+S2+S3 progressent de façon identique qu'ils soient catégorisé comme ayant un faible ou fort niveau

scolaire de base. Cette homogénéité de l'évolution des performances des élèves peut s'expliquer de la façon suivante. Les conceptions des élèves sur la matière sont partagées par une grande majorité d'entre eux (Larcher et al 1990). Ainsi, il ne paraît pas surprenant qu'une grande majorité d'élèves (qu'ils soient d'un niveau scolaire fort ou faible) progressent de la même façon et fassent évoluer leurs conceptions.

L'opposition entre conflit épistémique et conflit relationnel proposée par Mugny et al. (2003), offre une explication intéressante de ce résultat en décrivant les effets des relations sociales sur l'élève. En effet, l'interaction de type socio-constructiviste (lorsque l'enseignant négocie la validité des productions), amènerait les individus à réexaminer la validité de leur proposition en essayant véritablement de comprendre le problème. Au sein de cette régulation sociocognitive, ce type de conflit favoriserait donc des processus cognitifs de haut niveau. Les élèves sont alors face à un conflit épistémique. A l'inverse, lorsque les phases de conclusion sont plutôt orientées vers le contrôle de véracité des propositions des élèves, cette interaction de nature évaluative correspond à un type de conflit relationnel. Ce dernier est observé lorsque le sentiment de compétence des élèves est menacé. Ainsi, les élèves focaliseraient leur attention sur la protection de leur compétence perçue, au lieu de focaliser leur attention sur l'apprentissage. Les jugements de l'enseignant peuvent être perçus comme diagnostiques des compétences, ce qui rend la situation menaçante pour les élèves. Dès lors, de nature relationnelle, ce type de conflit n'est pas bénéfique pour l'apprentissage des élèves (Toczek et Morge, sous presse).

V Partie 5 : Perspectives de recherches sur la simulation de l'enseignement

Le logiciel de simulation d'enseignement que nous avons conçu (partie 2.1) peut être considéré comme un prototype exploratoire élaboré afin d'estimer les potentialités de cet outil. Dans cette note de synthèse, nous avons présenté les premiers résultats obtenus à l'aide de cet outil. Voulant orienter nos prochaines recherches vers le développement et l'utilisation de simulateurs d'enseignement principalement à des fins de recherches et de formation, il nous semblait nécessaire de nous pencher sur les travaux déjà existants relatifs à la simulation d'activités professionnelles. En effet, ce domaine a déjà été étudié dans le cadre de la didactique professionnelle et de la psychologie ergonomique. Nous ne prétendons pas ici évoquer l'ensemble des concepts et méthodes développées dans ces deux champs, mais plutôt nous limiter à l'étude des travaux, effectués dans ces deux domaines, relatifs à la simulation d'activité professionnelle.

Cette dernière partie de la note de synthèse est composée de deux sous-parties. Dans un premier temps nous tenterons de repérer les principales questions, concepts, méthodes et résultats relatifs à la simulation dans les champs de la psychologie ergonomique et de la didactique professionnelle. Dans un second temps, nous positionnerons nos premiers travaux par rapport aux recherches déjà effectués sur ce sujet et nous définirons les grandes lignes de nos futures recherches.

V.1. La simulation dans les champs de la didactique professionnelle et de la psychologie ergonomique

V.1.1. Les objectifs de la simulation

La littérature relative à la simulation d'activité professionnelle (e.g. Rogalski, 1997 ; Leplat, 1997, Béguin et Weil-Fessinna, 1997 ; Pastré 2005…) assigne de manière assez récurrente quatre objectifs à la simulation : la fonction de formation, de recherche, d'évaluation et de conception.

La simulation peut être utilisée pour observer l'activité d'un sujet. L'intérêt de la simulation est de pouvoir manipuler des variables des situations proposées à l'acteur afin d'étudier son comportement face à des situations différentes. Il s'agit de comprendre comment il fait un diagnostic, il résout des problèmes ou prend des décisions. L'enjeu est de mieux connaître l'activité du sujet. A ce propos, Leplat (1997 : 172) note que le simulateur constitue « un outil d'analyse de l'activité de référence et un moyen de tester des hypothèses sur les mécanismes régulant cette activité. »

Lorsque la simulation est utilisée pour former des professionnels, il s'agit, à l'aide du simulateur, de placer l'acteur dans des situations qui ressemblent à celles qu'il va vivre dans son contexte professionnel. L'objectif n'est plus ici de comprendre l'activité comportementale et/ou cognitive de l'acteur en fonction des situations, mais de développer des compétences professionnelles chez l'acteur de la simulation. Par exemple, des simulateurs sont utilisés pour

apprendre à piloter des avions, à tailler une vigne, à conduire une centrale nucléaire… Ce qui est étudié ici c'est le changement provoqué chez l'acteur par la simulation.

La simulation peut également être utilisée à des fins d'évaluation. En effet, la simulation est un des moyens de savoir si un sujet dispose des compétences nécessaires à l'exercice d'un métier ou si une formation complémentaire doit être engagée. Avant de placer les sujets en situation réelle la simulation permet d'évaluer le niveau de compétence atteint par le sujet. La fonction d'évaluation est peu discutée dans la littérature probablement parce que les « problèmes de fonctionnalités et de validité rejoignent largement ceux de la finalité de formation. » (Rogalski, 1997 : 57).

Enfin, Béguin et Weil-Fessinna (1997 :7) ainsi que Rogalski (1997 : 57) évoquent un quatrième et dernier objectif assigné à la simulation : celui de la conception. En effet, la simulation peut être utilisée à un moment du processus de conception d'un objet. La simulation permet d'évaluer la fonctionnalité de l'objet en simulant son utilisation avant même qu'il ne soit réellement créé. La simulation est alors une étape du processus de fabrication d'un produit comme par exemple un auto-cuiseur, ou une voiture (Lebahar, 1997). De la même façon la simulation peut être utilisée lors de la conception d'un système de travail (e.g. conception d'un hall d'hôpital) afin de prévenir les éventuels dysfonctionnements et éviter ainsi des remédiassions parfois coûteuses (Daniellou, 2007). L'objectif est ici de modifier a priori l'environnement, les outils du professionnel.

V.1.2. De la fidélité physique des simulateurs à la fidélité psychologique de la tâche et de l'activité du sujet en situation de simulation

Une approche un peu naïve de la simulation consisterait à croire que le but ultime de tout simulateur est d'approcher au mieux la réalité pour que la simulation soit la plus efficace possible. Le débat porte ici sur la capacité du simulateur, en tant qu'artefact (Rabardel, 1995), à imiter le comportement du milieu réel. Mais l'exemple suivant va nous permettre de montrer qu'il peut être avantageux de proposer un simulateur qui ne reproduit pas de façon fidèle le comportement du milieu réel et ce, quelque soit l'objectif de la simulation (observer l'activité du sujet, former, évaluer, concevoir). En effet, Caens-Martin (2005) a développé un logiciel de simulation pour apprendre à tailler la vigne. Le logiciel utilisé dans cette simulation calcule l'évolution de la plante en fonction de la taille que le cep a subie. L'opérateur peut donc accéder immédiatement à l'effet de la taille qu'il vient de réaliser. Il n'a pas besoin d'attendre plusieurs mois ou même plusieurs années. Le milieu réel, plus précisément la durée d'évolution du milieu a été volontairement modifiée par le concepteur du logiciel dans l'intérêt de l'utilisateur. Cet exemple montre clairement que la reproduction à l'identique de la situation réelle (simulation pleine échelle) n'est pas systématiquement un objectif ultime de la conception de simulateurs.

La critique d'une telle conception d'un « bon » simulateur est encore plus virulente lorsque l'on s'intéresse à la simulation utilisée à des fins de formation. Pastré (2005) dénonce une philosophie réaliste de la simulation. Sur le terrain il a pu constater que la situation de simulation avait pour fonction de « reproduire le réel avec le maximum de fidélité technique » (Pastré, 2005 :8), alors que pour la majorité des auteurs travaillant dans le champ de la simulation (e.g. Patrick, 1992, De Keyser et Samurçay (1998), Pastré 2005), c'est plutôt l'aménagement de situations susceptibles de favoriser l'apprentissage des sujets qui doit être

privilégié. A cette philosophie réaliste de la simulation, s'ajoute selon nous une philosophie simpliste de l'apprentissage selon laquelle l'apprentissage à une tâche s'effectuerait uniquement par la réalisation de cette tâche (autrement dit, c'est en forgeant que l'on devient forgeron). La formation se résumerait à faire vivre des situations simulées qui seraient des situations les plus proches possibles de la réalité. Or, utilisée dans une perspective de formation, la simulation peut gagner en efficacité d'une part en ciblant les objectifs prioritaires d'apprentissage et en se centrant sur quelques unes des tâches-clefs qui composent l'activité (e.g. atterrissage et décollage d'un avion), et d'autre part en choisissant les situations susceptibles de poser des problèmes et pouvant être très enrichissantes pour l'apprenant (panne d'un moteur). Nous ne mentionnons ici que les caractéristiques du simulateur qui peuvent intervenir sur l'apprentissage des sujets. Il ne faut pas oublier que le débriefing (analyse de l'action simulée) est également un facteur très important pouvant influencer l'apprentissage. Le simulateur devient un outil au service de la formation. Ce changement de point de vue (les conditions et objectifs d'apprentissage conditionnent la construction de la simulation au détriment de la recherche de la fidélité physique) opéré par Pastré (2005) amène l'auteur à parler de simulateur de résolution de problèmes plutôt que de parler de simulation « part task » ou « full scale » : « A la différence des ces simulateurs full-scale, les simulateurs de résolution de problèmes sont beaucoup pus simples et modestes. Ils ne cherchent pas reproduire avec un maximum de fidélité la situation de travail, mais à reproduire un problème significatif présent dans le travail. » (Pastré, 2005 : 11). Le critère de fidélité reste important, mais ce n'est plus la situation de travail simulée qui doit être fidèle, c'est le problème rencontré par le sujet et l'activité psychologique qu'il va déployer pour l'affronter. La fidélité psychologique devient donc le critère permettant d'évaluer la pertinence d'une simulation.

Les différences entre situation simulée et situation réelle, loin de constituer un handicap, peuvent devenir un avantage à condition que l'activité psychologique du sujet en situation simulée soit proche de celle du sujet en situation réelle. Savoyant (2005) distingue d'ailleurs fort justement le caractère partiel et fidèle d'une tâche simulée. En effet, une simulation peut être pertinente si elle est fidèle (solliciter une activité psychologique proche de celle sollicitée en situation réelle), même si elle ne propose que des tâches partielles (ce qui réduit la complexité de la tâche et éloigne la situation simulée de la situation réelle). Ainsi, une simulation peut à la fois être partielle et fidèle. L'opposition classique entre simulateur « full scale » et « part task », qui porte sur la comparaison entre le milieu simulé et le milieu réel passe au second plan. Ce qui devient prioritaire pour évaluer la pertinence d'un simulateur, c'est la comparaison entre, d'une part, la tâche et l'activité psychologique du sujet en situation de simulation et d'autre part, la tâche et l'activité psychologique du sujet en situation réelle de travail.

A propos de la différence entre la fidélité psychologique et physique d'un simulateur, une recherche, rapportée par Patrick (1992 : 500), montre que la ressemblance psychologique de la tâche est la caractéristique la plus importante de la simulation lorsque celle-ci est utilisée à des fins de formation. En effet, deux groupes de pilotes ont été formés sur des simulateurs différents, l'un des deux simulateurs ayant une faible fidélité physique. L'auteur rapporte que les performances des pilotes étaient identiques à l'issue des formations : "Therefore a procedure can be trained just as well with low coast, low physical fidelity simulations as with expensive, high physical fidelity simulation. The only requirement is that the simulation enables each step of the procedure to be represented adequately to the trainee." De même, dans un étude de (Rolfe et Wagg, 1982) rapportée par Leplat (1997 : 175), « beaucoup de données indiquent qu'une formation efficace peut être obtenue par l'utilisation de dispositifs de fidélité limitée ».

V.1.3. La question de la validité écologique des résultats obtenus par simulation pour étudier l'activité du sujet

Les deux principales fonctions de la simulation sont, rappelons-le, l'étude de l'activité du sujet et la formation. La question de la validité des résultats obtenus dans ces deux utilisations de la simulation se pose différemment.

En effet, lorsque l'enjeu de la simulation est la formation du sujet, l'évaluation de l'efficacité de la formation par la simulation s'effectue principalement par la vérification sur le terrain de l'acquisition des compétences visées par la formation. Mais, si le but de la simulation est d'accéder à l'activité du sujet, il faudrait que son activité en situation de simulation soit la même que l'activité de l'opérateur en situation réelle. Or, la situation de simulation est nécessairement différente de la situation réelle de travail. Cette différence peut être un atout si le but de la simulation est la formation, mais elle devient un inconvénient si le but de la simulation est d'accéder à l'activité du sujet. Van Deale (1997) liste des problèmes de validité pour étudier l'activité du sujet en situation dynamique, c'est-à-dire une situation qui peut évoluer sans intervention de l'opérateur.

« Le premier est lié à la complexité des situations qui fait que l'isolement de variables contrôlables n'est pas toujours possible. On peut même se poser la question de la pertinence de cet isolement. Autrement dit, peut-on dissocier le complexe ? Est-ce souhaitable de le faire ? » (Van Deale, 1997 : 34). En effet, la simulation ne reproduit qu'une partie des caractéristiques de la situation réelle. Qu'est-ce qui permet d'affirmer que l'activité de l'opérateur analysée à partir d'une simulation est identique à l'activité de l'opérateur faisant face à une situation réelle plus complexe que la situation de simulation ? Cette méthode d'accès à l'activité du sujet possède un bais qui lui est propre et qui ne pourra jamais être totalement supprimé, car la situation de simulation ne possèdera jamais les mêmes caractéristiques que la situation de référence.

Le second problème est lié au caractère dynamique que la situation ne permet pas toujours de reproduire. Principalement, la variable « temps » est très souvent différente en situation de simulation et en situation réelle. Le temps est plus ou moins long et il est parfois réversible en situation de simulation. Cette modification de la variable temps influence nécessairement l'activité de l'opérateur.

«Le troisième type de problème est relatif à la difficulté de reproduire, en simulation, le caractère utilitaire, adaptatif, opératif de l'activité » (Van Deale, 1997 : 34). Sur le terrain, les opérateurs sont souvent en interactions avec des collègues et visent parallèlement des objectifs liés à la tâche et des objectifs liés à la relation avec l'équipe. De même, les situations de simulation éliminent une part du stress. Cette élimination est liée à l'absence d'effet réel de l'activité de l'opérateur. Enfin, il arrive que les opérateurs orientent leur activité à destination de l'expérimentateur, ce qui peut modifier les résultats.

Ainsi, lorsque l'enjeu de la simulation est d'observer l'activité de l'opérateur, les différences entre situation réelle et situation de simulation deviennent des inconvénients car ils remettent en cause la validité des résultats obtenus. Si ces écarts peuvent être réduits ils ne peuvent pas être annulés et des précautions doivent être prises au moment de l'interprétation des résultats. En effet, Van-Deale (1997) mentionne deux recherches montrant que, lors des premiers

essais, les performances des opérateurs experts sur simulateurs sont inférieures à celles des autres catégories de sujet. Ce type de résultat doit rendre extrêmement vigilent toute tentative d'utilisation de l'analyse de l'activité en cours de simulation à des fins d'évaluation. Enfin, on peut noter que Savoyant (2005) discute également des conditions de transfert de résultats obtenus par la simulation et souligne la nécessité d'une recherche de fidélité maximale lorsque la finalité de la simulation est l'étude ou l'évaluation de l'activité de l'opérateur.

V.1.4. Les raisons pour lesquelles il est préférable de faire appel à la simulation

La situation réelle et la situation simulée sont deux situations qui diffèrent sur un certain nombre de points. Cette différence, comme nous l'avons évoqué précédemment, au lieu d'être un inconvénient peut, dans certains, cas être un avantage. Cette partie explore de manière plus systématique les différentes raisons pour lesquelles il est préférable de placer un sujet en situation de simulation plutôt qu'en situation d'activité réelle.

Selon Patrick (1992), il est préférable faire appel à la simulation de l'activité du sujet lorsque 1) l'accès à la situation réelle est impossible (apprendre à alunir ou à piloter un avion qui n'existe pas encore), 2) le coût et les conséquences des erreurs sont élevées (apprendre à contrôler une centrale nucléaire, à gérer le trafic aérien), 3) lorsque la simulation coûte moins cher que la réalisation de l'activité réelle (apprendre à piloter un avion de ligne).

Ces trois premières raisons pour lesquelles il est préférable d'utiliser un simulateur s'appuient uniquement sur les caractéristiques de la situation réelle qui empêchent ou limitent l'accès à la situation réelle (activité impossible à réaliser, coût et conséquence des erreurs, cout élevé de l'activité réelle). Autrement dit, dans ces situations, si l'activité réelle était réalisable, elle pourrait être préférée à la simulation. Mais Patrick (1992) évoque également d'autres raisons qui ne portent plus sur les désavantages de la situation réelle mais sur les apports de la simulation. Autrement dit, même lorsque la situation réelle est facilement accessible, la simulation possède des caractéristiques propres qui lui confèrent des avantages par rapport à la situation réelle. Il ne s'agit plus de gommer les différences qui existent entre situation simulée et situation réelle mais de les exploiter.

Par exemple, la simulation, contrairement à la situation réelle (même si celle-ci est accessible), permet de donner des conseils au cours de la réalisation de l'action simulée ce qui n'est pas toujours faisable en situation réelle. Par exemple, les avions de chasse ne sont pas équipés pour accueillir un formateur qui pourrait conseiller le pilote comme c'est le cas pour les auto-écoles. Ce parrainage en situation devient possible au cours de la simulation.

La simulation offre également la possibilité de manipuler plusieurs dimensions de la tâche. La simulation offre la possibilité de ralentir ou de stopper le flot de l'action, elle offre également la possibilité de proposer à volonté des situations qui arrivent peu fréquemment. Cette possibilité offerte par la simulation est intéressante quel que soit l'objectif de la simulation (formation, observation ou évaluation). La simulation permet de provoquer des situations rares mais néanmoins importantes.

La simulation permet également de réduire le stress des sujets. La réduction du stress peut être recherchée pour faciliter l'apprentissage. Mais d'un autre côté, il n'est pas sûr que les

compétences acquises au cours de la simulation soient réinvesties lorsque la situation réelle est stressante (Patrick, 1992). A ce sujet, l'auteur mentionne l'existence d'exercices de tirs à balles réelles pour l'entraînement de certains militaires.

Enfin, la simulation permet également de découper une tâche complexe en sous-tâches. On parle alors de « part-task simulation ». L'intérêt de cette caractéristique de la simulation est évident pour la formation car les sujets apprennent progressivement à gérer des tâches de plus en plus complexes. Patrick (1992) mentionne, à ce sujet, la nécessité de compléter la formation « part-task » par une formation « whole-task » pour atteindre la compétence visée. Il se réfère pour cela à une étude d'Adams et Hufford (1962) selon laquelle les pilotes d'avion maîtrisent correctement une manœuvre réalisée en formation « part-task » uniquement après avoir complété cette formation par une formation « whole-task ».

A ces sept raisons pour lesquelles, selon Patrick (1992), il est préférable d'utiliser la simulation, nous voudrions en ajouter trois autres.

La première concerne la reproductibilité à l'identique des situations vécues en situation de simulation. Cette reproductibilité à l'identique autorise la comparaison des actions menées par différentes sujets ou différentes populations de sujets. Lorsqu'un sujet est face à des tâches réelles complexes, il est très improbable d'obtenir deux situations réelles de travail qui soient identiques. Or, la simulation offre la possibilité de placer des sujets dans des situations simulées identiques. Cette propriété, exploitée dans un contexte de formation, permet aux différents sujets de comparer leurs actions exécutées dans des contextes identiques et leurs justifications de ces actions. Cette propriété, utilisée en situation de recherche, permet de comparer différentes populations dans des situations simulées identiques.

La deuxième concerne l'ajout possible d'informations dans la situation de simulation. En effet, dans une perspective de formation notamment, il peut être tout à fait pertinent de fournir à l'utilisateur des données auxquelles il n'a pas accès habituellement en situation réelle de travail. L'exemple de la formation des grutiers étudiée par Boucheix (2003) illustre bien ce point de vue. Les grutiers, bien qu'ayant une maîtrise pratique du maniement de la grue, ont d'importantes difficultés à lire et interpréter des supports écrits représentant les limites de transport de la grue par une fonction poids-portée sous forme de courbes ou de tableaux à double entrée. L'auteur a donc conçu un simulateur (informatique) de fonctionnement de grue, conçu pour l'apprentissage de la notion de courbe de charge (relation poids-distance). Le simulateur permet au grutier d'accéder à la fois à la courbe de charge et à une représentation de cette charge sur la grue. En cas de dépassement des limites, la grue peut tomber. La simulation aide le grutier à comprendre les courbes de charge qui en retour permettent une activité plus raisonnée des grutiers. Ici, la simulation s'écarte volontairement de la situation réelle pour répondre à des besoins d'apprentissage. De la même façon Caens-Martin et al. (2004) ont prévu dans leur logiciel de simulation de taille de vigne de pouvoir donner aux apprenants des informations qu'il n'auraient pas en situation réelle comme par exemple, les bourgeons laissés l'année précédente, ou une évaluation de la vigueur et de la charge du cep.

La troisième concerne la traçabilité de l'activité. En effet, les simulateurs utilisent des technologies qui facilitent l'enregistrement de l'activité. « Dans la réalité, les traces sont souvent peu lisibles et peu accessibles, alors qu'en simulation elles peuvent être systématiques… » (Pastré et al. 2006 : 189). L'accès, la lisibilité, le stockage et le traitement de l'information liée à l'activité du sujet peuvent être facilités par la simulation. Par exemple,

Caens-Martin S. et al. (2004), ont prévu lors de la phase de conception d'une simulation de taille de la vigne, un module historique. « Par une fonction de marquage des différentes actions menées par l'apprenant dans le module exercices, ce module permet à l'apprenant comme au formateur de suivre et d'analyser « après coup » la succession des opérations réalisées pour résoudre chaque exercice. » (Caens-Martin et al., 2004 : 6).

Ce paragraphe montre tous les avantages que la simulation d'une activité professionnelle peut apporter pour observer, former et évaluer des sujets. Comme le soulignent Pastré et al. (2006 : 188), « la simulation permet d'apporter des degrés de liberté par rapport à cette soumission au réel. » La simulation d'une activité professionnelle est bien plus qu'un pis-aller, mais elle constitue un véritable instrument de recherche, de formation et d'évaluation. En tant qu'instrument, ce logiciel peut être analysé selon Rabardel (1995) en dissociant l'artefact de l'instrument. Cette différentiation nous semble intéressante pour poser plus clairement certaines questions de recherches.

V.1.5. Artefact et instruments : simulateur / simulation / utilisation de la simulation

Selon Rabardel (1995), un instrument est formé de deux composantes : d'une part, un artefact matériel ou symbolique produit par le sujet ou par d'autres, et, d'autre part, les schèmes d'utilisation associés à l'artefact, résultant d'une construction propre du sujet ou d'une appropriation de schèmes sociaux d'utilisation formés par d'autres. Le logiciel que nous avons conçu constitue donc l'artefact de l'instrument. A l'instar de Rogalski (1997 : 55), nous utiliserons le terme « simulateur » pour désigner l'artefact. Mais il nous semble important de distinguer ensuite deux activités de nature différentes : la « simulation » et « l'utilisation de la simulation ». Nous utiliserons le terme de « simulation » pour désigner l'instrument qui est composé de l'artefact et de l'utilisation de cet artefact par l'acteur de la simulation. Nous introduisons le terme « utilisation de la simulation » pour désigner l'exploitation faite par le chercheur, le formateur ou l'acteur lui-même de la simulation. Cette distinction entre simulateur, simulation et utilisation de la simulation nous semble tout à fait fondamentale pour penser le développement ou l'analyse de ces différentes dimensions de la simulation. Des questions de recherches, de développement ou de formation peuvent porter indépendamment sur chacune de ces trois « dimensions ».

V.1.5.1. Des simulateurs différents

La différenciation entre simulateurs la plus fréquemment rencontrée dans la littérature est la différentiation entre les simulateurs « part task » et « full scale » (tâches séparées / pleine échelle). Les simulateurs « part-task » ne recherchent pas la fidélité physique de la simulation mais placent les utilisateurs dans des situations qui peuvent ne prendre en compte qu'une partie de l'activité réelle.

La seconde distinction entre simulateurs la plus rencontrée porte sur la dimension dynamique vs. statique du simulateur. « Dans la simulation statique, la présentation de l'état du système ne dépend pas des réponses du sujet. La présentation peut être fixée ou changeante, mais dans ce dernier cas le changement est prévu indépendamment des réponses du sujet… Dans la simulation dynamique, l'état du système présenté à un moment dépend aussi des réponses du sujet aux moments antérieurs» (Leplat, 1997 : 175). Pour distinguer ces deux simulateurs,

Van Deale (1997 : 32) parle de simulateur passif vs. interactif. Les deux auteurs notent que les simulateurs passifs (ou statiques) permettent la comparaison des résultats de la simulation car chaque sujet va rencontrer des situations identiques. Les simulateurs interactifs (ou dynamiques) amènent chaque sujet à vivre des situations simulées différentes qui n'autorisent pas ou rendent plus difficile la comparaison.

V.1.5.2. La simulation

Des questions de recherche et de formation peuvent amener à étudier la simulation pour elle-même, c'est-à-dire à décrire l'activité qui se déploie au cours de la simulation (e.g. Inférer l'activité cognitive des sujets par l'analyse des discussions entre professionnels au cours d'une simulation croisée, analyser la pratique simulée du sujet, pour dans un second temps la comparer à celle de la pratique réelle du sujet, ou à celle d'une autre sujet…)La simulation est un objet, qui peut être étudié pour lui-même, ou pour être comparé à d'autres activités, comme l'activité réelle.

V.1.5.3. L'utilisation de la simulation

L'utilisation de la simulation est un facteur tout aussi important et déterminant vis-à-vis de l'efficacité de l'instrument, que la qualité de l'instrument lui-même. A ce propos, Pastré (2005) insiste sur l'importance d'une phase de la phase de débriefing après la simulation. Cette phase de débriefing consiste en une analyse a posteriori des actions réalisées au cours de la simulation. Toutes les analyses faites par Pastré (2005 : 33) montrent l'importance décisive de cette étape. « On apprend davantage en analysant son action qu'en la reproduisant. L'apprentissage par l'analyse de l'action est plus efficient que l'apprentissage par la répétition de l'action, du moins quand on a affaire à une situation complexe, ou l'importance du diagnostic de situation est grande ». Ainsi, les questions que pose le formateur au moment du débriefing, les connaissances mises en jeu au cours au cours des discussions etc., sont autant d'objet d'étude qui portent sur l'utilisation de la simulation et non plus sur la simulation elle-même.

La question de la place de la simulation dans un dispositif de formation, de recherche ou d'évaluation doit également être pensée. En effet, la simulation est souvent un élément du dispositif et non pas un dispositif à lui tout seul. Penser sa place et sa fonction parmi les autres éléments constitutifs du dispositif est également déterminant quant à la pertinence et l'efficacité de cet outil.

V.2. Le cas de la simulation de l'activité d'enseignement

Après avoir repéré les questions, les concepts, les méthodes, les objectifs des recherches relatifs à la simulation menées dans les champs de la didactique professionnelle et de la psychologie ergonomique, nous allons positionner nos propres travaux par rapport aux autres travaux réalisés dans ces champs. Nous comparons les objectifs que nous avons assignés à la simulation avec les objectifs assignés à la simulation dans d'autres situations professionnelles. Ensuite, nous cherchons si les raisons pour lesquelles la simulation est préférable à la réalité pour d'autres activités professionnelles sont également valables pour l'activité

d'enseignement. Enfin, nous exposerons les lignes de recherches que nous comptons développer à l'avenir.

V.2.1. Les objectifs de la simulation d'enseignement et les questions de validité

Les deux grands objectifs que nous avons assignés à notre logiciel de simulation d'enseignement sont l'observation de l'activité enseignante et la formation. Ces deux objectifs sont également ceux qui sont principalement visés par la simulation d'autres activités professionnelles, comme nous l'avons vu dans la partie précédente. Pour l'instant nous avons commencé à étudier l'activité cognitive des enseignants lorsqu'ils préparent leurs interventions (Morge, 2004b, 2005a, 2006a), mais nous n'avons pas encore étudié les interventions des enseignants c'est-à-dire les actions qu'ils effectuent au cours de la simulation, même si nous disposons d'un grand nombre de données sur ce point.

Les recherches concernant l'analyse de l'activité d'enseignement seront poursuivies dans les prochaines années. La possibilité de manipuler des variables au cours de la simulation et la possibilité d'effectuer des simulations croisées (partie 2.2) constituent des atouts méthodologiques importants. Il ne faut cependant pas éluder la question de la validité écologique des résultats obtenus au cours de ces simulations. Cette question est centrale et doit être abordée pour mieux cerner la validité des résultats obtenus par l'analyse de l'activité simulée. Rappelons que les travaux de didactique professionnelle et de psychologie ergonomique ont proposé le concept de fidélité psychologique pour décrire la fidélité d'une situation simulée par rapport à la situation cible. C'est cette question de la fidélité psychologique de la simulation que nous allons discuter.

La tâche que nous proposons aux enseignants au cours de la simulation (qui consiste principalement à valider ou invalider des productions d'élève) est une tâche qui existe dans la situation cible. De plus, les productions d'élèves introduites dans le logiciel sont des productions réalisées par des élèves au cours des séances de classe. Ainsi, la tâche simulée est selon nous psychologiquement fidèle, bien qu'elle ne soit que partielle (Savoyant, 2005). Néanmoins, le fait que la tâche simulée ne soit que partielle, diminue sa fidélité psychologique puisque l'activité d'enseignement est une activité caractérisée par la simultanéité. En effet, l'enseignant doit, en même temps qu'il gère la production d'un élève, maintenir l'ordre dans la classe, gérer le déroulement de la séance, penser à la sécurité des élèves lors de manipulation etc. De plus il ne faut pas oublier que le stress de l'opérateur (utilisateur du logiciel) est réduit au cours de la simulation. Il n'y a pas d'enjeux d'apprentissage, de maintient de l'ordre qui se jouent réellement au cours de la simulation. Pour ces raisons, il nous semble que les résultats obtenus par la simulation d'enseignement ne peuvent pas être directement considérés comme similaires à ceux qui seraient obtenus en situation réelle d'enseignement. Sur le plan méthodologique, il nous semble donc tout à fait important de relativiser les résultats obtenus en les comparant aux résultats obtenus par des méthodes s'appuyant sur l'observation de situations réelles (auto-confrontation, auto-confrontation croisée…). Aucune de ces méthodes d'accès à l'activité de l'enseignant n'est parfaite. La simulation simplifie les tâches et modifie le milieu alors que l'auto-confrontation s'appuie sur des situations que les enseignants ont déjà réalisées et qu'ils revivent qu'ils reconstruisent a posteriori. Si des résultats obtenus par différentes méthodes sont similaires, leur validité est ainsi renforcée. Si les résultats obtenus sont différents, les avantages et les

inconvénients de chaque méthode doivent être étudiés pour évaluer la méthode qui a le plus de probabilité de donner un résultat valide.

Enfin, notons que la revue de littérature que nous avons effectuée concernant la simulation d'activité professionnelle ne nous a pas permis de rencontrer une méthode qui s'approcherait de la simulation croisée que nous avons développée pour accéder à l'activité cognitive des enseignants, activité cognitive qui n'est pas accessible au cours de la réalisation de l'activité réelle.

Le second objectif visé par nos travaux exploratoires utilisant la simulation sur ordinateur, est la formation des enseignants (Morge, 2006b ; Toczek et Morge, 2007, Toczek et Morge sous presse, Morge et al. (soumis)). Cette seconde utilisation de la simulation est souvent étudiée dans les travaux de didactique professionnelle (e.g. Pastré, 2005). Lorsque le but de la simulation est la formation des enseignants, la question de la fidélité de la simulation se pose de manière beaucoup moins importante car les écarts entre la situation simulée et la situation cible peuvent devenir de véritables avantages pour la formation des enseignants (eg. isolement d'une tâche, diminution du stress…). De plus, l'évaluation de l'impact de la formation se fait par observation des évolutions dans la situation réelle. Les éventuels écarts n'affectent pas directement la validité des observations faites sur la situation cible. Les premières recherches utilisant le logiciel à des fins de formation nous ont permis d'aborder les questions suivantes :
- Quels sont les effets de la formation par la simulation sur les pratiques réelles des enseignants ? Quelles actions d'enseignement peuvent être modifiées par une formation par la simulation ? Quelles conditions de simulations sont favorables au développement des compétences professionnelles ? Quels sont les effets de la formation par la simulation sur les élèves dont les enseignants ont suivi une formation par la simulation ? Quelles sont les facteurs d'enseignement qui influencent l'apprentissage ? Ces questions générales peuvent se décliner de manière plus précise en fonction des différentes variables qui sont manipulées pendant les simulations (voir partie suivante).

La simulation peut également être utilisée à des fins d'évaluation. Nous n'avons pas exploré cette utilisation du logiciel de simulation, mais nous comptons le faire dans des recherches à venir. En effet, le logiciel offre la possibilité de placer des personnes différentes (enseignant(e)s formé(e)s / enseignant(e)s non formé(e)s ; enseignants / enseignantes…) dans des situations identiques, ce qui permet d'imputer les différences observées à la nature des personnes qui effectuent la simulation. Il s'agit alors de déterminer les caractéristiques d'une population d'enseignant. La simulation peut également être utilisée en complément d'aide à l'évaluation diagnostique individuelle. En effet, la simulation permet de manipuler les variables d'une situation d'enseignement (durée de l'activité, nombre de tâches à réaliser par l'enseignant, nature des tâches…) autrement dit, la simulation peut être envisagée come un moyen d'affiner l'évaluation des capacités des enseignants. Par exemple, si le stress est un problème pour l'enseignant en situation réelle, ses capacités d'analyse et ses décisions devraient être modifiées en situation simulée. La simulation est ici utilisée à des fins d'évaluation diagnostique. En revanche, il ne nous semble pas pertinent d'utiliser la simulation à des fins d'évaluation normative car la simulation propose des tâches partielles de l'activité réelle. La validité de l'évaluation normative par simulation est donc discutable. Les simulateurs utilisés à des fins d'évaluation normative devraient être des simulateurs pleine échelle, et leur conception est à l'heure actuelle impossible en ce sui concerne l'enseignement. Dans notre discussion nous ne distinguerons plus la simulation utilisée à des fins d'observation et la simulation utilisée à des fins d'évaluation. Selon nous, lorsque la

simulation remplit une de ces deux fonctions, l'artefact doit répondre à des exigences similaires et les résultats doivent être confirmés par d'autres méthodologies.

Enfin, le quatrième objectif assigné à l'évaluation est la conception d'environnement de travail ou d'objet. Pour l'instant nous ne voyons pas comment la simulation de l'enseignement permettrait de modifier l'environnement de l'enseignant. En effet, il n'est pas possible de modifier les élèves de la classe pour qu'ils soient adaptés à l'enseignant. Une partie de l'environnement qui pourrait éventuellement être modifiée concerne l'aménagement de la salle de classe (agencement, meubles…). Mais dans ce cas, l'analyse de l'activité réelle d'enseignement semble tout à fait possible et il n'est pas nécessaire de faire appel à la simulation. Nous n'envisageons pas à l'avenir de chercher à développer cette utilisation de la simulation.

V.2.2. Les raisons pour lesquelles il est préférable de simuler l'activité professionnelle d'enseignement : vers de nouvelles questions de recherche

Comme le montrent les travaux relatifs à la simulation d'activités professionnelles, la simulation n'est pas une sous-situation qui cherche à ressembler à la situation cible, mais une situation avec ses caractéristiques propres, caractéristiques qui peuvent devenir de véritables atouts. Il en est de même selon nous, lorsque cette activité professionnelle est une activité d'enseignement.

V.2.2.1. La simulation offre de nouvelles conditions de réalisation de l'activité d'enseignement

La caractéristique d'immédiateté de la situation réelle d'enseignement (Doyle, 1986) empêche toute interruption du flux de cette activité. Or, pendant la séance d'enseignement simulé, le formateur ou le chercheur peut intervenir. La simulation permet d'interrompre le flux de l'activité d'enseignement. Sur le plan de la recherche, cette caractéristique permet, par exemple, de mettre en place une situation au cours de laquelle le chercheur interroge l'utilisateur du logiciel pour accéder aux modes de raisonnements et aux connaissances qu'il mobilise pour prendre ses décisions. Cette caractéristique permet également d'utiliser la méthode de la simulation croisée.

La simulation d'enseignement devrait permettre de réduire le stress des sujets. Sur le plan de la formation cette caractéristique peut être un atout non négligeable. En effet, certains enseignants hésitent parfois à mettre en œuvre dans leurs classes des séquences d'investigation. Ils doivent gérer des tensions (Vérin, 1998) et faire face à l'imprévisibilité (Antheaume, 2001) des situations d'enseignement dans lesquelles les élèves ont un rôle important dans la construction du savoir. L'absence de jugement potentiel de la part des élèves en cas d'erreur, la maîtrise du temps, la possibilité d'être guidé par un formateur sont autant de caractéristiques de la situation simulée qui permettent de diminuer le stress pour des enseignants débutants dans la gestion de ce type de séances. La simulation offre donc la possibilité à des enseignants de se former sans risque à la gestion de séances d'investigation. Ainsi, du point de vue de la formation, il serait intéressant à l'avenir de développer des simulateurs de séances d'investigation, plutôt que d'autres types de séances. La réduction du

stress par la simulation ne nous paraît pas être une variable intéressante à exploiter, lorsque l'objectif de la simulation est l'observation de l'activité enseignante, sauf, éventuellement, pour étudier l'impact du stress sur l'activité de l'enseignant.

Recueillir des données en situation réelle de classe est de plus en plus complexe. Les autorisations des parents d'élèves, de l'établissement… sont autant d'obstacles à l'accès aux classes. Le logiciel de simulation d'enseignement permet d'éliminer tous ces obstacles car les élèves sont virtuels. De plus les données recueillies par le logiciel sont facilement utilisables, accessibles et manipulables puisqu'elles sont informatisées. Leur traitement est donc simplifié, ce qui rend possible l'utilisation d'échantillons de grande taille, et d'éventuels traitements statistiques.

Enfin, les élèves étant virtuels, la simulation d'enseignement n'est pas soumise aux règles administratives et déontologiques. Il devient donc possible par exemple, de faire gérer à un enseignant une séance qui est totalement en dehors de son champ de compétence. Il devient possible de faire gérer, par exemple a) une séance du primaire par un professeur du secondaire ; b) une séance par une personne n'ayant pas passé le concours de recrutement comme par exemple les étudiants ; c) une séance d'une autre discipline que celle dont l'enseignant est spécialiste…

4) La manipulation de variables

La simulation offre également la possibilité de manipuler plusieurs caractéristiques de la situation d'enseignement simulé. Les variables de la situation d'enseignement simulé peuvent ainsi être manipulées pour répondre à différentes questions de recherche ou pour viser certains objectifs de formation. Cette possibilité de manipuler les variables permet de se placer dans des conditions expérimentales où les phénomènes observés (activité d'enseignement) sont provoqués par le changement de variables et contrôlés. En situation réelle d'enseignement, les variables de la situation d'enseignement ne peuvent pas être totalement contrôlés lors des quasi-expérimentations. La simulation permet quant à elle un contrôle optimal des variables de la situation d'enseignement, ce qui constitue un atout méthodologique important. La simulation de l'activité d'enseignement sur ordinateur élargit donc le panel des méthodologies de recherche en Sciences de l'Education dans le domaine de l'étude de l'activité enseignante.

V.2.2.2. Manipuler des variables de la situation simulée pour développer des recherches sur l'activité d'enseignement (pratiques simulées et activité cognitives) et sur la formation (conditions de développement des compétences professionnelles)

Avec le simulateur, il est possible de contrôler la modification des caractéristiques des situations d'enseignement proposées aux utilisateurs. La partie qui suit est consacrée à une mise en relation des variables manipulables de la simulation, des valeurs que peuvent prendre ces variables et des questions de recherche sur l'enseignement et la formation qu'elles permettent d'aborder.

La nature des tâches à accomplir pendant la simulation

La principale tâche d'enseignement simulée dans notre premier logiciel de simulation d'enseignement est la gestion des productions d'élèves au cours des interactions en classe. Mais l'enseignant(e) réalise beaucoup d'autres tâches pendant une séance d'enseignement il (elle) : choisit les productions à conserver, passe dans les rangs pour aider les élèves au cours de l'élaboration de leur productions, gère des phases d'institutionnalisation, met en place une phase de structuration, prend en charge l'écriture d'une trace écrite à destination du cahier des élèves, reformule des consignes, utilise le tableau, évalue les élèves, distribue les tours de parole…). La simulation permet d'isoler une tâche ce qui facilite l'étude de l'activité enseignante. Il est possible d'accéder aux connaissances et raisonnements que les enseignants mobilisent pour gérer chaque type de tâches et de les comparer afin de modéliser l'activité cognitive des enseignants au cours de la réalisation de chacune de ces tâches. Sur le plan de la formation ce découpage en tâches est un atout non négligeable car il permet d'isoler les différentes tâches et de travailler chacune d'elles de manière spécifique.

Le choix du type de tâches à introduire doit nécessairement s'appuyer sur des analyses de l'activité réelle d'enseignement et être interrogé d'un point de vue théorique pour déterminer a priori les tâches les plus importantes. Ces recherches devraient permettre de mieux connaître les connaissances et raisonnements utilisés par les enseignants et donc dans un second temps d'infléchir les objectifs et les dispositifs de formation.

Le nombre de tâches à accomplir pendant la simulation

Avec le logiciel il est possible d'accroître progressivement le nombre de tâches à accomplir. Il est donc possible de modifier le logiciel pour tendre vers la complexité de la gestion d'une séance en cumulant la diversité des types de tâches. Dans ce cas, il s'agit alors d'étudier quel est l'effet sur l'activité enseignante d'une accumulation de tâches. Il est possible d'étudier comment la gestion de certaines tâches prises isolément est modifiée par l'introduction d'une ou de plusieurs nouvelles tâches.

Sur le plan de la formation ce découpage en tâche est un atout non négligeable car il permet d'accroître progressivement la complexité de la simulation. Cette « technique » est souvent utilisée dans les simulations d'autres activités professionnelles (part-task simulation).

Enfin, il devrait également être possible d'introduire simultanément plusieurs tâches et d'étudier comment cette gestion simultanée modifie la gestion des tâches prises séparément.

Les informations relatives aux caractéristiques des élèves

Dans notre premier logiciel, les élèves sont symboliquement représentés, par le mot élève, comme le montre l'extrait du logiciel présenté ci-dessous. L'idée initiale était d'amener les enseignants à considérer qu'ils devaient uniquement se centrer sur le contenu de la production d'élève et non pas sur les caractéristiques de l'élève qui a réalisé la production. De même rien n'est dit sur la classe, le niveau moyen de la classe etc.

Extrait du logiciel de simulation de la séance sur le modèle particulaire.

Activité 1 Production 5

Le gaz est plus tassé Elève 1	Oui mais ça c'est pareil que de dire "le volume a changé". Elève 2

Je valide la production de l'élève 1	OUI	NON	**a1p5**
Je valide l'intervention de l'élève 2	OUI	NON	
Je passe à la suite ou j'argumente mes décisions auprès des élèves : " "			
Je rajoute autre chose : " "			
Accéder au TABLEAU			

SUITE

Or, avec le logiciel il est possible d'introduire des données relatives aux élèves ou à la classe. Par exemple, il est possible d'étudier les effets de genre en attribuant des prénoms sexués aux élèves, puis d'inverser cette attribution et d'observer les effets produits par ce changement sur l'activité des enseignant(e)s. De même, il est possible d'attribuer aux élèves un statut de bon puis de mauvais élève. Il est également possible d'évaluer l'effet de l'institution (Chevallard, 1999) sur les pratiques enseignantes. En effet, l'établissement dans lequel se trouve la classe, peut être présenté soit comme une ZEP soit comme un établissement dans lequel il existe une grande proportion d'élèves issus de milieux favorisés.

Les informations supplémentaires

Dans la situation simulée, il est possible de rajouter des informations supplémentaires auxquelles le sujet n'a pas accès en situation réelle. Par exemple, il est possible d'attribuer à certains élèves des conceptions et de les faire apparaître dans une zone de l'écran lorsque cet élève présente sa production à l'enseignant. Il devient alors possible de répondre aux questions suivantes : Connaissant cette conception, l'enseignant est-il capable d'établir un lien entre cette conception et la production de l'élève ? Comment l'enseignant aide l'élève à prendre conscience de sa conception et de ses limites ? Une réponse à ce type de question permettrait sur le plan de la recherche de repérer les conditions favorisant une prise en compte des conceptions des élèves par les enseignants. Si la simulation est utilisée à des fins de formation, il peut être intéressant dans un premier temps de faire apparaître les conceptions des élèves pour faciliter l'interprétation des productions d'élèves, puis dans un second temps, de supprimer cet affichage pour que les enseignants recherchent, sans apports d'information supplémentaire, les conceptions à l'œuvre dans les différentes productions d'élèves.

Il est également possible de faire apparaître dans une fenêtre de l'écran, par exemple, les connaissances de référence disponibles pour valider ou invalider les productions d'élèves. Si cet affichage est une aide efficace à l'enseignant, une des conséquences sur le plan de la pratique réelle enseignante, consisterait à écrire au tableau cette liste et à la mettre à jour pendant la séance réelle d'enseignement.

La séance qui sert de support à la simulation

La séance qui a servie de support à la conception du premier logiciel de simulation d'enseignement que nous avons réalisé, est la séance sur le modèle particulaire proposée par Larcher et al (1990). Or, il serait intéressant de disposer de simulateurs de gestion d'autres séances d'enseignement.

Dans une perspective d'observation de l'activité, cette diversité des séances permettrait d'étudier les invariants de l'activité d'un même enseignant, ce qui contribuerait à mieux connaître et comprendre cette activité.

Dans une perspective de formation, il serait également intéressant de disposer d'une grande diversité de simulateurs de différentes séances pour former les enseignants à la gestion de différents types de séance.

Le nombre de séances d'enseignement disponibles étant très important (voir l'introduction), il faut établir des critères de sélection des séances pour développer les nouveaux logiciels de simulation. Même si la liste des critères n'est pas définitivement établie, nous pouvons déjà poser quelques jalons pour baliser le choix de ces séances : il serait intéressant de construire des simulations de séances qui correspondent à des parties du programme qui sont pérennes et qui le sont dans plusieurs pays, afin que le logiciel puisse être exploité le plus souvent possible. La diversité des contenus, des niveaux des classes auxquelles s'adressent les séances sont aussi des facteurs qui doivent être pris en compte pour pouvoir diversifier l'offre de formation et élargir le champ des possibles au niveau de la recherche. Il est également possible de diversifier le type de séquences d'enseignement à gérer (séance du type OMLE : (Observer, Modéliser, Lier le champ empirique et le modèle, Enrichissement du modèle) ; PACS (Prévision, Argumentation, Confrontation, Synthèse), Situation problématique ouverte, situation-problème…). Rappelons, qu'il est impossible de définir de manière définitive des critères prioritaires puisque le choix de la séance dépend en tout premier lieu de l'objectif de recherche ou de formation qui est fixé.

Les séances peuvent également porter sur des contenus d'autres disciplines. Il peut être tout à fait intéressant de comparer la façon dont des enseignants gèrent des tâches identiques dans des disciplines différentes. En effet, certaines tâches peuvent se retrouver d'une discipline à l'autre (phase de conclusion, institutionnalisation, gestion de la trace écrite…). Nous avons par exemple montré dans cette note de synthèse que les phases de conclusion peuvent également apparaître dans une séance de lecture au CP et dans une séance de mathématique (partie 1.6.2). Une réflexion théorique et une analyse de l'activité réelle de l'enseignement doit être préalablement menée pour déterminer les tâches d'enseignement qui, dans chaque discipline, sont les plus importantes à étudier. La recherche d'invariant chez les enseignants de différentes disciplines, permet de mieux connaître l'activité des enseignants, mais ce type de résultat peut également avoir des retombées sur la formation des maîtres, à la fois en terme de contenu et aussi d'organisation de la formation avec d'éventuelle mise en place de formation regroupant des enseignants de plusieurs disciplines.

La durée de la séance

Quelle est la part des modifications de l'activité enseignante générées par la pression du temps disponible pour gérer une séance ? Cette question, importante pour bien comprendre les déterminants de l'activité enseignante, peut être étudiée en modifiant le temps que les

enseignants ont pour gérer la séance simulée. Cette recherche pourrait être menée en situation réelle, puisqu'il est possible de demander à un enseignant de gérer la même séance dans des temps impartis différents. Mais dans ce cas, d'autres variables pourraient interférer (il n'y a pas deux déroulements exactement identiques de la même séance dans la réalité) et il serait difficile de conclure, notamment à propos de l'activité cognitive des enseignants. La durée d'enseignement est un des déterminants souvant convoqué par les professionnels de l'enseignement et leur employeur. Mieux comprendre ses effets sur l'activité d'enseignement constitue un enjeu tout à fait important.

Les caractéristiques des utilisateurs du logiciel

Une des caractéristiques du simulateur que nous avons conçu est de placer les utilisateurs dans des situations identiques. Ce logiciel est dit « statique » ou « passif ». Cette caractéristique éloigne nécessairement la situation simulée de la situation réelle, puisque cette dernière est à la fois dynamique (elle évolue sans intervention extérieure) et interactive (les actions de l'enseignant ont un effet sur le déroulement de la séance). Mais l'intérêt le principal intérêt du logiciel passif est de pu voir placer les utilisateurs dans des situations identiques. Il devient alors possible de comparer des populations différentes d'enseignants (chevronné / novice ; homme / femme ; formé / non formé…), pour savoir si certaines caractéristiques de leur activité diffère, et si oui, sur quel point ? Une meilleure connaissance de profils possibles d'enseignant peut être un atout pour améliorer la formation en prenant en compte l'hétérogénéité et les caractéristiques des enseignants.

Si les utilisateurs du logiciel sont les mêmes personnes à des moments différents de leur parcours professionnel, la simulation peut constituer une méthode d'accès aux différentes étapes de l'évolution des enseignants et contribuer ainsi à mieux cerner le développement des compétences professionnelles. La simulation est utilisée ici à des fins d'évaluation.

V.2.3. Partie développement : Evaluer et améliorer la simulation

Le logiciel de simulation de l'activité d'enseignement est donc un outil de recherche, de formation et d'évaluation. Nous avons précédemment repéré quelques pistes de recherches pouvant être explorées à l'aide du logiciel. Une autre piste de travail consiste à faire évoluer la simulation en vue de l'améliorer, c'est-à-dire de mieux répondre aux objectifs qui sont assignés à la simulation. Pour améliorer l'efficacité de la simulation, il est possible de modifier le simulateur / la simulation et l'utilisation qui est faite de la simulation.

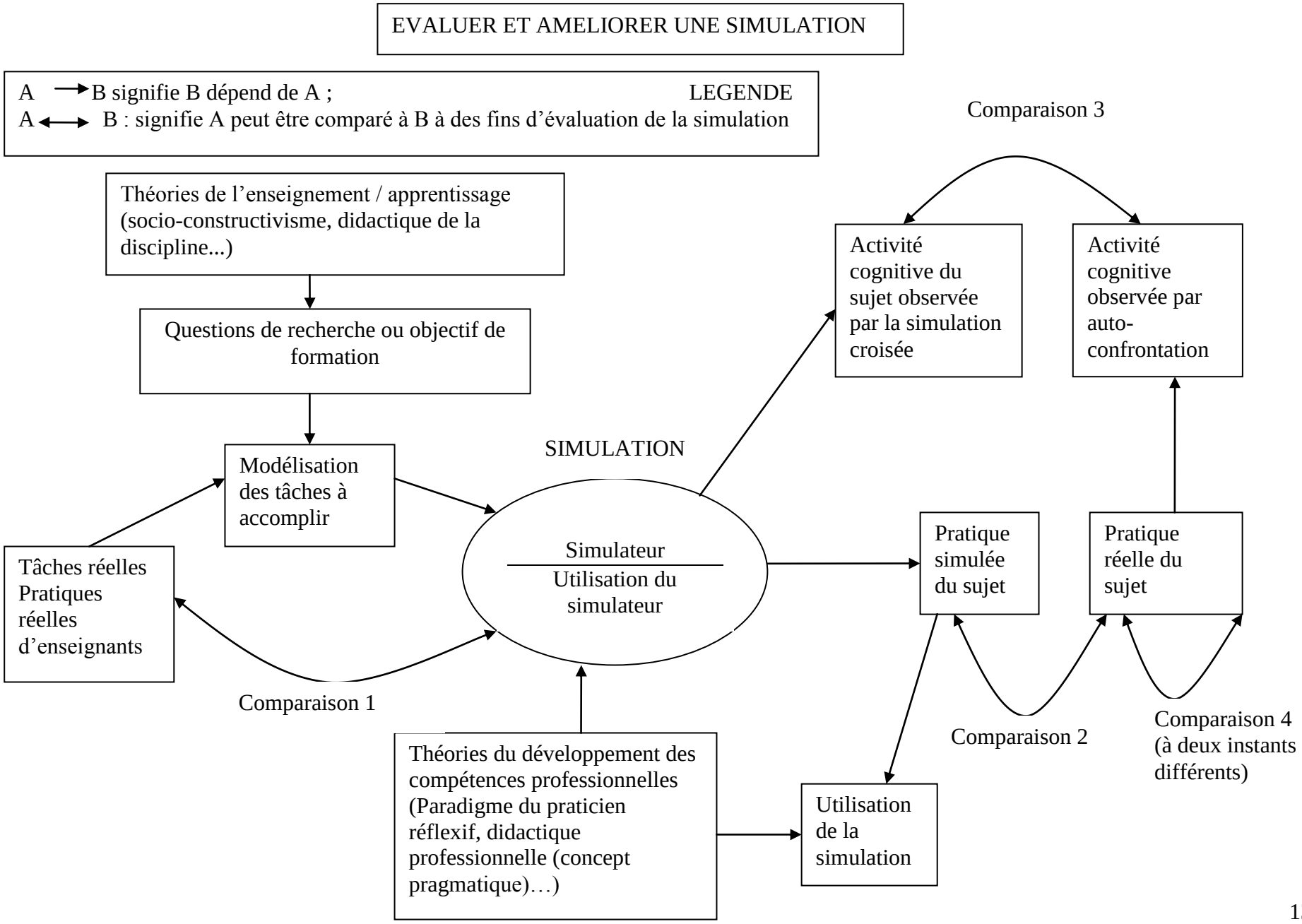
V.2.3.1. Comment évaluer une simulation ?

Selon Patrick (1992: 495), il existe deux façons d'évaluer une simulation : "To asses transfer of training. To compare the simulated and real task in psychological terms." Notons que l'évaluation d'une simulation diffère selon que la finalité de cette simulation soit l'observation de l'activité d'enseignement ou la formation à l'activité d'enseignement.

Lorsque la finalité de la simulation est l'observation de l'activité d'enseignement, l'évaluation porte principalement sur la fidélité psychologique de la tâche simulée (comparaison 1). Il est également possible d'évaluer la simulation en comparant l'activité simulée et l'activité en

situation réelle (Comparaison 2 et Comparaison 3) d'un sujet. S'il existe un faible écart entre ces deux activités pour un même enseignant, la simulation peut être considérée comme fiable.

Lorsque la finalité de la simulation est la formation, l'évaluation de la simulation porte principalement l'évolution des pratiques professionnelles (comparaison 4). La fidélité psychologique (comparaison 1) peut également constituer une modalité d'évaluation de la simulation lorsque celle-ci est utilisée à des fins de formation. Ces différentes évaluations de la simulation peuvent se présenter sous la forme du schéma suivant.


EVALUER ET AMELIORER UNE SIMULATION
A → B signifie B dépend de A ;
A ↔ B : signifie A peut être comparé à B à des fins d'évaluation de la simulation
LEGENDE
Théories de l'enseignement / apprentissage (socio-constructivisme, didactique de la discipline...)
Questions de recherche ou objectif de formation
Modélisation des tâches à accomplir
Tâches réelles Pratiques réelles d'enseignants
SIMULATION
Simulateur
Utilisation du simulateur
Comparaison 1
Théories du développement des compétences professionnelles (Paradigme du praticien réflexif, didactique professionnelle (concept pragmatique)…)
Utilisation de la simulation
Activité cognitive du sujet observée par la simulation croisée
Comparaison 3
Activité cognitive observée par auto-confrontation
Pratique simulée du sujet
Pratique réelle du sujet
Comparaison 2
Comparaison 4 (à deux instants différents)

V.2.3.2. Améliorer le simulateur, la simulation et l'utilisation de la simulation

Dans un chapitre précédent (V.2.2) nous avons exploré le potentiel de la simulation d'enseignement pour baliser de futures pistes de recherche. Il s'agissait d'explorer les différentes questions et différentes résultats qu'il est possible d'obtenir. Dans ce paragraphe, nous allons nous intéresser au développement de l'outil et de son utilisation afin, non plus d'obtenir d'autres résultats avec cet outils mais d'améliorer l'efficacité de l'instrument.

Vers un logiciel interactif ?

Peut-on et doit-on tenter de développer un logiciel interactif de simulation d'enseignement, c'est-à-dire un logiciel qui propose des situations qui dépendent des choix antérieurs des utilisateurs ? La plupart des logiciels de simulations sont interactifs (simulateur, de vol, de taille de vigne, gestion du trafic aérien, d'opération médicale…). Le logiciel que nous avons conçu est quand à lui passif. Passer d'un simulateur passif à un simulateur interactif pourrait être considéré comme un progrès. Même si nous n'allons pas trancher cette question, il est possible d'avancer quelques réflexions sur ce sujet.

Pour simuler une interaction humain-objet, une étape de la démarche consiste à modéliser le comportement de l'objet (centrale nucléaire, avion, vigne). S'il est possible de réaliser des simulateurs interactifs qui calculent l'évolution de l'objet en fonction de l'action exercée par l'humain, la question paraît moins simple quand il s'agit de prévoir l'évolution d'un humain. Dans le cas de l'enseignement, il s'agit de simuler une interaction humains-humains. Pour construire des simulateurs interactifs en suivant la même méthode, il faudrait donc être capable de modéliser l'humain et de demander au simulateur de calculer l'évolution de l'humain afin de proposer ce nouvel état de l'humain à l'opérateur. Selon nous, l'état actuel des recherches ne permet pas une modélisation suffisamment pointue de l'apprentissage qui permette de réaliser un simulateur reproduisant l'humain et son apprentissage des contenus complexes qui nous intéressent ici (contenus scolaires). Ces limites théoriques contraignent à se contenter d'une simulation statique pour simuler une situation d'enseignement. Cette caractéristique pourrait donc être considérée comme un inconvénient majeur puisque l'enseignant qui réalise la simulation n'a pas de retour sur l'action qu'il vient de mener. En effet, le pilote d'avion sait, en simulation, si son avion vole encore ou s'il s'est écrasé suite à la manœuvre qu'il a effectué. Le sujet peut donc apprendre des résultats de son action. Avec une simulation passive, ce retour de l'effet de l'action de l'opérateur n'est pas possible. Mais il ne faut pas oublier qu'en situation réelle d'enseignement, l'enseignant n'a pas non plus véritablement d'indice sur les effets que provoquent ses décisions sur l'apprentissage des élèves. Autrement dit, le fait que le simulateur d'enseignement soit passif, ne semble pas être une caractéristique qui éloignela situation simulée de la situation source à propos de la rétro-action,.

De plus, n'oublions pas que lorsque le logiciel est utilisé à des fins de formation, le fait d'être un simulateur passif présente l'avantage de pouvoir comparer des décisions différentes prises dans des situations identiques.

Pour ces différentes raisons il ne semble pas que le développement de logiciels interactifs soit une priorité dans le développement du logiciel.

La place de la simulation dans le curriculum de formation

La simulation n'est qu'un aspect du dispositif de formation des enseignants. La place et le rôle de la simulation dans un curriculum de formation et les liens qui peuvent être établis entre la simulation et les autres moments de la formation sont autant d'éléments qui peuvent permettre d'améliorer l'utilisation de la simulation.

Améliorer le débriefing ou l'analyse de la pratique simulée

L'analyse de l'activité professionnelle est un des principaux leviers du développement professionnel (e.g. Schön, 1983 ; Pastré, 2005…). Le débriefing revêt donc une importance toute particulière. La façon de mener le débriefing, les activités d'analyse proposées aux enseignants, le choix des éléments de l'activité qui sont analysés, les généralisations qui sont faites sur la base de l'analyse de situations, la mise en relation de différentes situations sont autant de facteurs qui peuvent largement influencer l'impact de ce débriefing, et donc l'impact de la simulation sur le développement professionnel.

Accroître la fidélité physique ?

Le logiciel que nous avons utilisé présente aux enseignants des productions, des justifications, des réactions d'élèves sous forme écrite dans des bulles de type "bande dessinée" et/ou sous forme de schémas réalisés par des élèves. Il est possible d'envisager une simulation qui recrée une classe avec des élèves stylisés assis à leur chaise qui demandent la parole, qui répondent quand on les interroge etc... L'accroissement de la fidélité physique est un objectif secondaire de la simulation par rapport à l'accroissement de la fidélité psychologique. Mais nous pouvons également penser qu'une meilleure fidélité physique permet de rapprocher la situation réelle et la situation cible. L'utilisateur est alors placé dans des conditions les plus proches possibles de la réalité. Rappelons que cet objectif (créer un simulateur pleine échelle) est important, lorsque la simulation est utilisée à des fins d'observation ou d'évaluation de l'activité enseignante.

Choisir les situations implantées dans le logiciel

Après avoir ciblé une ou des tâches (conclure, institutionnaliser, gérer les traces écrites…) qui vont être au cœur de la simulation, il faut ensuite choisir les situations qui vont être proposées aux enseignants. De la même manière qu'il est possible de choisir le type d'incident que l'on veut simuler dans un logiciel de simulation de vol ou de centrale nucléaire, il est possible de choisir les situations que les enseignants vont rencontrer. Par exemple, si le contenu du logiciel est centré sur la gestion des productions d'élèves, se pose ensuite la question du choix des productions à implanter dans le logiciel. Pour l'instant aucun choix n'a été effectué et toutes les productions de nature différentes qui on été repérées dans les situations d'enseignement ont été implantées dans notre logiciel de simulation d'enseignement. Initialement l'idée était d'amener les enseignants à simuler la gestion du plus grand nombre de productions possible pour qu'ils soient ensuite capable de les gérer s'ils les trouvent en situation réelle. Mais cette stratégie ne nous semble plus pertinente. En fonction des questions de recherche ou des objectifs de formation, certaines productions peuvent être

plus ou moins intéressantes à implanter dans le logiciel. Il est ainsi possible d'accroître l'efficience de la simulation en ciblant plus précisément les productions d'élèves (ou plus généralement les situations) à introduire dans le logiciel.

La prise en compte des utilisateurs (formateurs) dans la conception de l'instrument

Pour que le logiciel de simulation d'enseignement soit adapté à l'utilisateur (principalement les formateurs d'enseignants), il nous semble tout à fait important d'étudier la façon dont cet outil est utilisé par des formateurs, afin d'améliorer l'instrument. Cette conception continuée dans l'usage (Rabardel, 1995 ; Rabardel et Pastré, 2005 ; Courally, 2008 ; Lafarge, en cours…) est une méthode de conception d'outil permettant de prendre réellement en compte l'utilisateur de l'outil. Cette conception continuée dans l'usage nécessite de répondre à un grand nombre de questions : Comment les formateurs s'emparent du logiciel de simulation ? Faut-il concevoir un outil un guide d'utilisation, lequel, comment construire cet outil ? Comment rendre cet outil adaptable pour que les utilisateurs (formateurs et chercheurs) puissent eux-mêmes l'adapter aux capacités des apprenants… Cette voie de développement potentiel de l'instrument n'a pas à ce jour été explorée. Elle est pourtant nécessaire pour assurer une large diffusion et utilisation de ce type d'outil pour la formation des enseignants.

Résumé de la note de synthèse

Les interactions maître-élèves en classe de sciences (plus précisément la gestion des productions d'élèves au cours de l'interaction), constituent l'objet principal de mes recherches. Cet objet a été progressivement modélisé et son domaine d'application a été délimité. Ce modèle a ensuite permis de produire un logiciel de simulation de gestion des séances. Ce logiciel est un prototype. Il a été utilisé pour explorer deux directions de recherche.

La première direction concerne l'activité cognitive des enseignants en situation d'enseignement. En enregistrant les discussions de deux enseignants utilisant le logiciel de simulation, il est possible d'accéder aux raisonnements et aux connaissances qu'ils utilisent pour pendre leurs décisions.
La deuxième direction de recherche consiste à évaluer l'intérêt d'un tel outil pour la formation des maîtres. Ce logiciel a été utilisé dans une formation portant sur les interactions. Une recherche a montré qu'un dispositif de formation utilisant le logiciel a un effet sur les pratiques effectives des enseignants ayant suivi cette formation, et sur les performances de leurs élèves.

Ces recherches exploratoires ont montré le potentiel de ce logiciel en tant qu'outil de recherche et/ou de formation. Ces premiers résultats nous encouragent à développer de nouvelles recherches dans cette direction. Cette note de synthèse interroge les conditions favorables d'un développement de ces recherches. Elle questionne les précédentes recherches de modélisation des interactions, modélisations qui ont servi de base à la construction de notre premier logiciel de simulation. La dernière partie de cette note de synthèse est consacrée à la construction d'un programme de recherche portant sur la simulation de la gestion de séances. Elle s'appuie sur les travaux relatifs à la simulation d'activités professionnelles réalisés dans les domaines de la psychologie ergonomique et de la didactique professionnelle.