



HAL
open science

De la conception à l'usage d'un jeu sérieux de génie mécanique : phénomènes de transposition didactique dans l'enseignement secondaire et universitaire : le cas de Mecagenius®

Michel Galaup

► **To cite this version:**

Michel Galaup. De la conception à l'usage d'un jeu sérieux de génie mécanique : phénomènes de transposition didactique dans l'enseignement secondaire et universitaire : le cas de Mecagenius®. Education. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2013. Français. NNT : 2013TOU20014 . tel-00877257

HAL Id: tel-00877257

<https://theses.hal.science/tel-00877257>

Submitted on 28 Oct 2013

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
de Toulouse

THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Université Toulouse 2 Le Mirail (UT2 Le Mirail)

Présentée et soutenue par :

Michel GALAUP

Le lundi 27 Mai 2013

De la conception à l'usage d'un jeu sérieux de génie mécanique : phénomènes de transposition didactique dans l'enseignement secondaire et universitaire.

Le cas de Mecagenius®

Tome 1

ED CLESCO : Didactique des disciplines scientifiques

Unité de recherche :

UMR Education Formation Travail Savoirs (EFTS)

Directeurs de Thèse :

Chantal Amade-Escot, Professeure en Sciences de l'Éducation, Université de Toulouse II - Le Mirail

Fabienne Viallet, Maître de conférences en Informatique, Université de Toulouse III – Paul Sabatier

Rapporteurs :

Louise Sauvé, Professeure en Technologie Éducative, Université de Québec, Canada

Joël Lebeaume, Professeur en Sciences de l'Éducation, Université Paris Descartes

Autres membres du jury :

Raquel Becerril Ortega, Maître de conférences Sciences de l'Éducation, Université de Lille 1

Pierre Lagarrigue, Professeur en Génie Mécanique, CUFR J-F Champollion - Albi

Jean-François Marcel, Professeur de l'enseignement supérieur agricole, Sciences de l'Éducation, École Nationale de Formation Agronomique - Auzeville

**De la conception à l'usage d'un jeu sérieux de
génie mécanique : phénomènes de transposition
didactique dans l'enseignement secondaire et
universitaire.**

Le cas de Mecagenius®

A Virginie, Antoine et Jules
A mes parents

REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu ma directrice de thèse Chantal Amade-Escot de m'avoir accepté comme étudiant en thèse et pour toute la confiance qu'elle m'a accordée. Un grand merci pour m'avoir encadré et aussi pour la tolérance, la patience et surtout le respect qu'elle a toujours eu envers moi.

Je remercie aussi Catherine Lelardeux, Pierre Lagarrigue et Olivier Baptista car c'est grâce à vous que le projet Mecagenius a vu le jour en 2007, c'est à vous que je dois cette thèse !

Je tiens à remercier vivement tous les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer mes travaux ainsi que pour leurs commentaires avisés et précieux. Je remercie donc en tout premier lieu les professeurs Louise Sauvé et Joël Lebeaume pour m'avoir fait l'honneur d'être les rapporteurs de cette thèse. Merci à Raquel Becerril Ortega, Pierre Lagarrigue et Jean-François Marcel d'avoir accepté d'être membres du jury.

L'expérience du travail dans le cadre de ce projet de recherche pluridisciplinaire a été extraordinaire pour moi, autant scientifiquement qu'humainement. C'est pour cela que je tiens à remercier tous les acteurs des différentes équipes de recherche avec qui j'ai pu collaborer dans le cadre de ce projet. Merci de toute la confiance qui m'a été accordée, pour tout le travail qui m'a été confié et pour toute la bonne humeur quotidienne qui, je pense, fut le moteur de ce projet. Pour l'équipe de recherche de l'IRIT, je remercie Patrice Torguet et Samir Torki, ce fut un réel plaisir de travailler à vos côtés. Je continue avec l'équipe du SGRN d'Albi avec qui nous avons collaboré, merci à Thomas Rodsphon et à Thierry Montaut qui m'ont beaucoup inspiré dans cette recherche, votre aide a été très riche et très bénéfique à mon travail. Enfin, au sein de EFTS, Fabienne Viallet. Je remercie aussi les acteurs de la société KTM Advance dirigée par Monsieur Dambach Yves ainsi que toutes les personnes avec qui j'ai eu l'honneur de travailler : Philippe Chatellier, Eddy Daguénet ainsi qu'Anne Lechêne.

Je pense à toutes les personnes qui ont participé à l'évaluation de Mecagenius, les enseignants de génie mécanique qui ont partagé leur expertise et qui ont permis l'introduction du *serious game* dans leur établissement : Laurent Bireloze, Guillaume Cohen, Jean Corrado, Patrick Gilles, Jean-Claude Fricou, Renaud Lavabre, Michel Sylvain. Je n'oublie pas les expérimentateurs volontaires et tous les élèves qui ont « joué le jeu » ...

Un grand merci à Arlette et Louis pour leur aide précieuse.

Mes remerciements s'adressent également à Muriel Soleillant, Véronique Gouaze, Karine Zulian et Christelle Herraud pour leur gentillesse, leurs compétences, leur aide et leur disponibilité. Je remercie tout le personnel des sites de Rangueil et de Croix de Pierre : Geneviève, Juliette, Claude, François-Xavier, Rania, Florence, André, Joël, Patrick, Nathalie et surtout Boris.

Merci aux collègues de travail du site de Croix de Pierre de Toulouse : Boris, Danielle, Magali pour leur présence et leur soutien. Je n'oublie pas mes anciens collègues : Jean-Pierre, Gérard et Anne-Marie. Je remercie également ma collègue Véronique pour son soutien et son aide.

Je remercie les membres de mon équipe de recherche (UMR EFTS), pour leur écoute et les longues réflexions partagées. Je pense particulièrement à Basile mon frère doctorant, Bernard, Gérard, Lionel, Michelle, Nathalie, Eliane et Patrice.

Je remercie aussi Marc-André pour tous les moments passés, pour la complicité et les habitudes de vieux couple qui se sont installées entre nous.

Merci aussi à mes amis « footballeurs » avec qui je partage « le jeu sérieux » depuis plusieurs décennies, je ne peux pas citer tous les noms ici, j'offre cependant un privilège à Joël Trébosc et à Olivier Billast.

Je remercie aussi Hubert pour son soutien inestimable tout au long de mon parcours.

Merci à mes parents et à mes proches pour leur indéfectible soutien.

Enfin, je remercie tout particulièrement Virginie ma compagne et mes deux petits empereurs Antoine et Jules, sans vous ce travail n'aurait pas été possible.

Liste des abréviations et symboles utilisés

AFPA	Association nationale pour la Formation Professionnelle des Adultes
ALCESTE	Analyse des Lexèmes Concurrents dans les Enoncés Simplifiés d'un Texte
BTS	Brevet de Technicien Supérieur
CAO	Conception Assisté par Ordinateur
CAPET	Certificat d'Aptitude au Professorat de l'Enseignement Technologique
CEMEA	Centres d'Entraînement aux Méthodes d'Education Active
CIM	Conception et Industrialisation en Microtechniques
CM	Cours Magistraux
CN	Commande Numérique
CQPM	Certificats de Qualification Paritaire de la Métallurgie
CUFR	Centre Universitaire de Formation et de Recherche
DiDiST	Didactique des Disciplines Scientifiques et Technologiques
Dec	Décalage
EFTS	Education - Formation - Travail - Savoirs
EIAH	Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain
ENI	Ecole Nationale d'Ingénieurs
ERT	Equipe de Recherche Technologique
FAO	Fabrication Assistée par Ordinateur
GBL	<i>Game Based Learning</i>
ICA	Institut Clément Ader
IRIT	Institut de Recherche en Informatique de Toulouse
ISP	Informatique et Système de Production
JDRA	Jeu De Rôle pour l'Apprentissage
GM	Génie Mécanique
GMP	Génie Mécanique Productique
IUT	Institut Universitaire Technologique

KTM Advance	<i>Knolewge Technical Management</i>
L1	Licence 1
L2	Licence 2
L3	Licence 3
LGMT	Laboratoire de Génie Mécanique de Toulouse
MOCN	Machine-Outil à Commande Numérique
<i>Mouv</i>	Machine-outil virtuelle (http://mouv.univ-jfc.fr/fr/contact)
Pref	Prise de Références
PPN	Programme Pédagogique National
RNCP	Répertoire National des Certifications Professionnelles
SGRN	<i>Serious Game Research Network</i>
STI2D	Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable
STI	Sciences et Techniques Industrielles
TACD	Théorie de l'Action Conjointe en Didactique
TICE	Technologie de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement
TD	Travaux Dirigés
TP	Travaux Pratiques
UGV	Usinage à Grande Vitesse
UIMM	Union des Industries et des Métiers de la Métallurgie

SOMMAIRE GENERAL

INTRODUCTION GENERALE.....	9
PREMIERE PARTIE : Cadre théorique et méthodologies	13
Chapitre 1 : Le jeu - les jeux et les perspectives éducatives : état de la question	14
1. Le(s) jeu(x) et l'éducation	16
2. Jeux vidéo et des jeux sérieux en contexte éducatif	29
Chapitre 2 : Une inscription théorique de la recherche en didactique	51
1. Economie générale de la thèse	52
2. Situer notre recherche parmi les démarches d'essais et évaluations de prototypes didactiques	53
3. Une recherche en didactique	59
4. Cadres conceptuels	63
5. Mecagenius : un artefact permettant d'interroger le fonctionnement du système didactique ?	79
Chapitre 3 : Problématique et questions de recherche	82
1. Environnement dans lequel s'insère la recherche de thèse : projet Mecagenius	83
2. Postures de recherche	95
3. Problématique et questions de recherche	98
Chapitre 4 : Méthodes de recherche mises en œuvre	102
1. Méthodes mises en œuvre relativement au programme épistémologique	103
2. Méthodes mises en œuvre pour la contribution au programme didactique	109
3. Méthodes mises en œuvre pour la contribution au programme cognitif	117
4. Conclusion sur les méthodes de recherche mises en œuvre	128

DEUXIEME PARTIE : Résultats.....	129
Chapitre 1 : Analyse épistémologique et technologique des savoirs de Mecagenius (contribution à la conception d'un serious game)	130
1. La prise en compte des référentiels scolaires et professionnels	131
2. L'étude des besoins des enseignants	136
3. Contribution de ces deux études à la réalisation de Mecagenius	147
4. Conclusion de l'analyse épistémologique et technologique des savoirs de Mecagenius	150
Chapitre 2 : Le fonctionnement du système didactique aux prises avec l'artefact Mecagenius (usages didactiques du serious game)	154
1. Brève présentation des observations effectuées	156
2. L'analyse macroscopique	157
3. L'analyse microdidactique	175
4. Conclusion sur les usages de l'artefact Mecagenius dans un fonctionnement didactique en présentiel	230
Chapitre 3 : Stratégies des élèves confrontés à deux mini-jeux	233
1. Contexte de l'étude	234
2. Les élèves de lycée	237
3. Les étudiants de l'IUT et de l'université.....	264
4. Conclusion sur les stratégies des élèves et des étudiants : contribution au programme cognitif	286
DISCUSSION CONCLUSIVE.....	289
1. Discussion sur les résultats des trois études effectuées.	290
2. Conclusion générale.....	302
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	311
TABLE DES MATIERES.....	326

INTRODUCTION GENERALE

Cette recherche de thèse poursuit un travail de longue haleine ayant débouché sur une thèse¹ sur les simulateurs, inscrite à l'articulation de la didactique professionnelle et la didactique de la technologie (Becerril Ortega, 2008). Pour ma part, cette thèse a été réalisée dans le cadre d'un second projet de recherche pluridisciplinaire financé par le Ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi² via le plan de relance numérique pour la réalisation d'outils logiciels pour les entreprises recourant à des techniques issues du jeu vidéo (*serious game*). Il regroupe une entreprise industrielle³ ainsi que plusieurs équipes de recherche⁴ issues de différentes disciplines : génie mécanique, informatique et didactique. Dans cet appel d'offre, deux niveaux distincts sont ciblés, d'une part la conception d'un *serious game* en génie mécanique nommé Mecagenius et d'autre part son évaluation. L'objectif de notre travail a été d'étudier le fonctionnement du système didactique aux prises avec ce *serious game* dans les classes. La recherche, qui relève d'une analyse des phénomènes transpositifs, a contribué à la fois à produire des outils pour construire un *serious game* (ce qui relève d'un travail de conception sous couvert d'une approche de transposition didactique externe), mais surtout à en repérer les usages dans les pratiques ordinaires d'enseignants et d'élèves (sous couvert d'une approche ascendante de la transposition interne). Dans l'ensemble du projet Mecagenius notre contribution relève de ces deux niveaux d'analyse. Le premier relatif à la conception de Mecagenius a été conduit collectivement au sein de l'équipe pluridisciplinaire de recherche. Le second mené dans le cadre de cette thèse en position d'observateur des pratiques a consisté à étudier des professeurs et des élèves utilisant ce *serious game* en

¹ Dans le cadre d'un Contrat de recherche ERTé 35 entre le LGMT et le DiDiST-CREFI-T intitulé : « *Mise en place d'un simulateur de machine-outil à commande numérique : Essai évaluation d processus d'enseignement/apprentissage en milieu universitaire* ». (2005 - 2009)

² MECAGENIUS a été retenu parmi les projets présentant un fort potentiel d'innovation technique et d'usages suite à l'appel à projet *Serious Gaming* lancé par Nathalie Kosciusko-Morizet en mai 2009.

³ KTM Advance, acteur *leader* sur le marché du *e-learning* et du *serious game*.

⁴ ICA, IRIT, EFTS, Ecole de Technologie Supérieure de Montréal.

milieux scolaire et universitaire (lycée, IUT et licence professionnelle de génie mécanique). La finalité de cette thèse et sans doute son originalité, compte tenu du peu de recherches centrées sur une problématique d'évaluation des usages des *serious games* en classe ordinaire⁵, réside dans une prise en compte des interactions que les différents acteurs de la relation didactique développent face à Mecagenius. Ainsi, le cœur de ce travail de recherche repose sur l'étude des pratiques d'enseignement et d'apprentissage mises en œuvre au regard des enjeux épistémiques portés par le *serious game*. Elle s'inscrit donc théoriquement dans le champ didactique. Il s'agit de décrire, comprendre, expliciter quels sont les rapports que les professeurs et les élèves entretiennent vis-à-vis des objets de savoirs cristallisés dans ce *serious game* dédié au génie mécanique. L'autre originalité de ce travail réside dans le recours à la Théorie de l'Action Conjointe en Didactique (TACD) pour mener les études en classe. La mobilisation de ce cadre théorique compte tenu des spécificités des situations d'enseignement et d'apprentissage médiées par ce type d'artefact nous a conduit à une certaine « flexibilité » dans l'usage des concepts de cette théorie que nous discuterons dans différents chapitres de ce mémoire.

Pour synthétiser notre positionnement dans cette recherche-développement, nous sommes intervenu dans un premier temps, au sein du travail collectif et collaboratif de l'équipe pluridisciplinaire, comme « didacticien-concepteur ». Pour cela, nous nous sommes appuyé sur notre expérience de formateur en génie mécanique⁶ pour contribuer, dans le cadre d'une ingénierie de formation, aux décisions permettant du point de vue de la conception didactique de retenir ce qui nous semblait pertinent pour articuler jeu sérieux et apprentissage. A la suite de la phase de conception, dans le cadre de l'évaluation des usages de Mecagenius en milieu scolaire et universitaire nous sommes intervenus en tant que « didacticien-chercheur » pour mener un travail en intelligibilité afin de décrire et comprendre les pratiques⁷. Nous serons attentif dans les chapitres qui suivent à montrer quelle a été la contribution particulière de notre travail à ces deux phases importantes du projet. Il reste néanmoins difficile dans un

⁵ Ces axes de recherches commencent à se développer comme en témoigne le symposium « *serious game*, jeux épistémiques de recherche. Méthodologie de recherche pour l'étude des interaction » organisé à l'occasion de la conférence EIAH qui se tiendra à Toulouse et auquel nous participons.

⁶ A l'issue d'un cursus de génie mécanique et l'obtention d'un CAPET de Technologie Construction Mécanique j'ai été recruté à l'IUFM de Midi-Pyrénées pour assurer des missions de formation.

⁷ Pour cela, je me suis appuyé sur ma formation universitaire en sciences de l'éducation.

projet collaboratif de pointer exactement ce qui relève de la production personnelle car celle-ci est toujours plus ou moins attachée au travail collectif.

Au cours de cette recherche nous avons pu mesurer les tensions qui existent entre la posture du formateur/concepteur et la posture du chercheur. Ainsi, tout au long de ce travail nous avons cherché à rendre compte de cette tension en essayant de clarifier cette double visée, praxéologique et heuristique en contrôlant simultanément les enjeux relatifs à la conception et les enjeux de la recherche.

Ce travail se structure en deux grandes parties qui s'articulent de la façon suivante. Dans la première partie nous commençons par un état des lieux, nous tentons d'appréhender les tensions qui existent entre jeu et apprentissage. L'étude de cette dialectique est complexe. Il ressort que plusieurs champs de recherche et de multiples disciplines (sciences de l'éducation, sociologie, psychologie, biologie, etc.) pointent la pluralité des discours ainsi que l'absence d'un savoir unifié sur le jeu (Brougère, 2005). Nous poursuivons ce panorama général, mais néanmoins significatif de cette dialectique par le biais d'une revue de questions sur les jeux vidéo et les jeux sérieux au regard des apprentissages. Dans le deuxième chapitre, nous précisons l'inscription théorique de cette recherche qui vise à rendre compte du travail d'études dans les classes ordinaires selon trois programmes interdépendants qui pour Schubauer-Leoni et Leutenegger (2005) rendent compte des phénomènes transpositifs : les programmes épistémologique, didactique, cognitif. Le troisième chapitre présente les principales étapes de la phase de conception de Mecagenius, ce qui permet de situer et de préciser la problématique de thèse. Enfin, dans le dernier chapitre de cette première partie, nous développons les méthodologies mises en œuvre dans les trois études empiriques relatives aux enjeux de la recherche.

Dans la deuxième partie, nous présentons les résultats selon trois focales successives, relatives aux programmes épistémologique, didactique et cognitif. Dans le premier chapitre nous présentons deux études ayant contribué à la conception de Mecagenius : l'analyse des programmes de lycées et des curriculums universitaires ; les résultats d'une enquête sur les besoins des enseignants de lycée, de l'IUT et de l'université. Ces deux études contribuent au programme épistémologique et au repérage des savoirs à implémenter dans le *serious game* dans le prolongement d'une recherche de didactique professionnelle développée dans notre

laboratoire il y a quelques années, qui avait identifié, à partir d'une analyse de l'activité des opérateurs de génie mécanique, les compétences critiques liées aux tâches d'usinage⁸ (Becerril Ortega, 2008). Le chapitre deux expose les résultats du fonctionnement du système didactique aux prises avec l'artefact Mecagenius selon deux types d'analyses macroscopique et microdidactique. Dans ce chapitre nous nous centrons plus particulièrement sur l'action didactique de plusieurs professeurs utilisant le *serious game* comme matériel didactique. Dans le chapitre trois nous présentons les résultats relatifs au programme cognitif au sein duquel nous étudions les stratégies d'élèves de niveaux contrastés confrontés à deux des mini-jeux⁹ composant Mecagenius retenus parce qu'ils ciblent des compétences critiques mises en évidence dans le programme épistémologique.

La conclusion générale propose une discussion des résultats et tente de dégager des éléments de compréhension de l'utilisation de Mecagenius par les professeurs et les élèves, tout en mettant en exergue certaines contraintes qu'il est nécessaire de prendre en compte dans une perspective de formation ou d'utilisation des *serious games*.

⁸ Pour bien clarifier notre contribution au programme épistémologique, nous avons choisi de présenter les conclusions de Becerril Ortega (2008) dans la section « cadres conceptuels » de la première partie, puisque nous nous sommes appuyé sur cette recherche antérieure pour développer Mecagenius.

⁹ Cette notion sera développée dans la première section du chapitre de la problématique qui décrit le projet Mecagenius dans son ensemble. Pour le moment, nous dirons qu'un mini-jeu est un outil hybride agrégeant tuteur intelligent et tutoriel multimédia dans un univers ludique.

I. PREMIERE PARTIE :

Cadre théorique et méthodologies

Cette première partie est organisée en quatre chapitres. Après avoir dressé une étude de la dialectique jeu/apprentissage au regard de plusieurs champs de recherche et de multiples disciplines, le premier chapitre présente un état des lieux des recherches relatives à l'impact des jeux vidéo et des jeux sérieux. Le deuxième chapitre expose l'inscription théorique de la recherche, il développe les concepts utilisés dans l'approche didactique qui est la nôtre. Le troisième chapitre présente d'une part l'environnement dans lequel s'inscrit cette recherche, il détaille le projet Mecagenius ainsi que sa conception. D'autre part, il expose la problématique et les questions de la recherche. Enfin le quatrième et dernier chapitre présente la méthodologie utilisée pour le recueil et le traitement des données des études empiriques réalisées.

Chapitre 1 : Le jeu - les jeux et les perspectives éducatives : état de la question

La question essentielle dans cette recherche concerne les usages d'un *serious game* en milieu scolaire et universitaire, mais mener cette recherche impose un détour sur la notion de jeu et de jeu en éducation. Ce chapitre est donc organisé autour de deux grandes sections, l'une qui s'intéresse aux multiples approches de la notion de jeu à travers différents champs théoriques, l'autre qui aborde l'état de l'art sur les jeux vidéo et les jeux sérieux en contexte éducatif.

Il est difficile de définir clairement la notion de jeu et d'essayer d'en tracer les limites. En effet, tour à tour, le mot « jeu » prend des acceptations différentes, parfois même contradictoires. Face à la diversité des domaines des sciences humaines et sociales qui s'y sont intéressés, philosophie, sociologie, psychanalyse, psychologie, etc., nous ne pouvons prétendre délimiter ce qui est « jeu » et ce qui ne l'est pas. Le discours sur le jeu évolue en fonction des différents éléments qui peuvent être historiques, sociaux ou disciplinaires, prenant ainsi des significations particulières. Nombre d'auteurs ont senti l'importance de la notion de jeu et ont cherché à la clarifier parmi eux : Brougère, (1995, 2005) ; Brousseau, (1998) ; Caillois, (1958) ; Henriot, (1989) ; Huizinga, (1951) ; Piaget, (1967) ; Wallon, (1941), Winnicott, (1975). Selon Brougère (2005) « il faut bien admettre qu'il n'y a pas un savoir unifié sur le jeu, qu'au sein même de différentes disciplines, les discours restent pluriels » (p. 33). Prenant la suite de cet auteur, nous allons mettre l'accent sur la complexité à cerner le concept de jeu en essayant de l'approcher sous différents angles et en le considérant à un moment et dans un contexte donnés. L'objectif n'est pas de prendre en compte la totalité des définitions proposées mais de revenir sur les théories pertinentes pour notre recherche afin de particulariser le discours général sur le jeu et d'identifier quelques pistes qui contribueront à notre problématique. Cette première section s'organise en quatre paragraphes qui mobilisent les différentes théories du jeu selon une approche philosophique, socioculturelle, psychanalytique et psychologique. Dans une seconde section, nous précisons au sein des sciences de l'éducation comment le jeu est approché dans une perspective didactique en lien avec les questions d'enseignement et d'apprentissage. Ces éléments théoriques ont pour objectif de préciser les divers concepts centraux relatifs au jeu, ils nous permettront de mieux cibler l'inscription théorique de la thèse.

1. Le(s) jeu(x) et l'éducation

1.1. Une problématique transversale à plusieurs champs des sciences humaines et sociales

La littérature sur le jeu et sur l'activité ludique est extrêmement vaste et diverse, de nombreuses publications y ont été consacrées dans différents champs des sciences humaines et sociales. Dans cette première étape de notre revue de questions, l'objectif n'est pas de faire le tour de tous les auteurs qui ont développé la place du jeu dans les problématiques éducatives, d'autres chercheurs du monde des sciences de l'éducation notamment Brougère (1995, 2005) s'y sont attachés. L'objectif de notre revue de question est de rappeler les grands débats qui ont traversé la discussion sur le statut et le rôle du jeu dans le développement de l'enfant, dans son éducation ou même dans son apprentissage.

1.1.1. Jeu et éducation selon l'approche philosophique

Du point de vue philosophique, le jeu est abordé dans l'Antiquité par Platon (cité par Auerbach, 1968) qui a reconnu une valeur pratique au jeu à propos de l'imitation. Ce philosophe observe dans les jeux de l'enfant une imitation des adultes et une imitation de la nature en général, il emploie le terme "*mimesis*" pour désigner l'art de l'imitation symbolique, du « faire comme ». Selon Aristote (cité par Hardy, 1965), "*la mimesis*" se révèle dès l'enfance et l'homme se distingue du reste des êtres vivants par son pouvoir d'imitation, il acquiert par imitation ses premières connaissances. Il est à souligner que selon cette conception, le jeu permet aussi la construction de connaissances. Le jeu est aussi souvent considéré comme une activité libre synonyme de loisir et de détente. Pour Aristote, le jeu est un délassement, une dépense nécessaire d'énergie indispensable au travail : « Le jeu n'a pour objet que de délasser, mais il faut aussi que le délassement soit agréable ; car il doit être un remède aux soucis du travail » (Aristote, cité par Pellegrin, 1990). Ce philosophe préconise d'ailleurs d'encourager les enfants à pratiquer des activités ludiques car elles sont des

entraînements à leur future vie d'adulte. Le jeu est ainsi associé au loisir et est placé au niveau du travail, il est considéré comme une activité nécessaire dans la vie de l'homme car il apporte une détente biologiquement nécessaire. Pour résumer, le jeu est considéré comme une activité puérile qui permet à l'homme de couvrir une plage de temps sans ennui aucun, il ne fait pas l'objet d'une sérieuse considération philosophique. Les concepts grecs de Platon ou d'Aristote dont le discours veut qu'éducation et jeu s'accordent, trouvent une nette opposition chez Kant qui plaide pour une stricte séparation entre temps d'apprentissage et temps de jeu. Pour Kant (cité par Pholomenko, 1989), « l'art d'instruire est d'obtenir que l'enfant prenne de la peine », ou « Ainsi, l'enfant doit être habitué à travailler. Et où donc le penchant au travail doit-il être cultivé, si ce n'est à l'école ? L'école est une culture par contrainte. Il est extrêmement mauvais d'habituer l'enfant à tout regarder comme un jeu. Il doit avoir du temps pour ses récréations, mais il doit aussi avoir pour lui un temps où il travaille. Et si l'enfant ne voit pas d'abord à quoi sert cette contrainte, il s'avisera plus tard de sa grande utilité » (*Ibid.*, p. 111). Selon cet auteur, les inconvénients du jeu finissent toujours par l'emporter sur les avantages et l'on ne peut fonder une pédagogie sur l'apprentissage par le jeu. Mais cet auteur reconnaît certaines utilités du jeu dans l'éducation, il mentionne notamment le développement de l'humain, l'autonomie, l'apprentissage de la vie, etc. Il va donc revenir sur ces concepts grecs « classiques » de Platon et Aristote et réintroduire le jeu au sein de la philosophie en le considérant comme facteur de développement de l'humain, sans le délester de ces aspects négatifs. C'est Schiller (1795) qui définitivement va légitimer le jeu en lui donnant une véritable place fondatrice en philosophie renversant notamment les oppositions « jeu-sérieux, jeu-travail ». Ainsi, le jeu va quitter son insignifiance pour prendre une place importante et devenir un élément pertinent de l'anthropologie. Selon Schiller (1795), le jeu est un lieu privilégié de l'expérience qui permet l'épanouissement de soi, c'est une expression de la liberté : « n'est tout à fait homme que là où il joue ». Henriot (1989) s'est intéressé au jeu et plus précisément à la pensée du jeu : « Le jeu, c'est d'abord la pensée du jeu » (p. 12). L'originalité de cette approche consiste à prendre « le jeu » non pas comme objet ou activité comme dans le paragraphe précédent, mais plutôt comme procès. Henriot (1989) propose la définition suivante du jeu « on appelle jeu tout procès métaphorique résultant de la décision de mettre en œuvre un ensemble plus ou moins coordonné de schémas consciemment perçus comme aléatoires pour la réalisation d'un thème délibérément posé comme arbitraire » (p. 300). Ce philosophe cherche à définir le caractère de « la pensée du jeu », à laquelle il va

donner le nom "d'attitude ludique". Il fait une distinction entre la pratique ludique, la structure ludique et le matériel ludique. La pratique ludique renvoie à « l'action menée par celui qui joue », la structure ludique correspond au « système de règles que le joueur s'impose de respecter pour mener à bien son action » (*Ibid.*, p. 98). Le matériel ludique est quant à lui « un ensemble d'objets unis par des relations déterminées et dont on fait usage pour jouer » (*Ibid.*, p. 97). Henriot (1989) accorde une importance capitale à l'attitude ludique, alors que le matériel ou la situation ne sont pas ludiques en soit. Il précise aussi que certaines situations ne présentent pas les caractéristiques nécessaires pour que les personnes impliquées puissent adopter une attitude de jeu.

Au final la notion de jeu a évolué progressivement dans le discours philosophique. Les représentations héritées de la pensée grecque ont progressivement muté grâce en partie à Kant et à Schiller qui ont impulsé de nouvelles problématisations du jeu. Ces philosophes ont montré que le jeu allait beaucoup plus loin qu'une simple distraction, occupant une place importante dans l'implication politique et morale de l'homme. Le jeu devient un fait spécifique à l'homme, une caractérisation de l'humain, il trouve sa place dans l'anthropologie.

1.1.2. Les approches anthropologiques et socioculturelles du jeu

Dans une approche socioculturelle, le jeu est abordé ici sous un angle totalement différent, il est appréhendé comme un phénomène culturel et social. L'historien néerlandais Huizinga (1951) est le premier à établir explicitement des liens entre le jeu et les diverses activités humaines en s'interrogeant sur les fonctions anthropologiques du jeu. Huizinga (1951) envisage le jeu « comme un phénomène culturel, et non pas comme une fonction biologique » (p. 12). L'auteur interroge le phénomène ludique en montrant que le jeu donne forme à la culture, ainsi il propose la définition suivante du jeu : « le jeu est une action ou une activité volontaire accomplie dans certaines limites de temps et de lieu, suivant une règle librement consentie, mais complètement impérieuse, pourvue d'une fin en soi, accompagnée d'un sentiment de tension et de joie et d'une conscience d'être autrement que la vie courante » (*Ibid.*, p. 58). Cet intérêt manifeste pour l'aspect culturel du jeu est un point commun que partage le sociologue Caillois (1958) ; pour lui « le jeu est consubstantiel à la culture » (p. 135). En s'appuyant sur la définition du jeu donnée par Huizinga, Caillois affine et dénombre les caractères qui le dé-

finissent, le jeu est une activité :

- Libre : « à laquelle le joueur ne saurait être obligé sans que le jeu perde aussitôt sa nature de divertissement attirant et joyeux »,
- Séparée : « circonscrite dans des limites d'espace et de temps précises et fixées à l'avance »,
- Incertaine : « dont le déroulement ne saurait être déterminé ni le résultat acquis préalablement, une certaine latitude dans la nécessité d'inventer étant obligatoirement laissée à l'initiative du joueur »,
- Improductive : « ne créant ni biens, ni richesse, ni élément nouveau d'aucune sorte et, sauf déplacement de propriété au sein du cercle des joueurs, aboutissant à une situation identique à celle du début de la partie »,
- Réglée : « soumise à des conventions qui suspendent les lois ordinaires et qui instaurent momentanément une législation nouvelle, qui seule compte »,
- Fictive : « accompagnée d'une conscience spécifique de réalité seconde ou de franche irréalité par rapport à la vie courante ». (*Ibid.*, p. 101)

L'auteur propose une typologie des jeux selon quatre catégories issues d'attitudes dominantes du joueur qu'il nommera : "*agôn*" (compétition), "*mimicry*" (imitation), "*aléa*" (hasard) et "*ilinx*" (vertige). Caillois (1958) affine cette classification en introduisant deux autres concepts fondamentalement opposés : « *ludus* » qui correspond à des jeux structurés, formalisés et comportant des règles précises et « *paidia* » qui représente quant à lui, les jeux libres improvisés. Les apports de Caillois (1958) et de Huizinga (1951) permettent d'aborder le jeu sous l'angle des sciences sociales et de percevoir leur définition du jeu ce qui a permis notamment d'alimenter les réflexions des groupes de travail des Centres d'Entraînement aux Méthodes d'Education Active (CEMEA).

1.1.3. Jeu et éducation selon l'approche psychanalytique

Une des observations les plus célèbres de la psychanalyse à propos du jeu est sans doute celle de Freud (1920) à propos du jeu de la bobine (ou "*Fort/Da*"). Le neveu de Freud jouait avec une bobine en bois entourée d'une ficelle, s'amusant à faire tomber la bobine puis à la ramener vers lui. Lorsque la bobine tombait et disparaissait, il prononçait "*Fort*" et lorsqu'elle revenait, il disait "*Da*". À partir de cette observation, Freud a cherché à dégager la fonction de ce jeu de « disparition-retour » en laissant de côté le comportement ludique de l'enfant. Pour Freud, ce jeu du "*Fort/Da*" représente chez l'enfant les absences et présences de la mère. Les retours sont sources de plaisir en relation avec les joies procurées par le retour de la mère, les disparitions correspondent quant à elles à son départ. Le jeu apparaît ici comme une mise en place d'un fonctionnement psychique de l'homme acquis au travers des comportements ludiques. Ce fonctionnement est caractérisé par un espace dans lequel l'enfant peut faire le lien entre présence et absence, entre dedans et dehors, entre lui et les autres.

Inspiré de la théorie freudienne, le psychanalyste anglais Winnicott (1971) s'intéresse spécifiquement au jeu et à l'activité qu'il procure. Ainsi, l'auteur met en évidence la différence entre le « jeu » et l'acte qu'il procure à savoir « jouer ». La langue anglaise permet de mieux comprendre cette différence qui est d'ailleurs soulignée par le traducteur Pontalis (1971) dans la préface du livre de Winnicott « Jeu et réalité, l'espace potentiel ». Pontalis (1971) écrit : « d'abord parce que le français ne dispose pas, à la différence de la langue anglaise, de deux termes pour désigner les jeux qui comportent des règles et ceux qui n'en comportent pas... » (p. 3). En effet, les termes anglais¹⁰ "*game*" et "*play*" permettent de différencier le jeu réglé qui est organisé socialement du jeu libre qui est créatif et sans règles. Winnicott (1971) met en évidence le concept de l'objet transitionnel (morceau de chiffon, ours en peluche, couverture, etc.). Cet objet représente le premier usage du symbole par l'enfant et la première expérience du jeu. Choisi par l'enfant, cet objet lui sert à expérimenter de façon ludique l'omnipotence : « Ce n'est pas l'objet, bien entendu, qui est transitionnel. L'objet représente la transition du petit enfant qui passe de l'état d'union avec la mère à l'état où il est en relation avec elle, en tant que quelque chose d'extérieur et de séparé » (*Ibid.*, p. 26). Winnicott (1971) introduit le concept « d'espace transitionnel » considéré comme un

¹⁰ Nous employons dans la suite de cette thèse les mots "*game*" ou « jeu » dans le sens d'activité ludique.

espace intermédiaire entre la réalité intérieure de l'enfant et la réalité extérieure, ce psychanalyste s'attache tout particulièrement à décrire ces phénomènes transitionnels qui conditionnent la relation du nourrisson à l'environnement. Selon cet auteur, il existe trois aires psychiques : la réalité psychique intérieure, l'environnement où vit l'enfant et une troisième aire qui est un espace intermédiaire entre les deux premiers. Cette aire nommée "aire transitionnelle" est celle de l'expérience créative dans laquelle s'exprime notamment chez l'enfant le jeu spontané. L'enfant pourra faire des expériences fondamentales pour sa maturation psychique, son autonomie et sa découverte de soi. Pour Winnicott (1971) jouer est donc un phénomène transitionnel et le jeu est une expérience vitale qui permet à l'enfant d'avoir le sentiment d'exister réellement et favorise le développement de sa personnalité. Ainsi, ces deux développements théoriques de la psychanalyse considèrent le jeu comme mode d'expression et de construction de soi. L'enfant entre ainsi dans un monde symbolique qui lui permet d'apprendre à vivre seul, à se construire une force intérieure et une autonomie.

1.1.4. Jeu et éducation selon l'approche psychologique

Dans le cadre théorique de la psychologie du développement, les psychologues s'attachant à la construction de la personnalité enfantine se sont intéressés à ce qu'apportait le jeu à l'enfant.

1.1.4.1. Le jeu, nécessité biologique

Les psychologues du développement se sont intéressés au jeu et à sa fonction dans la formation de la personnalité. Les premiers travaux sont envisagés selon une approche s'inspirant de la biologie en lien avec l'étude du comportement animal dans son milieu naturel à savoir l'éthologie. Le jeu est ainsi considéré comme une nécessité biologique essentielle dans la préservation de l'espèce. En effet, selon cette approche, le développement de l'espèce est tributaire d'activités ludiques qui permettent d'affiner les instincts indispensables pour la vie adulte. Les félins, par exemple, jouent avec une pierre, une branche ou une proie, ce qui va leur permettre d'accroître leur rapidité, leur temps de réaction, leur dextérité et leur force.

Cette pratique du jeu est considérée comme un moyen qui permet d'acquérir des compétences nécessaires à leur survie à l'âge adulte. Cette approche biologique du comportement ludique attribue une place importante au jeu et notamment à sa fonction et à son rôle dans le développement. A chaque type de jeu appartenant à trois catégories (jeu de l'appareil sensoriel, jeux de l'appareil moteur et jeux de l'intelligence et la volonté) sont associées différentes fonctions (entraînement physique, régulation de l'agressivité, régulation du niveau d'excitation). Le jeu est inscrit au cœur de l'interrogation scientifique comme faisant partie de l'évolution de l'espèce. Au XIX^{ème} siècle, le biologiste évolutionniste allemand Haeckel (1874) considérait que chaque être vivant, au cours de son développement, récapitule l'histoire évolutive de son groupe. Cette théorie de la récapitulation issue du darwinisme, expliquerait le jeu par une nécessité biologique fondamentale qui permet le passage du stade « primitif » au stade « civilisé ». Au-delà de ces présupposés critiquables apparaît l'idée que l'individu construirait progressivement un patrimoine culturel grâce au jeu. D'autres auteurs comme le psychologue Hall (1883), souvent identifié comme le père de la psychologie développementale américaine, explique aussi le jeu par une nécessité fondamentale qui influence le développement organique de l'enfance. Ainsi, selon l'approche psychobiologiste, le jeu joue un rôle dans l'évolution des espèces, ce qui explique la place qu'il occupe dans les investigations scientifiques de cette époque.

1.1.4.2. Le jeu dans le développement psychologique de l'enfant et de l'adolescent

L'approche naturaliste a influencé le discours sur la psychologie. Dans sa théorie, Piaget (1967) s'appuie sur la théorie de la récapitulation pour établir des liens étroits avec le développement de l'intelligence. Selon Piaget (1967), l'origine de la pensée humaine se construit progressivement et en interaction avec le milieu environnant grâce à des représentations de plus en plus fines. Deux grands mécanismes sont à l'œuvre au cours de ce processus d'adaptation au réel : l'accommodation et l'assimilation. L'accommodation correspond à la modification des structures en fonction du milieu, et l'assimilation est l'intégration biologique ou cognitive par le sujet des éléments du milieu environnant. Pour reprendre une distinction proposée dans l'étude des manifestations de l'intelligence infantile,

Piaget (1974) prend en compte la place et le rôle qu'occupe le jeu en établissant une classification génétique avec une évolution en trois stades :

- Les *jeux d'exercices* correspondent aux premières années de l'enfance jusqu'à deux ans. Ces jeux sont de la forme la plus primitive qui soit, ils correspondent aux premiers stades du développement sensori-moteur. Ces jeux libres sont souvent de la découverte d'objets ou des parties du corps de l'enfant, le plaisir étant d'agir sur le réel.
- Les *jeux symboliques* (entre deux et six ans) permettent à l'enfant d'assimiler le réel. En effet, grâce à ses capacités de représentation, l'enfant peut reproduire symboliquement le réel, l'imiter ou le transformer. Il utilise les objets comme des symboles et c'est ce qui lui permet de transformer le réel. Selon Piaget (1974) dans le jeu symbolique, le réel est assimilé au "Moi". Ces jeux symboliques sont des jeux d'imitation, de faire semblant et le dessin. L'enfant peut par exemple déplacer une boîte en imaginant qu'il s'agit d'une automobile, il peut faire semblant de dormir ou associer son ours à un enfant.
- Les *jeux à règles* (de six à douze ans) permettent au travers des règles de développer l'autonomie et la coopération. Les jeux se déroulent en s'appuyant sur des règles valables pour tous. Ces jeux à règles correspondent aux jeux de société ou d'équipe, qui exigent que l'enfant se conforme à certaines règles et rôles particuliers imposés par le jeu choisi. L'enfant apprend à anticiper et à prévoir des stratégies qui lui permettent d'atteindre le but recherché avant les autres. Dans sa vision développementale, Piaget (1974) met en avant l'importance du jeu dans les stades de développement de l'enfant au travers des mécanismes d'adaptation et d'assimilation. Ainsi, à chaque période de développement de l'enfant correspond un jeu à un intérêt présentant un besoin spécifique.

Ci-dessous un tableau récapitulatif des différents stades du développement en relation avec l'évolution des jeux.

Type de jeux	Age	Fonction	Exemples
Jeux d'exercices	0 à 2 ans	Développement sensori-moteur	Découverte d'objets
Jeux symboliques	2 à 6-7 ans	Assimilation du réel	Imitation ; dessins
Jeux à règles	6 à 12 ans	Autonomie et la coopération	Jeux de société ou d'équipe

Tableau 1 : Développement de l'enfant en fonction des types de jeux

Wallon (1941) va lui aussi proposer une succession de stades¹¹ caractérisant une typologie fondée sur l'évolution psychologique de l'enfant. Pour cet auteur, deux facteurs interviennent dans le développement de l'enfant, un facteur biologique, résultant des interactions entre les contraintes neurobiologiques de maturation et d'adaptation et un facteur social, qui gère l'interaction entre l'enfant et le milieu.

Nous avons vu comment le jeu était appréhendé biologiquement et psychologiquement. Ces deux approches étroitement liées définissent le jeu comme un élément du développement de la personnalité, développement à la fois biologique et psychologique, elles défendent l'hypothèse selon laquelle le jeu serait à la fois un besoin et un instinct. Mais, qu'en est-il de cette problématique du jeu et de l'activité ludique dans les sciences de l'éducation ?

1.2. Le(s) jeu(x) et les problématiques d'éducation et de formation

1.2.1. Le débat sur le jeu en éducation

Sans développer l'ensemble de l'importante littérature qui existe sur ce domaine, nous allons pointer les problématiques qui ont traversé les débats sur « jeu - éducation - apprentissage » tels qu'ils ont été positionnés en sciences de l'éducation. Comme nous l'avons vu dans le chapitre relatif au jeu et à l'éducation selon l'approche philosophique, le débat à ce sujet n'est pas nouveau puisque déjà, dès l'antiquité, des oppositions entre jeu et apprentissage étaient présentes. Ainsi, au centre du débat, nous retrouvons aux antipodes les notions de travail et de jeu, avec en toile de fond les valeurs respectives qui leur sont associées. Comme nous l'avons montré, le travail est associé à l'effort, à l'apprentissage et le jeu est un simple délassement, une détente, une activité libre. Sans entrer dans ce débat, nous allons au-delà de cette dichotomie traditionnelle en nous penchant sur les évolutions marquantes qui considèrent une certaine porosité entre jeu et travail, ce qui sera l'objet de la section suivante.

¹¹ Le stade impulsif pur (entre 0 et 3 à 6 mois) ; le stade émotionnel (entre 3 et 9 mois) ; le stade sensori-moteur (entre 9 et 12 mois) ; le stade projectif (entre 1 et 2 ans) ; le stade du personnalisme (entre 2 et 5 ans) ; le stade de la personnalité polyvalente (entre 5/6 ans et 11 ans) ; l'adolescence (à partir de 12 ans).

1.2.2. Une problématique de l'école nouvelle et des mouvements pédagogiques

Comme nous l'avons vu précédemment, les recherches témoignent l'intérêt du jeu et s'accordent pour donner une caution scientifique en soulignant son rôle nécessaire au développement cognitif et affectif de l'enfant. Prenant appui sur le développement de la psychologie de l'enfant, de la psychanalyse et de la sociologie, les acteurs de l'éducation nouvelle¹², dans le cadre de leurs recherches et de leurs pratiques, se sont donc logiquement intéressés au jeu jusqu'à en faire des pratiques de référence. Ce mouvement pédagogique d'éducation nouvelle (fin XIX^{ème} - début XX^{ème} siècles) qui va surgir un peu partout en Europe et en Amérique, pointe deux courants forts. Le premier se préoccupe davantage de la nature du sujet (pédagogie centrée sur le sujet) et le second courant insiste plus sur la dimension collective du travail et la transmission d'une culture. Ainsi, les méthodes mises en œuvre sont des méthodes dites « actives », c'est-à-dire qu'elles appellent pour la construction de chaque connaissance aux initiatives des enfants eux-mêmes. Jouer devient alors un acte essentiel pour les enfants leur permettant de construire, de s'approprier, de s'adapter au réel et de percevoir les différences entre réel et imaginaire. Le sérieux du jeu est repris par les mouvements d'éducation nouvelle¹³ devenant l'outil et le moyen indispensables de l'éducation. Cependant, selon Freinet (1960), la pédagogie du jeu est une erreur, redoutant que le joueur ne cherche qu'à s'étourdir par le jeu. Bien que reconnaissant l'expression libre, l'autonomie et la coopération, il propose de remplacer le {jeu - travail} par le {travail - jeu}. Pour lui, la nature même de l'enfant est de travailler et non de jouer. La pédagogie de Freinet est une « éducation du travail » et repose sur le travail-jeu, c'est-à-dire un travail qui apporte autant de satisfaction que le jeu. Autrement dit, la problématique de l'école nouvelle et des mouvements pédagogiques reste toujours articulée autour de la question du savoir, ce qui nous conduit à aborder à présent la dimension didactique du jeu.

¹² Pour n'en citer que quelques-uns : R. Coussinet ; M. Montessori ; O. Decroly ; C. Reddie ; E. Claparède ; C. Freinet

¹³ Comme par exemple les CEMEA (G. De Failly ; H. Laborde) ; G.F.E.N (H. Wallon ; P. Langevin ; R. Gloton) ; La Nouvelle Education (R. Coussinet).

1.2.3. Jeu - jeux et didactique

Les apports des paragraphes précédents permettent de considérer le jeu comme une activité sérieuse qui contribue au développement affectif, sensori-moteur, cognitif, moral, intellectuel et social de l'enfant d'une part et au développement des plus hautes manifestations de la culture d'autre part. Dans cette partie, nous allons aborder la dimension didactique du jeu. Plusieurs auteurs témoignent de la présence du jeu dans l'éducation. Comme nous l'avons mentionné précédemment, dès l'antiquité pour Platon (cité par Auerbach, 1968) jeu et éducation sont associés autour de l'imitation, du simulacre, l'enfant ose expérimenter ce qu'il ne pourrait faire dans la vie courante. Pour Aristote (Aristote, cité par Hardy, 1965), le jeu est indispensable au travail. À l'époque des Lumières, Rousseau (1762) est souvent considéré comme un fondateur de la pensée éducative ; pour cet auteur, le jeu est perçu comme « une ruse pédagogique » à valeur éducative, c'est un moyen de séduire les jeunes enfants et les faire travailler. Selon Château (1962), « le jeu est une véritable situation d'apprentissage non institutionnelle qui existe avant même que l'enfant n'aille à l'école et que cela justifie donc qu'il ait sa place dans l'activité scolaire ». S'appuyant sur les travaux de Château (1962) et sur sa théorie des jeux, Brousseau (1988) considère le jeu comme un modèle pour décrire et analyser les activités d'enseignement apprentissage. Cet auteur souligne son rôle central dans la théorie des situations didactiques : « l'enseignant est donc impliqué dans un jeu avec le système des interactions de l'élève avec les problèmes qu'il lui pose. Ce jeu ou cette situation plus vaste est la situation didactique » (p. 80). La situation didactique permet de décrire les relations d'un élève avec un milieu mobilisé par un enseignant pour lui faire acquérir un savoir déterminé. Brousseau (1988) considère le milieu comme un jeu : « Le milieu est un jeu ou une partie de jeu qui se comporte comme un système non finalisé..., il se comporte de telle manière que le joueur le perçoive comme un système non chaotique donc contrôlable par la connaissance » (p. 321). La situation didactique est une relation ternaire, comprenant l'élève, le professeur et les savoirs. Les acteurs de cette situation (le professeur et les élèves), sont en relation par un système d'attentes réciproques qui est le contrat didactique (Brousseau, 1998). Ce contrat didactique engage l'élève à jouer avec le milieu. Sensevy (2007) considère la relation didactique comme un jeu en reconnaissant comme Brousseau qu'il est un modèle pertinent pour mettre en lumière certains aspects sociaux de l'activité humaine : « la notion de jeu peut

fournir un modèle pertinent pour mettre en évidence certains aspects [...] de l'activité humaine. Le modèle du jeu présente notamment le mérite de souligner les aspects affectifs de l'action (l'investissement dans le jeu) et ses aspects effectifs et pragmatiques (quand et comment gagne-t-on ?) » (p. 19). Pour cet auteur, le jeu didactique est un jeu de communication qui s'actualise dans les transactions qui expriment la relation didactique, relation ternaire liant enseignant - élève - savoir. Dans la théorie de l'action didactique conjointe du professeur et des élèves le « jeu didactique » s'envisage comme un jeu gagnant/gagnant (Sensevy et Mercier, 2007). L'élève joue un jeu d'apprentissage, le professeur joue sur le jeu de l'élève et le professeur gagne si l'élève gagne, c'est-à-dire s'il apprend. Les discours du professeur sont portés par des situations d'apprentissage qui donnent lieu à des « jeux d'apprentissage » spécifiques (Sensevy, 2007). Les « jeux d'apprentissage » caractérisent l'action didactique en tant que « jeu de savoir ». Dans l'optique de l'acquisition d'un savoir, le rôle du professeur est de conditionner le bon déroulement du jeu, il doit accompagner et guider l'élève dans l'action en lui laissant des espaces nécessaires au fonctionnement du système didactique. Ainsi, à la suite de Schubauer-Leoni (1998), nous pouvons dire que ce fonctionnement du système didactique peut être défini comme un système de relation entre le jeu de l'enseignant et le jeu de l'élève à propos du savoir à enseigner et à apprendre. Au regard de notre problématique, cette affirmation peut être vue comme une métaphore du jeu en génie mécanique où le jeu est défini comme l'espace laissé entre deux pièces et permettant le fonctionnement des systèmes. Ainsi, le jeu apparaît comme une nécessité dans le fonctionnement et l'assemblage des éléments d'un mécanisme, il est également une nécessité dans le fonctionnement du système didactique.

Dans cette partie, le jeu est considéré comme un modèle pour étudier les systèmes didactiques. Il possède une propriété centrale qui serait de produire du savoir dans les « mécanismes d'apprentissage ». L'action de jouer met en lumière toute une dimension affective (investissement, agir avec soi-même, ...) pour s'approprier un savoir. A l'issue de ce paragraphe, nous pouvons mesurer l'importance du jeu dans les processus d'enseignement-apprentissage. Dans le chapitre relatif aux méthodes mises en œuvre pour le programme didactique (Cf. Chapitre 4), nous préciserons quels sont les descripteurs, appartenant à la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD), que nous mobiliserons pour étudier le jeu du professeur sur le jeu de l'élève confronté au *serious game* Mecagenius.

1.3. Conclusion

Ce bref panorama des différentes approches du jeu a permis de pointer la dimension transversale du jeu, dans l'activité humaine, dans le développement des sujets et dans l'enseignement et l'apprentissage. Notre objectif était de prendre en considération les principaux apports qui ont participé à la définition du jeu et d'en dresser un état des lieux des différentes réflexions dans les problématiques éducatives. Le premier constat est qu'il n'y a pas d'unité d'approche théorique du jeu, il n'y a qu'une grande diversité d'acceptions possibles et qu'il n'existe actuellement pas de définition consensuelle du mot "jeu", comme le souligne Brougère (2005) : « il faut bien admettre qu'il n'y a pas un savoir unifié sur le jeu, qu'au sein même des disciplines, les discours restent pluriels. » (p. 33). En effet, il existe un nombre important de théories possibles (hiérarchique, fonctionnelle, cathartique, préventive, régénératrice, auto suggestive, éducative, ...), et nous rejoignons ici Brougère (2005) lorsqu'il écrit : « Quand les théories disponibles, par leur profusion et leur diversité, augmentent l'ambiguïté, la situation du chercheur semble désespérée et l'on comprend pourquoi si peu d'entre eux s'intéressent à ce domaine » (*Ibid.*, p. 17). Les définitions sont toujours marquées par l'origine de celui qui les formule et de toute évidence, il est difficile de donner une définition précise de la notion de jeu.

En revanche le second constat à prendre en compte relève du fait que, quels que soient les domaines ou les champs théoriques, tous les auteurs s'accordent pour dire que le jeu est constitutif de l'humain et de sa vie en société. Ce qui nous amène à penser qu'il est nécessaire de développer un regard systémique pour révéler les contours et l'épaisseur de l'objet d'étude qu'est le jeu. Une approche systémique doit permettre de rapporter le jeu à son contexte et de l'analyser plus finement. Aujourd'hui, cette question du rapport du jeu, de la didactique et de l'apprentissage se pose d'une façon renouvelée avec l'apparition depuis une décennie des jeux vidéo et des jeux sérieux sur le marché des produits éducatifs. Ce qui nous amène logiquement à examiner du point de vue de la revue de littérature quel est l'état de l'art sur la question des jeux vidéo et des jeux sérieux dans leurs relations avec l'enseignement et l'apprentissage afin de mieux circonscrire l'inscription théorique et la problématique de notre recherche.

2. Jeux vidéo et des jeux sérieux en contexte éducatif

L'évolution des technologies numériques offre aujourd'hui aux enseignants la possibilité de diversifier les médias qu'ils utilisent à des fins d'enseignement. Un des postulats sous-jacent à l'usage de ces technologies repose sur l'idée que les apprenants actuels sont nés avec le numérique, maîtrisent un ensemble de techniques et apprécient l'usage de ces matériels comme l'ordinateur, le téléphone portable ou la console de jeu (Prensky, 2001). Une nouvelle génération de médias pédagogiques a vu récemment le jour : les jeux sérieux ou *serious game*¹⁴. Issus du jeu vidéo, dont l'essor commercial n'est plus à démontrer, ils associent un scénario ludique supporté par un jeu vidéo, à un contenu pédagogique qualifié de sérieux (Alvarez, 2007). Le présupposé est que le joueur, absorbé par le jeu, ne se rend pas compte qu'il apprend. Il bénéficie ainsi de tout ce que le jeu vidéo lui procure : la motivation, la socialisation et une certaine forme d'apprentissage. Telle est la rhétorique véhiculée par les constructeurs de ces jeux sérieux comme le montrent Sauvé et Kaufman (2010). Mais, qu'en est-il réellement ? Que disent les travaux de recherche sur les qualités supposées des jeux vidéo et des jeux sérieux ? Qu'en est-il de ces qualités lorsque ces jeux sont transposés dans le domaine de l'enseignement scolaire ou de la formation universitaire ? Dans cette section, nous examinons le potentiel éducatif des jeux vidéo et des jeux sérieux et leurs éventuels apports en termes de formation, d'enseignement et apprentissage. Pour ce faire nous sommes plus particulièrement intéressés aux travaux ayant évalué les effets des jeux vidéo et des jeux sérieux sur les joueurs, leurs apports spécifiques ainsi que leurs limites notamment dans une perspective éducative. Cette revue de littérature discute par ailleurs quel est leur potentiel dès lors qu'ils sont introduits dans les milieux de l'enseignement et de la formation. Les recherches concernant ces jeux constituent un ensemble disparate en termes de champs disciplinaires (psychologie, sociologie, sciences de l'éducation, EIAH¹⁵, etc.) ainsi qu'en termes de posture de leurs auteurs (apologétique, critique, évaluative ou praxéologique). Soulignons avec Sauvé et Kaufman (2010), le développement « pléthorique » de ces recherches ainsi que la diversité et l'ampleur des études menées actuellement. Au regard de

¹⁴ Dans le cadre de cette thèse, nous emploierons indifféremment ces deux termes, car nous les considérons, avec d'autres, comme interchangeables.

¹⁵ Le champ scientifique des EIAH (Environnement Informatiques pour l'Apprentissage Humain) est relatif aux travaux centrés sur les environnements informatiques dont la finalité est de susciter et accompagner l'apprentissage humain.

l'ensemble de ces travaux, quel bilan pouvons-nous établir ? Pour répondre à cette question, une recherche bibliographique a été initiée sur la base de la combinaison des termes « jeux vidéo », « jeux sérieux » avec les mots clés suivants : apprentissage, simulation, éducation, éducatif, connaissances, didactique, ainsi que leurs équivalents de langue anglaise (*video game, serious game, knowledge, e-learning, education, learning, game based learning*). A partir d'une première lecture des résumés et mots clés des publications ainsi recensées, nous avons retenu comme critères d'inclusion les articles ou publications traitant des effets des jeux sur les joueurs, sur leurs apprentissages ainsi que discutant leur utilisation en situation institutionnelle d'apprentissage, d'enseignement ou de formation. Ont été examinées les publications portant sur ces thématiques qui répondent à un minimum de critères de standardisation au regard de ce qui est habituellement attribué à une production de recherche. Trois types de supports ont été retenus : les articles de recherche, les revues de littérature parues dans des journaux scientifiques ou dans des ouvrages de synthèse, ainsi que les rapports à destination des décideurs traitant de la question de l'utilisation des jeux vidéo ou des jeux sérieux en classe sur la base de résultats de recherche. L'extrême importance du corpus nous a amené à faire des choix qui, par bien des égards, pourront apparaître réducteurs. Nous faisons tout d'abord le point sur l'impact des jeux vidéo et des jeux sérieux en examinant successivement les travaux relatifs à la motivation, concept clé de la littérature portant sur ce domaine, puis en discutant leur contribution controversée quant au développement des joueurs. Nous envisageons enfin plus spécifiquement quel peut être l'impact de l'utilisation des jeux vidéo et des jeux sérieux en milieu scolaire et de formation.

2.1. Vers une définition des jeux vidéo et des jeux sérieux

Il existe depuis presque trois décennies une importante littérature sur les jeux vidéo. En revanche, la littérature de recherche portant sur l'intérêt et les limites des jeux sérieux est plus récente. Globalement il y est fait l'hypothèse que les jeux sérieux hériteraient des caractéristiques des jeux vidéo (Michael et Chen, 2006). Certains avancent l'idée d'une porosité entre ces deux types de jeux (Alvarez, 2007). Leur distinction apparaît en effet parfois difficile. La visée de cette première section est de proposer une définition opérationnelle de ces deux types de jeux avant d'en décrire le potentiel éducatif tel que discuté dans la littérature.

On doit à Exposito (2005) une définition littérale du terme jeu vidéo, qui est « un jeu auquel nous jouons grâce à un périphérique multimédia et qui peut être basé sur une histoire » (notre traduction) (p. 2). Cette définition est susceptible de variations selon que sont mis en exergue le type de support matériel ou logiciel, les règles du jeu, la jouabilité, l'environnement ludique, son enjeu, l'aspect culturel, etc. Ainsi, la prise en compte de l'ordinateur peut conduire à la caractérisation du jeu vidéo comme un « jeu informatique » (*computer game*). Pour Genvo (2008) le jeu vidéo est « à la fois une activité, une action et une attitude ludique adoptées par un utilisateur envers un logiciel » (p. 11). Cette définition attribue une importance centrale au logiciel et à l'attitude des joueurs ce qui caractérise pour l'auteur, le potentiel ludique offert par le jeu. Brougère (2008) adaptant aux jeux vidéo les caractéristiques des jeux qu'il a définies dans de premières études (Brougère, 1995, 2005), propose de les hiérarchiser pour comprendre leur mise en scène dans les jeux vidéo. Ainsi, cet auteur identifie deux critères suffisants qui permettent de saisir la dimension ludique des situations des joueurs confrontés aux jeux vidéo. Le premier critère correspond au faire semblant, c'est-à-dire à la capacité du joueur à entrer consciemment dans l'imaginaire ou « second degré ». Le deuxième relève de « la prise de décision » inhérente au jeu. Il n'y a jeu que si le joueur le décide. Brougère (2008) à partir de ces deux critères, isole trois caractéristiques : deux qui sont propres aux jeux vidéo, les règles et l'incertitude et une qui est la conséquence des deux premières, la frivolité. Selon cet auteur, « le jeu vidéo n'est pas une nouvelle conception du jeu, mais sa matérialisation radicale » (p. 6). Une troisième définition introduite par Salen et Zimmerman (2003) présente le jeu vidéo comme un système au sein duquel les joueurs font face à un conflit artificiel défini par des règles et qui aboutit à un résultat quantifiable. Face à cette pluralité des définitions des jeux vidéo, elle-même tributaire des très rapides évolutions technologiques du domaine, nous retiendrons dans le cadre de notre travail une définition suffisamment englobante, nous permettant de retenir un large corpus d'articles : un jeu vidéo est un logiciel destiné au loisir intégrant des périphériques numériques permettant au joueur d'interagir dans un environnement virtuel conformément à un ensemble de règles prédéfinies.

A la question qu'est ce qu'un jeu sérieux, nous relevons également de multiples définitions et en conséquence une absence de consensus (Sitzmann, Ely, Bell et Bauer, 2010). D'aucuns pointent l'urgence de porter un regard sur cette terminologie associée aux jeux sérieux afin de dissiper la confusion qui y règne (Becker, 2008 ; Egenfeldt-Nielsen, 2006 ; Sanchez, Ney et Labat, 2011). La plupart des auteurs insiste tour à tour sur différentes facettes du jeu sérieux :

son aspect ludique, l'importance de l'apprentissage, sa fonction cognitive destinée à stimuler le joueur pour l'objectif visé, ou encore sa dimension informatique. Zyda (2005) définit le jeu sérieux comme « un défi cérébral contre un ordinateur impliquant le respect de règles spécifiques et qui s'appuie sur le divertissement pour atteindre des objectifs liés à la formation institutionnelle ou professionnelle, l'éducation, la santé, la politique intérieure ou la communication » (p. 26). Michael et Chen (2006) font un pas de plus en indiquant qu'un jeu sérieux a pour objectif principal de créer une expérience d'apprentissage motivante orientée vers des objectifs éducatifs. Ils ajoutent que c'est une application directe des caractéristiques propres aux jeux vidéo traditionnels. Alvarez (2007) pousse cette réflexion en indiquant qu'un jeu sérieux est la mise en relation d'un scénario utilitaire (de nature pédagogique) et d'un scénario vidéo ludique. Cet auteur distingue sur un continuum : les jeux vidéo présentant un scénario uniquement vidéo ludique ; les jeux sérieux présentant à la fois un scénario vidéo ludique et un scénario utilitaire ; et enfin, les applications informatiques présentant seulement un scénario utilitaire. Il indique que les frontières entre ces trois catégories sont poreuses du fait de l'appréciation subjective du caractère ludique ou utilitaire. Alvarez et Michaud proposent de surcroît de classer les jeux sérieux selon cinq catégories correspondant à leurs intentions : les jeux publicitaires (*Advergaming*) dont l'objectif est de transmettre un message publicitaire ; les ludo-éducatifs (*Edutainment*) dont la vocation est éducative ; les jeux de marché (*Edumarketgame*) qui sont éducatifs ou informatifs ; et enfin, les jeux engagés (*Politicalgame*) dont la fonction est de défendre une cause ou de dénoncer des abus et les jeux d'entraînement et de simulation qui permettent de s'entraîner à exécuter une tâche (Alvarez et Michaud, 2008). Cette typologie permet de mesurer le panel des possibilités qu'offrent les jeux sérieux. Comme pour les jeux vidéo, nous retiendrons pour cette revue de question une définition englobante : les jeux sérieux sont des jeux vidéo qui s'appuient sur les ressorts ludiques pour véhiculer des connaissances spécifiques à des fins explicites d'apprentissage ou de formation. Nous mettons donc l'accent sur l'intention éducative intrinsèque aux jeux sérieux.

2.2. Les impacts éducatifs des jeux vidéo et des jeux sérieux

Selon Sauvé, Renaud et Gauvin (2007) la notion d'impact peut se traduire par les effets positifs ou négatifs sur l'apprentissage ou les conséquences qu'engendre l'utilisation d'un jeu sur les connaissances, les attitudes ou les habiletés. Nous avons relevé les thématiques récurrentes discutées par un ensemble d'auteurs issus de champs disciplinaires variés. Nous présentons tout d'abord les résultats de recherche relatifs aux impacts motivationnels. Nous rendons compte ensuite des travaux soulignant leurs effets en terme de capacités attentionnelles à partir du concept de *Flow* (Csikszentmihalyi, 1990). La dernière section porte sur les études tentant de comprendre l'impact des jeux vidéo et des jeux sérieux sur les habiletés perceptives et motrices, le raisonnement, les compétences décisionnelles ainsi que sur la socialisation.

2.2.1. Jeux vidéo, jeux sérieux et motivation

La motivation est un concept-clé de la littérature sur les jeux vidéo et les jeux sérieux (Csikszentmihalyi, 1990 ; Fenouillet, Jonathan et Nora, 2009 ; Garris, Ahlers et Driskell, 2002 ; Gee, 2003 ; Hays, 2005 ; Kirriemuir et McFarlane, 2004 ; Malone et Lepper, 1987 ; Prensky, 2001 ; Ryan, Rigby et Przybylski, 2006 ; Sauvé et *al.*, 2007 ; Toprac, 2011). D'une manière générale, les jeux sont associés à une forte motivation en raison de leur caractère particulièrement attrayant (caractère ludique, aspect interactif et compétitif, défi, ...) et de leur popularité. Deux types de questions sont abordées dans la littérature en lien avec la motivation : pourquoi les jeux vidéo et les jeux sérieux sont-ils motivants ? Dans la perspective de leur conception, quelles sont les conditions qui garantissent leur fonction motivationnelle ? La première question est centrale dans une problématique de l'usage des jeux sérieux pour l'enseignement et la formation. La seconde question renvoie à la fonction motivationnelle des jeux vidéo et des jeux sérieux. La plupart des travaux se sont appuyés sur les définitions construites par la psychologie sociale notamment celle de Ryan et Deci (2000) qui, à partir de la théorie de l'autodétermination, proposent trois types de motivation : la motivation intrinsèque, la motivation extrinsèque et l'amotivation. Ainsi, Blanchard et Frasson (2007) dans leur étude sur le système tutoriel inspiré des jeux vidéo, montrent que le

joueur s'engage dans un jeu vidéo pour le plaisir que lui procure son exécution. La première explication est que le ressort des jeux étant fondé sur le plaisir, ils sont associés à une motivation de type intrinsèque. Ainsi, si la plupart des auteurs invoque la motivation intrinsèque associée au plaisir du jeu, ils pointent aussi dans leur argumentaire que la persévérance peut être aussi expliquée par une motivation extrinsèque (Blanchard et Frasson, 2007 ; Cordova et Lepper, 1996 ; Fenouillet, 1998 ; Fenouillet et *al.*, 2009 ; Garris et *al.*, 2002 ; Habgood et Ainsworth, 2009 ; Hays, 2005 ; Malone, 1981 ; Malone et Lepper, 1987 ; Mitchell et Savill-Smith, 2004 ; Ryan et Deci, 2002).

Soulignant la difficulté de circonscrire théoriquement le concept de motivation, Fenouillet (2009a, 2009b) en propose un modèle intégratif regroupant différentes approches. Compte tenu du grand nombre de théories identifiées par l'auteur, nous ne pouvons prétendre à l'exhaustivité et nous limiterons cette revue aux théories les plus souvent convoquées dans la littérature relative aux applications informatiques ludiques afin de synthétiser les résultats des recherches qui se sont donnés pour objet d'établir une relation entre jeux vidéo ou jeux sérieux et motivation.

Si tous les auteurs s'accordent sur la fonction motivationnelle des jeux, il existe des différences d'appréciations sur les facteurs susceptibles de générer la motivation des joueurs. Cette identification est décisive pour les concepteurs des jeux. Dès les années quatre-vingts, Malone (1981), puis Malone et Lepper (1981), identifient pour les jeux vidéo, deux facteurs (individuels et interpersonnels) au principe de la motivation intrinsèque. Pour être motivant, un jeu vidéo doit posséder un quadruplet de conditions nécessaires : le défi, le contrôle, la curiosité et la fantaisie. Du point de vue des facteurs interpersonnels, il doit réunir un triplet de conditions qui sont la coopération, la compétition et la reconnaissance (Malone, 1981 ; Malone et Lepper, 1987). La littérature évoque plusieurs autres éléments pouvant contribuer à la motivation. Selon les auteurs, l'accent est mis sur des configurations différentes de facteurs. Pour Prensky (2001) c'est l'association de la compétition, du défi, de l'opposition et du conflit qui passionnerait les joueurs. Pour Kirriemuir et McFarlane (2004) c'est l'association de la curiosité, du défi mais aussi de la fantaisie. Garris, Ahlers et Driskell (2002) mettent en avant les caractéristiques nécessaires pour qu'un jeu soit attrayant pour les enfants : la fantaisie, les objectifs et les règles, la stimulation sensorielle ou les défis sont autant d'éléments liés au « mystère » du scénario et au « contrôle » de l'enjeu. Sans doute, faut-il

retenir de ces recherches la nécessaire combinaison d'éléments à la source de motivation intrinsèque pour les jeux vidéo ou les jeux sérieux.

Pour terminer, nous nous intéressons aux études qui, durant ces dernières décennies, ont porté sur la motivation effective des joueurs dans un contexte d'enseignement-apprentissage. Même si la motivation est un présupposé des jeux, même s'il semble évident qu'ils sont motivants, les résultats de ces travaux, parfois contrastés, sont davantage nuancés. Dans une revue de littérature portant sur quarante huit articles empiriques relatifs à l'efficacité des jeux vidéo et des jeux sérieux pour ce qui concerne l'apprentissage (*instructional game*), Hays (2005) conclut que ces types de recherches empiriques demeurent insuffisants et trop fragmentés, ce qui empêche toute généralisation des résultats. Bien que reconnaissant l'effet motivationnel des jeux, Hays (2005) souligne notamment que le lien entre les mesures effectuées sur la motivation et l'élévation des performances scolaires, n'est pas clairement établi. Il relève les nombreuses faiblesses méthodologiques de ces travaux. Par ailleurs les liens entre motivation et apprentissage par les jeux sont contestés par d'autres auteurs. Wouters, Van der Spek et Van Oostendorp (2009) désirant mesurer l'efficacité des jeux sérieux, passent en revue 28 études basées sur des données empiriques à partir des résultats d'apprentissage. Aucune de ces études ne démontre clairement que les jeux vidéo et les jeux sérieux présentent véritablement un avantage du point de vue de la motivation, ni même au regard à des changements d'attitude à l'égard de l'apprentissage ou de la matière enseignée. Pour leur part, les recensions de Egenfeldt-Nielsen (2005) et Wainess (2007) dissipent le point de vue naïf selon lequel les jeux, parce qu'ils sont motivants seraient nécessairement pertinents pour l'enseignement et l'apprentissage. Ce dernier déclare même qu'il est *a priori* irréalisable d'associer divertissement et motivation tout en faisant apprendre, comme nous le discuterons ultérieurement.

Pour conclure, la motivation que génèrent les jeux vidéo ou les jeux sérieux semble indubitable même s'il existe des divergences quant aux facteurs qui la produisent. Concernant l'utilisation des jeux en situation d'enseignement apprentissage, la revue des travaux suggère que les faiblesses méthodologiques des travaux effectués ne permettent pas d'établir de façon sûre quel pourrait être leur impact motivationnel.

2.2.2. La contribution controversée quant au développement des joueurs

Dans ce qui suit, nous nous intéressons aux effets des jeux sur différents registres liés au développement des joueurs. Trois thématiques récurrentes sont abordées dans la littérature : les effets sur : les capacités attentionnelles, les habiletés perceptivo-motrices et la socialisation des sujets. Ces différents travaux ont pour caractéristiques de mobiliser les cadres de la psychologie cognitive.

2.2.2.1. Capacités attentionnelles

Plusieurs études ont été publiées sur les jeux vidéo et le *Flow* (Beume, Danielsiek, Eichhorn, Naujoks, Preuss, Stiller, et Wessing, 2008 ; Cowley, Charles, Black et Hickey, 2008 ; Fastein, 2005 ; Malone et Lepper, 1987 ; Sweetser et Wyeth, 2005 ; Sherry, 2004). Le *Flow* est un concept psychologique proposé par Csikszentmihalyi (1990) qui caractérise l'équilibre entre l'enjeu suscité par une activité et les compétences du sujet pour y faire face. Ainsi, le *Flow* correspond à un certain type d'expérience caractérisée par un état psychologique et émotionnel dont l'intensité est variable. Pour le sujet engagé dans une activité, l'intensité de *Flow* est optimale lorsqu'il est totalement immergé dans l'activité et que plus rien d'autre autour de lui n'a d'importance, ce qui rend compte d'une focalisation attentionnelle maximale. Cette immersion se caractérise par une « perte » des repères temporels et environnementaux. Neuf caractéristiques de l'expérience optimale du *Flow* ont été identifiées par Csikszentmihalyi (2006) : équilibre entre défi et habileté, concentration sur la tâche, cible claire, rétroaction, *feedback* clair et précis, absence de distraction, contrôle de l'action, expérience autotélique et bien-être.

Sur la base de cette approche, beaucoup d'auteurs, travaillant sur les jeux vidéo, ont cherché à déterminer des modèles de compréhension et d'évaluation du *Flow*, (Beume et *al.*, 2008 ; Cowley et *al.*, 2008 ; Fastein, 2005 ; Fu, Su et Yu, 2009 ; Gunter, Kenny et Vick, 2008 ; Heutte et Fenouillet, 2010 ; Malone et Lepper, 1987 ; Sherry, 2004 ; Sweetser et Wyeth, 2005). Pour ces auteurs, les jeux vidéo relèvent d'activités de loisirs permettant de vivre typiquement l'expérience du *Flow*. En effet, leur objectif est de conduire le joueur à être complètement absorbé par le jeu et ses enjeux. Sweetser et Wyeth (2005) proposent un modèle *Ga-*

meFlow model destiné à mesurer le niveau de plaisir des joueurs. Ce modèle est utilisé par les constructeurs de jeux vidéo et de jeux sérieux pour s'assurer qu'ils suscitent des expériences optimales du *Flow*. Fu, Su et Yu (2009) ont associé à ce modèle une échelle de mesure (appelée *EgameFlow*) permettant de mesurer le degré de plaisir des joueurs. Cette échelle de mesure a aussi permis de montrer que le développement de compétences fait partie des expériences plaisantes du jeu, ce qui amène ces auteurs à considérer que le plaisir intense du joueur agirait comme un catalyseur d'apprentissage. Les différents travaux portant sur l'immersion ont montré en effet, qu'un joueur pleinement engagé dans un jeu, développe des capacités attentionnelles aiguës ainsi qu'un processus cognitif élaboré favorables à des apprentissages (Chanquoy, Tricot et Sweller, 2007 ; Cordova et Lepper, 1996 ; Fu et al., 2009 ; Gunter et al., 2008 ; Malone, 1981 ; Malone et Lepper, 1987 ; Sauvé et Kaufman, 2010 ; Schmoll et Schmoll, 2010 ; Sutter Widmer et Szilas, 2011 ; Sweetser et Wyeth, 2005).

Pour conclure, toutes ces recherches ont souligné, à partir de l'étude du *Flow*, les effets générés par les jeux vidéo sur le développement de capacités attentionnelles. Néanmoins, certains auteurs mettent en exergue les difficultés de prise en compte de toutes les dimensions du *Flow* et adoptent une vision multidimensionnelle de ce concept (Agarwal et Karahanna, 2000 ; Fenouillet, 2009a ; Fenouillet, 2009b ; Heutte, 2011 ; Heutte et Fenouillet, 2010 ; Novak et Hoffman, 1997 ; Novak, Hoffman et Yung, 2000 ; Siekpe, 2005). On retrouve notamment ici les préoccupations de Heutte (2011), à propos de l'usage des TICE, qui considère nécessaire de tester un modèle théorique d'identification du *Flow* pour assoir les résultats obtenus.

2.2.2.2. Habiletés perceptives et motrices

Les jeux vidéo sont souvent considérés comme des artefacts développant significativement les habiletés perceptives et motrices, ce qui aurait un impact plutôt positif sur les joueurs (Castel, Pratt et Drummond, 2005 ; Chanquoy et al., 2007 ; Crawford, 2003 ; Green et Bavelier, 2003 ; Green et Bavelier, 2006 ; Greenfield, Brannon et Lohr, 1994 ; Levrieux, 2011 ; Okagaki et French, 1994 ; Perriault, 1994 ; Subrahmanyam, Greenfield, Kraut et Gross, 2001). Perriault (1994) identifie trois types d'habiletés développées par le joueur : la perception spatiale (ou capacité d'inférer la situation d'un objet à partir de la sienne propre), la rotation mentale (ou capacité d'imaginer la rotation d'un stimulus visuel) et enfin, la visualisation spatiale comme

procédure complexe intégrant les deux précédentes et les organisant au moyen de diverses stratégies (p. 62). Pour de nombreux auteurs les jeux favorisent la faculté de visualisation dans l'espace grâce au passage de l'image plane à l'image en trois dimensions (Green et Bavelier, 2006 ; Greenfield et *al.*, 1994 ; Okagaki et French, 1994). Pour certains chercheurs, les jeux vidéo permettraient une amélioration de l'attention sélective ou dirigée et ont un effet bénéfique sur la rapidité visuo-motrice des tâches qui nécessitent une attention divisée (Castel et *al.*, 2005 ; Chanquoy et *al.*, 2007 ; Green et Bavelier, 2003 ; Green et Bavelier, 2006 ; Okagaki et French, 1994 ; Subrahmanyam et *al.*, 2001).

En ce qui concerne le développement de la motricité fine, il a été mis en évidence un lien entre les performances réalisées par le joueur dans les jeux vidéo et le développement d'une motricité de précision, une amélioration de la coordination œil-main, une augmentation de l'attention visuelle favorisant une certaine rapidité d'exécution (Chanquoy et *al.*, 2007 ; Lynch, Aughwane et Hammond, 2010 ; Rosser, Lynch, Cuddihy, Gentile, Klonsky et Merrell, 2007). Une amélioration du temps de réponses est également souvent soulignée dans la littérature (Rowe, Shores, Mott et Lester, 2010 ; Steinkuehler et Duncan, 2009). Citons notamment une recherche portant sur la formation de chirurgiens qui met en évidence que la pratique de jeux vidéo offre l'occasion d'affiner certains gestes et de faire preuve de dextérité par l'enchaînement rapide d'une série de mouvements améliorant ainsi les compétences laparoscopiques, endoscopiques et endovasculaires du praticien (Lynch et *al.*, 2010 ; Rosser et *al.*, 2007).

D'une manière générale, les travaux portant sur les jeux vidéo et les jeux sérieux valorisent les effets qu'ils peuvent avoir en terme de discrimination perceptivo motrice ou d'amélioration de la motricité fine. Dans une optique de conception des jeux (*game designer*), ces études contribuent, avec d'autres, à mieux définir quels sont les ressorts ludiques à exploiter, à proposer des éléments à intégrer dans les jeux, notamment en terme de progressivité des difficultés qu'elles soient logiques, sensorielles ou motrices (Levrieux, 2011).

2.2.2.3. Impacts en termes de socialisation

Les travaux relatifs aux impacts des jeux vidéo et des jeux sérieux sur la socialisation des joueurs avancent des arguments plus nuancés ou plus critiques quant à leur potentiel éducatif. De nombreuses recherches ont montré l'influence des jeux vidéo sur la socialisation (Berry, 2007 ; Greenfield, 1994 ; Lieberman, 2001 ; Mackinnon, Gallant et Herbert, 2000 ; Malone et Lepper, 1987 ; Mitchell et Savill-Smith, 2004 ; Sauvé, Renaud, Kaufman, Kaszap, IsaBelle, Gauvin, Simard, Marquis, Trépanier, 2005 ; Shaffer, 2006a). Avec l'évolution des technologies, cet impact suscité par les jeux vidéo est de plus en plus important comme le montre le rapport de recherche de Sauvé et *al.*, (2005). Les jeux vidéo sont considérés comme des instruments de socialisation cognitive, d'autant plus que certains d'entre eux créent un monde social et culturel permettant au joueur d'apprendre, d'échanger des savoirs au travers d'interactions sociales (Berry, 2007 ; Greenfield, 1994 ; Sauvé et Kaufman, 2010 ; Shaffer, 2006a). Selon Berry (2007) des apprentissages informels sont réalisés grâce au compagnonnage suscité par les jeux en ligne. Sauvé, Villardier et Probst (2010) font état de résultats de recherche concernant le développement de compétences de coopération, de collaboration, de communication et de travail en équipe. Ces auteurs constatent que presque tous les travaux soulignent que les jeux ont un effet positif sur l'apprentissage. Rappelons que ces habiletés de coopération, de communication voire de compétition sont à l'origine de la motivation comme évoquée précédemment (Malone et Lepper, 1987). Relevons encore que les chercheurs ont noté que la collaboration et l'aspect social du jeu favorisent l'apprentissage en équipe (Mitchell et Savill-Smith, 2004).

Nombreux sont les auteurs qui attribuent aux jeux vidéo et aux jeux sérieux des habiletés de coopération, de communication qui ont des effets positifs sur l'apprentissage (Berry, 2007 ; Greenfield, 1994 ; Lieberman, 2001 ; Mackinnon et *al.*, 2000 ; Malone et Lepper, 1987 ; Mitchell et Savill-Smith, 2004 ; Sauvé et *al.*, 2005 ; Sauvé et Kaufman, 2010 ; Shaffer, 2006a). Un certain nombre d'études aboutissent cependant à des conclusions négatives (Anderson, 2004 ; Anderson et Bushman, 2001 ; Bushman et Gibson, 2010 ; Haninger, Ryan et Thompson, 2004 ; Sherry, 2001). A titre d'illustration, mentionnons que l'utilisation de ces jeux, comme le suggère le conseil canadien sur l'apprentissage (2009), peut conduire à des effets plutôt négatifs comme la domination entre pairs, la promotion de l'individualisme, le repli sur soi ou l'isolement. L'exclusion, l'incapacité à maintenir des relations sociales ou la

marginalisation sociale du joueur apparaissent souvent comme des problèmes récurrents. Bushman et Gibson (2010) démontrent notamment que les joueurs s'isolent peu à peu avec une perte d'intérêt de la vie relationnelle et une prise de distance croissante vis-à-vis des normes et des conventions et que cela peut conduire à des comportements agressifs. Dans la littérature, il apparaît que les jeux vidéo violents peuvent augmenter le comportement agressif (Anderson, 2004 ; Anderson et Bushman, 2001 ; Bushman et Gibson, 2010 ; Haninger et *al.*, 2004 ; Sherry, 2001). Nous soulignons que ces études concernent l'utilisation de jeux vidéo violents. Mais, nous relevons que dans la littérature, nombreuses sont les études qui pointent l'absence de démonstrations probantes entre l'augmentation de la violence et l'exposition aux jeux vidéo, d'où la nécessité d'affiner les recherches à ce sujet (Bensley et Van Eeywyk, 2001 ; Freedman, 2001 ; Griffiths, 1999 ; Nachez et Schmoll, 2003 ; Tisseron, 2000 ; Trémel, 2001).

Au regard des études présentées ci-dessus, nous constatons que les jeux vidéo et les jeux sérieux ont un impact en terme de socialisation décrit contradictoirement selon les auteurs en terme positif ou négatif. Paradoxalement ils sont vus comme pouvant favoriser l'acquisition de compétences de communication, de coopération mais aussi conduire à l'exclusion, l'isolement voire l'agressivité. Il convient toutefois de nuancer certaines de ces critiques en rappelant qu'en leurs temps, la radio, la bande dessinée, la télévision, les nouveaux médias d'une façon générale ont été la cible de critiques aussi vives que celles qui touchent le jeu vidéo et le jeu sérieux aujourd'hui.

2.3. Jeux vidéo et jeux sérieux en milieu scolaire et universitaire

Dans le cadre notre recherche de thèse qui vise à décrire et comprendre les usages d'un *serious game* en milieu scolaire et universitaire, nous allons dans cette section nous intéresser aux travaux qui traitent de l'intérêt et des limites des jeu vidéo et des jeux sérieux dès lors qu'ils venaient prendre place dans une formation scolaire et universitaire. Nombreux sont les auteurs qui postulent une influence des jeux vidéo et des jeux sérieux sur les apprentissages visés par les institutions de formation (De Freitas et Maharg, 2010 ; Egenfeldt-Nielsen, 2005 ; Félicia, 2011 ; Frété, 2002 ; Gee, 2003 ; Greenfield, 1994 ; Gunter et *al.*, 2008 ; Habgood et Ainsworth, 2009 ; Hays, 2005 ; Kirriemuir et McFarlane, 2004 ; Loveless, 2002 ; (Malone,

1981 ; Malone et Lepper, 1987 ; Mitchell et Savill-Smith, 2004 ; Prensky, 2006 ; Sauvé et *al.*, 2005 ; Sauvé et Kaufman, 2010 ; Shaffer, 2006a ; Shaffer, 2006b ; Squire et Barab, 2004 ; Squire, Barnett, Grant et Higginbotham, 2004 ; Wainess, 2007 ; Wouters et *al.*, 2009). Cette importante littérature dont nous ne citons que les principaux auteurs, envisage les impacts des jeux selon différents registres. Pour notre part, nous retiendrons les résultats mettant en évidence quelles peuvent être les contributions des jeux vidéo et des jeux sérieux au regard de ces acquisitions en terme de développement de compétences transversales puis en terme de savoirs disciplinaires spécifiques et ce quels que soient les contextes de formation.

2.3.1. Jeux vidéo et jeux sérieux et développement de compétences transversales

Un certain nombre d'études porte sur le développement de compétences générales que rendrait possible l'utilisation des jeux vidéo et des jeux sérieux en milieu scolaire ou en formation (Gee, 2003 ; Greenfield, 1994 ; Loveless, 2002 ; Shaffer, 2006a ; Shaffer, 2006b ; Sauvé et Kaufman, 2010). Sauvé et *al.*, (2005), dans une revue systématique des recherches sur les impacts du jeu sur l'apprentissage, relèvent que les jeux vidéo permettent le développement de stratégies et de capacités transversales : analyser un problème, prendre des décisions et poser des hypothèses de solution. Pour Loveless (2002), les jeux vidéo favorisent le développement de la pensée logique, la créativité et plus largement la capacité à résoudre des problèmes. Selon Greenfield (1994) la pratique des jeux vidéo augmente la capacité d'induction et prépare les joueurs à une pensée scientifique et technique. Beaucoup de chercheurs rejoignent ce point de vue et soulignent que les jeux vidéo promeuvent un niveau élevé de raisonnement (Crawford, 2003 ; Levrieux, 2011 ; Salen et Zimmerman, 2003). La question de l'autonomie des élèves ou des étudiants confrontés à ces jeux apparaît centrale dans ces travaux. Ainsi, Sanchez montre, dans le cadre d'apprentissages scientifiques, que ces supports permettent de développer, outre les connaissances, des compétences liées aux procédures d'apprentissage. Pour certains auteurs, ces compétences relèvent du développement de l'esprit d'équipe, de l'acquisition d'une démarche de recherche active ou encore de capacités communicationnelles (Sanchez, 2011). Ainsi, dans le cadre d'une formation professionnelle, les élèves ont amélioré leurs performances dans la conduite d'un entretien de vente grâce aux dialogues circonstan-

ciés proposés dans un jeu vidéo (Amato, 2011). Sauvé et *al.*, (2010) soulignent combien la coopération dans les jeux et la simulation sont favorables au développement de compétences relationnelles (négocier, collaborer, partager des émotions et des idées). Pour Gee (2003), les jeux sur ordinateur seraient un bon support pour expérimenter, envisager différentes manières d'apprendre en plongeant les joueurs dans un contexte qui a du sens. Squire et Jean (2007) considèrent que l'utilisation d'un jeu d'apprentissage en sciences de l'environnement offre un potentiel permettant d'engager les élèves dans la maîtrise des techniques d'argumentation : grâce au jeu, les élèves élaborent des récits de phénomènes scientifiques, processus qui exige le contrôle des explications scientifiques. Selon certains auteurs, les jeux vidéo favorisent la compréhension, la gestion de systèmes dynamiques et complexes grâce à la manipulation d'un nombre important de paramètres, de variables et de processus inter-reliés. Frété (2002) cite notamment la capacité à utiliser efficacement l'information dans le contexte d'un problème à résoudre, d'une action à accomplir ou d'un projet à réaliser. La prise de décisions qui en découle permet de développer des compétences emboîtées utiles dans beaucoup de situations : analyser un contexte, anticiper les résultats, définir des stratégies de réalisation et gérer le déroulement d'un projet. Selon les résultats du rapport de synthèse de Wastiau, Kearney et Van den Berghe (2009), les jeux vidéo ont un impact positif sur un large ensemble de compétences personnelles, intellectuelles, technologiques, sociales et de compréhension. Ainsi, tous ces travaux mettent en valeur que les environnements des jeux vidéo et des jeux sérieux participent au développement des compétences transversales inhérentes aux apprentissages. L'étude menée par Van Eck (2010) démontre que l'apprentissage se fait à travers plusieurs niveaux : la maîtrise de l'interface de l'ordinateur, la réalisation de stratégies visant à l'atteinte des objectifs et la collaboration entre pairs. Beaucoup de revues de littérature vont dans ce sens (Gee, 2003 ; Félicia, 2011 ; Kirriemuir et McFarlane, 2004 ; Prensky, 2001 ; Sauvé et *al.*, 2007). Ces assertions sur l'efficacité des jeux au regard du développement des compétences transversales semblent faire consensus bien que rarement réinterrogées.

2.3.2. Jeux vidéo et jeux sérieux et acquisitions de savoirs disciplinaires

Des études ont été menées dans différentes disciplines (Félicia, 2011 ; Michael et Chen, 2005 ; Sauvé et *al.*, 2007). Dans cette section nous envisageons les impacts éducatifs des jeux sérieux et des jeux vidéo. Ont été examinées les publications portant sur l'utilisation de ces jeux en classe ou dans des dispositifs universitaires. Deux grands domaines sont explorés ici : l'enseignement scientifique et technique et l'enseignement des disciplines littéraires.

2.3.2.1. L'enseignement des sciences et des techniques

De nombreuses études portent sur la relation entre les jeux et les mathématiques. Il ressort de ces travaux que les jeux sont des outils d'enseignement apprentissage efficaces pour améliorer les performances en mathématiques des élèves (Kebritchi, Hirumi et Bai, 2010 ; Lee, Luchini, Michael, Norris et Soloway, 2004). Sur une base plus critique, Husain (2011) s'interroge sur les conditions à réunir pour que les enseignants de mathématiques puissent faire utiliser des jeux sérieux comme ressources didactiques dans leurs classes. Elles montrent notamment qu'ils doivent être conçus pour favoriser un apprentissage collaboratif par l'action et non se résumer à des séries d'exercices répétitifs. Les études menées en sciences physiques par Squire et *al.*, (2004) ont établi que les étudiants dans un groupe expérimental qui ont utilisé un jeu vidéo sur l'électromagnétisme ont mieux maîtrisé les connaissances abstraites et conceptuelles liées à cette discipline que ceux du groupe témoin qui a travaillé selon une démarche d'investigation. Leur conclusion suggère que ces jeux vidéo peuvent être des outils efficaces pour aider les élèves à comprendre les phénomènes physiques complexes. Selon un plan expérimental semblable, Barab, Warren et Ingram-Goble (2008) montrent, dans une étude relative à l'éducation à l'environnement, qu'un jeu vidéo immergeant les élèves dans un monde virtuel dédié aux problèmes liés à la qualité de l'eau, permet des apprentissages significatifs au fil du temps. Il est ainsi possible, selon ces auteurs, de développer des artefacts qui sont à la fois divertissants et éducatifs. Sanchez et Prieur et Sanchez ont étudié l'utilisation de différents jeux sérieux en classe dans l'enseignement secondaire des sciences de la vie et de la terre (Sanchez et Prieur, 2009 ; Sanchez, 2009). S'appuyant sur une démarche d'ingénierie didactique visant à dévoluer aux élèves par le biais du jeu sérieux certains concepts scientifi-

ques (*le concept de coupe géologique*, 2009 ; *les concepts liés à la théorie de l'évolution des espèces de Darwin*, 2009), l'auteur met en évidence la nécessité de construire un milieu didactique provoquant, du fait de ses rétroactions, les adaptations conceptuelles visées.

En ce qui concerne l'informatique, Navarro et Hoek (2007) ont mis en évidence les effets d'un jeu de simulation portant sur l'enseignement de différentes méthodes de génie logiciel. Ils pointent comment l'utilisation du jeu permet aux étudiants d'expérimenter de façon plaisante, les concepts théoriques du domaine et d'en évaluer la maîtrise, dans la mesure où l'usage du jeu est suffisamment guidé et qu'il intervient en complément d'un cours traditionnel. Papastergiou (2009) souligne également l'efficacité de l'aspect ludique du jeu vidéo dans l'apprentissage du concept de « mémoire de l'ordinateur ». Muratet, Delozanne, Torguet, Viallet (2012) montrent, au travers l'expérimentation d'un jeu sérieux destiné à l'enseignement apprentissage de la programmation pour les novices que tous les modes d'enseignement ne sont pas adaptés aux jeux sérieux. Si en mode soutien, le jeu s'avère être apprécié des étudiants et des enseignants, en mode travaux pratiques, il s'avère augmenter la charge cognitive des étudiants et ne présente pas de réel intérêt.

Dans le domaine du génie mécanique, une étude concernant les étudiants de premier cycle suivant un cours avec un jeu vidéo, démontre un apprentissage plus approfondi par rapport à leurs homologues prenant un cours magistral traditionnel (Coller et Scott, 2009). Dans une autre perspective, les dynamiques d'apprentissage des savoirs du génie mécanique ont pu être caractérisées dans le cadre de notre étude portant sur l'utilisation d'un jeu sérieux en formation universitaire (Galaup et Lelardeux, 2012). Enfin, les recherches relatives au domaine de la santé soulignent des différences significatives dues à l'utilisation des jeux. Roubidoux, Chapman et Piontek (2002) évaluent un jeu relatif à l'imagerie du sein et soulignent son efficacité et son utilité éducative pour les étudiants en quatrième année de médecine. Il ressort de ces études, le plus souvent basées sur des plans expérimentaux comparant les apprentissages réalisés à l'aide d'un jeu par rapport à ceux obtenus dans des dispositifs plus classiquement scolaires ou universitaires, que les jeux vidéo ou les jeux sérieux pourraient avoir un impact positif sur la maîtrise des savoirs scientifiques ou techniques visés.

2.3.2.2. L'enseignement des disciplines littéraires

Historiquement, c'est dans le cadre de l'enseignement de la langue (maternelle ou seconde) que les premières recherches ont été développées. Selon Owston, Wideman, Ronda, et Brown (2009), l'utilisation du jeu sérieux offre des possibilités d'amélioration des compétences langagières tant au niveau de l'alphabétisation que de la construction de la phrase. Pour ces auteurs, les jeux ont un potentiel important en terme de littératie. D'autres auteurs font aussi valoir que les jeux sérieux et les jeux vidéo peuvent améliorer l'apprentissage de l'alphabétisation traditionnelle et la compréhension (Gee, 2003, 2004). Dans le domaine des langues secondes, Rankin et Shute (2010) ont montré les impacts d'un jeu sérieux sur l'acquisition du vocabulaire et la compréhension en lecture d'un texte en anglais. Ces acquisitions seraient significativement plus importantes que celles obtenues dans un enseignement traditionnel ou avec des anglophones (Rankin et Shute, 2010). Selon Sorensen et Meyer (2007), les jeux sérieux aident les élèves à apprendre et à retenir les mots nouveaux d'une langue étrangère. Ils facilitent la prononciation, l'écriture et l'écoute, le tout de manière ludique. Nous relevons aussi l'étude de Squire et Barab (2004) dans l'enseignement de l'histoire en milieu difficile à l'école primaire : l'observation des pratiques collaboratives et des interactions sociales entre élèves jouant en classe met en lumière comment les jeux vidéo peuvent être de puissants outils pour favoriser l'engagement des élèves dans le processus d'apprentissage. Tüzün, Yılmaz-Soylu, Karakuş, İnal et Kızılkaya (2009) soulignent également l'efficacité et d'importants gains d'apprentissage sur les élèves à propos de l'enseignement de la géographie. Cette étude a montré aussi que l'exploration, l'interaction, la collaboration et l'immersion peuvent offrir des possibilités riches pour apprendre la géographie.

De façon plus générale, les objets d'études explorés concernent l'apprentissage de savoirs implémentés dans les jeux selon des méthodologies de recherche le plus souvent expérimentales comme par exemple la comparaison de deux groupes utilisant un jeu sérieux et un groupe de contrôle. Les résultats indiquent que ces jeux, par rapport aux méthodes traditionnelles d'enseignement mais aussi par rapport à des dispositifs innovants, permettraient de renforcer les connaissances, les compétences et les attitudes des élèves envers la discipline enseignée. Beaucoup de ces recherches mentionnent également qu'une approche d'enseignement basée sur l'utilisation des jeux en classe est plus motivante, ce qui rejoint les conclusions de la section relative à la motivation. Du point de vue des savoirs enseignés, les travaux se réfèrent le

plus souvent à des contenus d'enseignement clairement établis en référence à des programmes institutionnels. Rares sont cependant les études visant, dans une perspective d'ingénierie didactique contrôlée, à discuter le processus transpositif implanté dans le jeu. A notre connaissance, seuls les travaux de Sanchez (2009 ; 2011) et Muratet, Torguet, Viallet et Jessel (2011) ainsi que, dans une moindre mesure, ceux de Squire et *al.*, (2004), s'intéressent aussi, au-delà des acquisitions des élèves, à la structure épistémologique du savoir implémenté dans le jeu (Sanchez et *al.*, 2012). Enfin, d'une manière générale, peu de recherches sur les jeux prennent pour objet d'étude les usages que font les enseignants de ces artefacts, comme si l'utilisation des jeux en classe déchargeait le professeur de son activité didactique. Seuls quelques travaux identifient le fait que les enseignants utilisant les jeux vidéo et les jeux sérieux en classe sont généralement porteurs d'une culture militante relative à ces artefacts éducatifs (Brougère, 2008). Du point de vue du sous-système enseignant, la question des usages didactiques possibles de ces jeux dans un enseignement ordinaire, n'est posée que dans très peu d'études (Husain, 2011 ; Muratet et *al.*, 2011 ; Muratet et *al.*, 2012). Ainsi la recherche sur les jeux sérieux gagnerait à s'intéresser aussi au fonctionnement du système didactique à partir d'une analyse de l'activité enseignante.

2.4. Pour conclure de l'intérêt des jeux vidéo et des jeux sérieux dans l'enseignement et la formation

Des différents travaux que nous avons recensés se dégage l'idée centrale que les jeux vidéo et les jeux sérieux motivent les élèves, participent à l'acquisition de connaissances disciplinaires, permettent de développer des compétences variées à la fois méthodologiques, stratégiques et sociales. Plus nuancés, d'autres chercheurs tirent des conclusions davantage mesurées (Egenfeldt-Nielsen, 2005 ; Hays, 2005 ; Wainess, 2007 ; Wouters et *al.*, 2009 ; Young, Slota, Cutter, Jalette, Mullin et *al.*, 2012). Ces derniers auteurs mettent au jour des différences à propos des jeux et de la réussite scolaire. Selon ces auteurs, si les effets des jeux vidéo en langues, histoire et éducation physique favorisent la réussite scolaire, ils restent plus sceptiques sur leurs impacts dans les disciplines scientifiques. Quant à Wouters et *al.*, (2009), ils considèrent qu'aucune de ces études ne démontre réellement que les jeux sont une panacée pédagogique, pertinente dans toutes les situations, ni qu'ils conduisent à une amélioration représentant véritablement une plus-value du point de vue des enjeux scolaires, de la motivation, de l'apprentissage cognitif. Ils s'interrogent également sur les impacts supposés en termes de changements d'attitude à l'égard de l'apprentissage ou vis-à-vis de la matière enseignée. Selon Wainess (2007) ce n'est pas parce que les jeux sont motivants qu'ils sont nécessairement pertinents pour l'apprentissage. Egenfeldt-Nielsen (2005) déclare même qu'il est *a priori* paradoxal, voire irréalisable d'associer divertissement et motivation tout en faisant apprendre. Dans une revue quasi exhaustive de la littérature sur l'efficacité des jeux, Hays (2005) poursuit dans cette veine en soulignant les faiblesses méthodologiques empêchant toute généralisation des résultats. Pour cet auteur, les jeux devraient être utilisés comme compléments combinés avec des pédagogies pertinentes et non pas comme des applications autonomes alternatives à l'enseignement.

2.5. Que retenons nous de cet état de l'art ?

Au terme de ce panorama certes un peu large il ressort que les jeux vidéo et les jeux sérieux semblent combiner plusieurs facteurs pouvant s'avérer être des éléments plutôt positifs pour l'apprentissage. Dans la littérature, cette assertion est de plus en plus assumée et aujourd'hui un large consensus semble se dessiner. Il convient d'ajouter que les nombreuses manifestations scientifiques (au sein des communautés : GBL, EIAH, etc.) ont, dans la période récente, permis un balisage de la terminologie associée aux jeux sérieux afin de dissiper la confusion qui y régnait. L'examen des recherches que nous avons conduit identifie des points communs et des convergences entre les auteurs impliqués dans les développements les plus actuels. Emergent toutefois, des analyses nuanciant ce qui peut parfois apparaître comme du prosélytisme pédagogique.

Au-delà des controverses, les principaux résultats peuvent être récapitulés comme suit. Les jeux vidéo et les jeux sérieux offrent un environnement motivant et immersif, même si des divergences existent quant aux facteurs qui le produisent. Beaucoup de recherches se sont intéressées à la motivation en tant que dimension intrinsèque aux jeux. Une majorité d'auteurs présume que le facteur motivationnel attribué aux jeux vidéo et aux jeux sérieux est l'origine de leur potentiel éducatif. Ceci dit, les effets des jeux sur les apprentissages ne sont pas encore clairement établis comme l'ont montré les recensions citées dans cette revue. A travers un examen des recherches portant sur le développement des joueurs, nous avons repris les trois thématiques récurrentes abordées par la littérature : les capacités attentionnelles, les habiletés perceptivo-motrices, ainsi que la socialisation des sujets. L'ensemble des différents travaux, notamment ceux concernant le concept psychologique du *Flow* souligne que la mobilisation de capacités attentionnelles aiguës chez le joueur est la dimension sur laquelle les concepteurs doivent s'appuyer pour rendre un jeu potentiellement éducatif. Certains auteurs concluent même que ce processus cognitif élaboré aurait des effets tangibles sur les apprentissages. Les jeux vidéo et les jeux sérieux utilisent des signaux multi-sensoriels qui produisent des effets en termes de discrimination perceptivo-motrice ou d'amélioration de la motricité fine. Globalement la littérature pointe leurs apports spécifiques sur le développement des joueurs. C'est en ce qui concerne les impacts en terme de socialisation que certaines controverses apparaissent. Nombreux sont les auteurs qui attribuent aux jeux vidéo et aux jeux sé-

rieux des effets positifs en termes d'habiletés de coopération, de communication et d'échanges. L'examen des recherches portant sur cet impact met en avant des effets positifs. Une de leurs caractéristiques qui les rendrait particulièrement efficace est la capacité des jeux à immerger leurs utilisateurs, à améliorer leur concentration et à promouvoir la collaboration. Cependant, des voix s'élèvent en soulignant les impacts délétères du risque d'une trop grande immersion des joueurs, notamment des enfants et des adolescents, en ce qu'ils pourraient être coupés d'autres formes de socialisation au sein de groupes de pairs.

Un deuxième temps de cette revue de la littérature a consisté à examiner quel est le potentiel des jeux vidéo et des jeux sérieux dès lors qu'ils sont introduits dans les milieux de l'enseignement et ou de la formation. Face à un ensemble assez disparate de champs disciplinaires, et de travaux qui y sont associés, il ressort que les jeux vidéo et des jeux sérieux, parce qu'ils combinent plusieurs facteurs, peuvent s'avérer être des artefacts pertinents pour les apprentissages. En effet les résultats de recherche ont mis en évidence les effets positifs de l'utilisation des jeux vidéo et des jeux sérieux par rapport à ceux obtenus dans des dispositifs plus classiquement scolaires ou universitaires. Ces travaux ont principalement mis en avant l'idée que les jeux vidéo et les jeux sérieux développeraient des compétences transversales mobilisables quels que soient les apprentissages. Des études plus récentes, le plus souvent menées selon une approche comparatiste, ont également souligné leur impact au regard de la maîtrise de différents savoirs disciplinaires. Les effets observés sur les acquisitions scolaires sont expliqués à partir d'arguments montrant que les jeux créent un environnement d'apprentissage davantage motivant, qu'ils permettent aux élèves d'apprendre par l'action. Se réclamant de théories constructivistes, les auteurs expliquent le potentiel des jeux dans le cadre scolaire, en mettant en avant le type d'activités cognitives sollicitées par ces artefacts en lien avec les dimensions motivationnelles et affectives rendant possible un engagement important des élèves. Les preuves recueillies suggèrent que les environnements incluant des approches d'apprentissage ludiques peuvent être considérés comme une alternative aux méthodes d'enseignement traditionnelles que ce soit en termes de compétences transversales ou disciplinaires. Certains auteurs réinterrogent cependant les conclusions établies au regard de limites méthodologiques bien identifiées. Selon eux, l'idée que les jeux sérieux pourraient résoudre tous les problèmes d'apprentissage et de motivation quelles que soient les situations pourrait bien être une illusion. Les praticiens doivent donc être conscients de leurs avantages et leurs limites, des conditions de leur utilisation en classe et des dimensions épistémologiques qui président à leur

conception, notamment lorsque ces jeux sérieux se présentent comme des moyens de développer des savoirs scolaires.

Cette revue de question, élaborée à partir d'articles originaux et de plusieurs recensions, permet de mieux positionner l'enjeu de notre thèse. En effet nous retenons tout d'abord que peu de travaux ont traité des usages didactiques des jeux sérieux en situation de classe ordinaire. Par ailleurs il est apparu, au-delà des discours apologétiques que les apports des *serious games* aux situations d'enseignement-apprentissage sous la conduite d'un professeur pouvaient être plus limitées que ce qu'en disent les promoteurs. Il nous semble donc pertinent dans le cadre du projet pluridisciplinaire Mecagenius de nous intéresser aux effets et aux modalités d'utilisation de ce *serious game* en classe par les professeurs, mais aussi par les élèves à différents niveaux du cursus de formation de génie mécanique (lycée, IUT, université). C'est dans ce cadre problématique large que nous aborderons la question de la conception et de l'utilisation de Mecagenius d'un point de vue didactique, point de vue qui marque l'inscription théorique de notre recherche.

Chapitre 2 : Une inscription théorique de la recherche en didactique

1. Economie générale de la thèse

Comme nous l'évoquions en introduction, cette recherche de thèse participe d'un projet plus large dans le cadre d'un appel d'offre du Ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi¹⁶ via le plan de relance numérique pour la réalisation d'outils logiciels pour les entreprises recourant à des techniques issues du jeu vidéo. Dans ce contexte l'activité du chercheur associé à ce projet relève de postures différentes, celle d'un ingénieur de conception et celle d'un chercheur visant à décrire et comprendre les usages d'un *serious game* en classe ordinaire. Notre revue de littérature a mis en lumière l'absence d'un savoir unifié ainsi qu'une pluralité de discours. A propos des jeux vidéo et des jeux sérieux, nous avons retrouvé également de multiples définitions et une absence de consensus. Concernant ces dimensions, la rhétorique contemporaine suggère que ces environnements peuvent être considérés comme une alternative aux méthodes d'enseignement traditionnelles que ce soit en termes de compétences transversales ou disciplinaires. Ce point-là n'est pas indifférent à l'appel d'offre du Ministère de l'Industrie qui vise à développer des outils professionnels s'appuyant sur des techniques issues du jeu vidéo. Pour notre part, notre travail s'inscrit théoriquement dans une perspective didactique. En effet, ce travail de thèse nous amène à nous interroger sur le fonctionnement des systèmes didactiques confrontés à l'utilisation d'un *serious game* (pensé pour la formation des élèves en génie mécanique) dans les classes. Notre recherche se situe dans le cadre du laboratoire "Education - Formation - Travail - Savoir"¹⁷. Elle a été menée dans le cadre de l'entrée 1 « Phénomènes didactiques » de l'unité de recherche.

Pour pouvoir rendre compte du travail effectué, nous devons aussi le positionner par rapport à l'ensemble du projet Mecagenius car cette recherche est une contribution à ce projet. Ainsi, dans le travail qui suit, nous différencions ce qui relève de la posture d'ingénieur-concepteur au sein de l'équipe pluridisciplinaire et ce qui relève de l'activité de recherche en sciences de l'éducation au service d'une part de la conception et d'autre part de l'évaluation des usages de Mecagenius en classe. Pour ce faire, nous faisons le point dans la section suivante sur les différentes démarches d'essai-évaluation en didactique. Nous rappelons ensuite quelle est l'orientation prise dans cette thèse ainsi que l'inscription théorique qui est la nôtre. Nous

¹⁶ Mecagenius a été retenu parmi les projets présentant un fort potentiel d'innovation technique et d'usages suite à l'appel à projet *Serious Gaming* lancé par Nathalie Kosciusko-Morizet en mai 2009.

¹⁷ UMR EFTS, MA 122

présentons enfin les trois programmes interdépendants (épistémologique, didactique et cognitif) qui organisent la partie empirique de ce travail. Tout au long de cette thèse nous aurons le souci de montrer quelle a été notre contribution originale au projet collectif. Nous pointerons à ce sujet quel a été notre apport à la phase collaborative de conception et nous préciserons ensuite quelles études empiriques en classe ont été effectuées sous notre propre responsabilité. Ces éléments permettront de situer notre travail de thèse au sein du projet de recherche-développement Mecagenius.

2. Situer notre recherche parmi les démarches d'essais et évaluations de prototypes didactiques

Globalement, notre travail de recherche relève d'une stratégie d'essai-évaluation puisqu'il s'agit de décrire les manières selon lesquelles les enseignants et les élèves utilisent Mecagenius. Dans le champ des recherches en didactique ou des recherches sur l'enseignement des disciplines un ensemble de travaux se sont affrontés à la question des démarches d'essai-évaluation. Nous retrouvons le *Design Experiment*, les ingénieries didactiques, les ingénieries coopératives et les démarches d'essai-évaluation. Dans le cadre de notre projet de recherche-développement nous nous sommes questionné sur ces démarches. Pour s'efforcer de répondre à des questions de méthodologie et pour clarifier notre posture, nous en rendons compte chronologiquement en quatre sections. La première traite de la démarche d'ingénierie didactique, nous poursuivons avec le *Design Experiment*, nous examinons ensuite la démarche d'essai-évaluation, enfin, nous terminons par des éléments concernant l'ingénierie didactique coopérative comme démarche de recherche récente. Ce panorama nous permettra de clarifier notre posture et nous situer par rapport à ces quatre démarches de recherche en didactique ce qui sera l'objet du dernier volet de cette discussion.

2.1. Le *Design Experiment*

Le *Design Experiment* est une forme d'ingénierie particulière dont l'objectif est de rendre explicites les principes utilisés dans la conception didactique d'expériences d'apprentissage (Cobb, 2003). Cet auteur utilise une approche plus pragmatique pour ses recherches en mettant l'accent sur l'amélioration de l'enseignement par itération. L'idée est de concevoir des expériences qui perturbent les contextes existants avec un objectif plus large d'en tirer de nouvelles théories. L'objectif est d'établir des théories permettant une meilleure compréhension de « l'écologie de l'apprentissage » pour aborder la complexité des milieux éducatifs. Une des caractéristiques forte est le côté pragmatique de cette ingénierie, mais aussi son appui sur les théories de l'apprentissage en contexte d'enseignement. Selon Cobb (2003), il existe cinq caractéristiques transversales de la « conception d'expériences d'apprentissage ». La première caractéristique est de développer une classe de théories à la fois sur le processus d'apprentissage et les moyens qui sont destinés à le soutenir. La seconde caractéristique est d'essayer d'apporter des formes nouvelles d'apprentissage pour améliorer l'éducation (innovations). La troisième caractéristique transversale est bâtie sur les deux premières : tester la « conception d'expériences » pour développer les théories et la réflexion sur des voies nouvelles possibles de l'apprentissage. La quatrième, est relative à la perspective itérative qui est le fruit d'une démarche par essais et par erreurs visant une amélioration de la « conception d'expériences » et par là-même des apprentissages réalisés par les élèves. Enfin, la cinquième et dernière caractéristique transversale est pragmatique, elle rend compte au travers des activités des éléments de la conception et mesure « l'impact de la théorie choisie ». L'approche méthodologique de Cobb est donc centrée sur les questions d'apprentissage et est destinée à la validation d'une théorie sur l'apprentissage scolaire (*learning science*) avec une visée praxéologique de son amélioration grâce aux évaluations produites.

2.2. L'ingénierie didactique

Pour Artigue (1990) l'ingénierie didactique peut se définir comme « un schéma expérimental basé sur des réalisations didactiques en classe, c'est-à-dire sur la conception, la réalisation et

l'analyse de séquences d'enseignement » (p 285). Cette ingénierie est basée sur la recherche de l'efficacité de dispositifs reproductibles dont la finalité est de produire des résultats théoriques en lien avec les situations. Nous retrouvons dans un texte Brousseau (2008) repris par Chevallard (2009) la définition suivante : « L'ingénierie didactique consiste à déterminer des dispositifs d'enseignement communicables et reproductibles. Elle évoque l'existence d'une description, d'une étude et de justifications aussi précises et consistantes que possibles des conditions d'utilisation de ce dispositif. Il existe une ingénierie didactique très active, qui est le fruit d'une expertise respectable, mais elle s'abstient le plus souvent de fournir des analyses précises et les justifications qui pourraient éclairer les utilisateurs. » (p. 2). Ces deux définitions illustrent d'une part la conception et réalisation des dispositifs et d'autre part le caractère expérimental de ces dispositifs qui vise à produire des connaissances sur le fonctionnement des systèmes didactiques. Ainsi l'ingénierie didactique à une visée phénoménoteknik, c'est-à-dire qu'elle a pour objet de construire des techniques qui produisent des phénomènes à étudier pour les rendre intelligibles. Comme le souligne Brousseau (2008) : « L'ingénierie didactique proprement dite accompagne les dispositifs produits d'un ensemble d'études et d'analyses qui donnent les caractéristiques du produit en référence avec les connaissances scientifiques théoriques et expérimentales du moment. Ces études peuvent ne pas être communiquées aux enseignants, mais elles sont indispensables pour l'analyse des observations des activités d'enseignement effectivement réalisées. » (p. 2-3).

2.3. L'ingénierie didactique coopérative

Nous abordons pour finir, la présentation de l'ingénierie didactique coopérative. Selon Sensevy (2011), cette ingénierie repose organiquement sur la coopération entre chercheur-didacticien et enseignant. Pour cet auteur, « Le mot "coopération", ici, se réfère à la volonté de travail commun dans chacune des phases du dispositif, et de responsabilité partagée dans chacune de ces phases » (p. 509). La collaboration chercheur-enseignant s'actualise au fur et à mesure des différentes périodes de la recherche dans le but d'une responsabilité partagée.

Ce type de travail collaboratif, qui a été discuté en didactique de l'EPS par Amade-Escot et Marsenach (1995), redonne toute la dimension d'expertise aux enseignants dans la conduite

de leurs activités en classe. L'ingénierie didactique coopérative est basée sur de réciproques apports du chercheur et des professeurs comme par exemple la répartition des tâches, les modalités de mise en œuvre et de préparation, le nombre de séances envisagées et leur périodicité, les types de productions individuelles ou collectives souhaitées, les ancrages de la recherche, etc. Cette collaboration entre le chercheur et le professeur permet selon Go (2009) « présenter un contenu de savoir qui soit ni trop éloigné du savoir savant de référence, ni trop distant du savoir sociofamilial des élèves » (p. 35). Enfin, l'ingénierie didactique coopérative offre l'occasion de retirer des bénéfices mutuels pour les acteurs qui y participent. Du côté du professeur elle peut avoir une valeur de formation, d'expérience, et d'amélioration de sa pratique. Du côté du chercheur cette ingénierie permet la construction du jeu et l'aménagement d'un « milieu » fécond pour l'étude des systèmes didactiques.

2.4. L'essai-évaluation

La démarche d'essai-évaluation telle qu'élaborée en France. Pour Martinand (1987) la « fonction première de la conception et de l'évaluation est d'ouvrir des possibles » (p. 9). Pour cet auteur, la didactique a une fonction d'aide à la décision pour mieux enseigner, il souligne que beaucoup de recherches menées en didactique réalisent des documents pour la classe mais n'ont jamais réellement mené des évaluations. Selon cet auteur les essais-évaluations vont de la conception d'un prototype didactique, d'un curriculum ou d'éléments de curriculum jusqu'à leur évaluation. Martinand (1987) distingue les essais qui ont une fonction ingénierie de l'évaluation et qui occupe une place centrale dans les recherches en didactique « ces travaux peuvent être considérés comme de la recherche que s'il y a réellement évaluation » (p. 5).

A la suite de Amade-Escot (2002) nous pensons que « les ingénieries didactiques et les essais-évaluations menés à partir de tentatives réalisées dans les classes sont l'occasion d'introduire un déséquilibre - une perturbation contrôlée par le chercheur - susceptible de "faire parler" les systèmes étudiés » (p. 8). On retrouve dans cette dernière perspective la dimension phénoménotechnique déjà évoquée précédemment.

2.5. Caractériser notre recherche

Ce panorama nous permet de situer notre recherche par rapport à ces démarches. Au regard des différents travaux que nous avons recensés se dégage l'idée centrale que la méthodologie d'ingénierie didactique participe à la conception et réalisation des dispositifs. Mais cette affirmation appelle aussi à une finalité de cette méthodologie qui cherche à fonder rationnellement les pratiques qu'elle entend développer. Dans le cadre de notre recherche nous nous sommes référé en partie à la méthodologie d'ingénierie didactique dans une visée de production d'outils pour construire un *serious game*. Nous sommes intervenu avec la posture d'un « ingénieur didactique » comme le suggère Artigue (1990) « Il s'agissait d'étiqueter par ce terme une forme du travail didactique : celle comparable au travail de l'ingénieur qui, pour réaliser un projet précis, s'appuie sur les connaissances scientifiques de son domaine, accepte de se soumettre à un contrôle de type scientifique mais, dans le même temps, se trouve obligé de travailler sur des objets beaucoup plus complexes que les objets épurés de la science et donc de s'attaquer pratiquement, avec tous les moyens dont il dispose, à des problèmes que la science ne veut ou ne peut encore prendre en charge. » (p. 283). Nous rejoignons donc l'idée centrale de « participation et réalisation de dispositifs » mais notre finalité est de permettre l'étude empirique de phénomènes didactiques. Ainsi, dans la phase de mise à l'épreuve du *serious game*, nous utilisons ce dernier dans une visée phénoménoteknique en vue de produire des connaissances sur les usages qu'en font professeurs, élèves ou étudiants. Rendre compte de la dynamique dans laquelle l'élève et le professeur agissent et réagissent aux situations proposées par Mecagenius au regard des savoirs cristallisés dans ce jeu sérieux, suppose des méthodes d'observations particulières que nous décrirons dans le chapitre 4 « méthodologie » de notre première partie. Mais le fait que nous ayons participé à sa conception facilite et prépare le travail d'évaluation notamment en implémentant dans certains dispositifs du *serious game*, les moyens de recueillir des données singulières (Cf. Méthodologie de la troisième étude, programme cognitif).

Pour résumer la démarche mise en œuvre, nous utilisons le dispositif (*serious game* Mecagenius) produit dans l'ingénierie de formation (phase de conception collaborative en équipe pluridisciplinaire) pour regarder les usages et non pas pour améliorer l'enseignement comme dans l'approche méthodologique de Cobb (2003) à propos du *Design Experiment*.

Nous n'avons cependant pas partagé la responsabilité de cette recherche sous la forme d'une ingénierie coopérative avec les professeurs, ni participé à la construction des modalités de mise en œuvre et de préparation des séances observées. Notre recherche s'inscrit, à partir de la production d'outils (construction du *serious game* Mecagenius) dans une visée descriptive et compréhensive aux fins de repérer les usages dans des pratiques ordinaires (Bru, 2004 ; Marcel et *al.*, 2002). Nous nous rapprochons ainsi de la position de Martinand (1987) à propos des essais-évaluations car nous allons de la conception d'un prototype didactique jusqu'à son évaluation. Mais, nous nous en différencions en partie car notre recherche a pour finalité une production de connaissances sur les usages. Nous nous inscrivons en filiation avec les travaux de Baron (2011) sur la question des technologies de l'information et de la communication pour apprendre. Nous rejoignons également Bru (2002) à propos de la visée des recherches sur les pratiques d'enseignement-apprentissage qui est : « de rassembler et de confronter des éléments de description, de compréhension et d'explications relatives aux pratiques » (p. 69). Il s'agit pour nous avant tout de construire une connaissance scientifique des pratiques telles qu'elles existent dans leur diversité. Enfin, avec Amade-Escot (2002) nous considérons que les visées d'aide à la décision et les visées d'avancement des connaissances ne sont pas antinomiques. Pour refermer ce paragraphe nous faisons nôtre la réflexion de Chevallard (2009) qui revisitant la notion d'ingénierie didactique dresse plusieurs constats à propos de ce concept et souligne certaines divergences, notamment la « tension bipolaire » existant entre « l'ingénierie didactique qui est au service de la recherche en didactique, dont les besoins en impulsent le développement ; dans l'autre, la recherche en didactique qui se met au service de l'ingénierie didactique, elle-même au service d'une volonté diversifiée de développement institutionnel » (p. 10).

3. Une recherche en didactique

Le travail de recherche poursuivi dans cette thèse consiste à s'intéresser aux phénomènes de transposition didactique liés à la conception, puis à l'usage d'un *serious game* dans les classes. En nous appuyant sur les éléments développés par Schubauer-Leoni et Leutenegger (2005) à propos des problématiques transpositives nous retenons l'idée de trois programmes interdépendants de toute recherche didactique, notamment lorsque celle-ci cherche à rendre compte du travail d'étude dans les classes ordinaires :

- Le programme épistémologique
- Le programme didactique
- Le programme cognitif

Avant de présenter pour chacun de ces programmes les cadres conceptuels que nous mobiliserons au fil du travail empirique, nous souhaitons dans un premier temps positionner notre recherche de thèse au regard des problématiques théoriques relatives à la transposition didactique. Ceci nous amènera à discuter des notions de savoir, compétence et de contenu d'enseignement.

3.1. La transposition didactique

3.1.1. Les théories de la transposition didactique

La transposition didactique est un des concepts centraux des travaux en didactique. Ce concept créé par le sociologue Verret (1975) a été utilisé afin de caractériser le décalage entre le fonctionnement savant du savoir et son fonctionnement dans l'enseignement. Pour cet auteur un travail de transposition didactique caractérisé par cinq conditions¹⁸ doit être effectué pour que le savoir produit au sein des communautés savantes puisse être enseigné. Reprenant le travail initié par Verret sur les savoirs scolaires, Chevallard (1985) propose de traiter la ques-

¹⁸ La désyncrétisation : division du savoir en parties de savoir permettant des apprentissages spécifiques ; la dépersonnalisation : séparation du savoir de la personne ; la programmabilité : programmation des apprentissages ; la publicité : définition explicite du savoir et le contrôle social : contrôle suivant des procédures de vérification.

tion des savoirs par la notion de transposition didactique qui est un des concepts centraux de ses travaux en didactique. Chevallard (1985) dans le cadre des recherches en didactique des mathématiques effectue une distinction entre savoir savant, savoir à enseigner et savoir enseigné, ce travail permet d'identifier les différentes origines des savoirs, ainsi que la spécificité du savoir scolaire. Pour rendre un savoir enseignable, deux phases sont nécessaires. La première phase est la transposition didactique externe qui concerne le passage du savoir savant au savoir à enseigner¹⁹. La deuxième phase, la transposition didactique interne, est relative au passage du savoir à enseigner au savoir enseigné²⁰. A chaque phase, l'objet du savoir retenu change de statut. Ce concept de transposition didactique est essentiel pour comprendre les transformations qu'un savoir savant subit pour être enseigné. Mais, d'autres savoirs sont à considérer notamment lors de la phase concernant le passage du savoir à enseigner au savoir enseigné. Ainsi, Martinand (1986) souligne l'impact trop limité de la transposition didactique pour les sciences expérimentales et propose une transposition didactique « élargie » selon laquelle les pratiques sociales peuvent être conçues comme source d'élaboration de contenus à enseigner. En effet, pour cet auteur les différentes disciplines n'ont pas toujours un savoir savant pour référence, dans ce cas, les pratiques sociales deviennent des références. Ces pratiques de référence sont les activités sociales dont on veut donner une image. Pour Martinand (2003), la notion de pratique de référence permet de prendre en compte « non seulement les savoirs en jeu, mais les objets, les instruments, les problèmes et les tâches, les contextes et les rôles sociaux » (p. 19). Selon Martinand (1987) les pratiques de référence permettent de : poser des problèmes des références possibles pour les activités scolaires, d'analyser les écarts entre les références et la pratique scolaire, d'effectuer des choix entre diverses pratiques de références et enfin d'assurer la cohérence entre les buts et les moyens une fois ces choix effectués. Pour conclure cette section, nous dirons que pour le didacticien, la transposition didactique est un outil théorique utile à l'analyse des phénomènes didactiques permettant d'avoir un regard sur les différentes transformations du savoir ainsi que sur les distances qui les séparent. Il permet aussi d'avoir une vigilance épistémologique sur les savoirs. Le concept de « pratique de référence » est un deuxième outil important qui permet de prendre en compte le rapport entre les activités scolaires et les activités sociales de référence dont on veut donner une image.

¹⁹ Chaînon 1 de la transposition qui est réalisé par la « noosphère »

²⁰ Chaînon 2 de la transposition qui est à la charge de l'enseignant.

3.1.2. Savoirs - compétences - contenus d'enseignement

Comme nous l'avons mentionné précédemment, les savoirs sont multiples et ils sont soumis à un processus de transformation pour être enseignés. À partir de ces considérations initiales, nous allons clarifier la notion de savoir, de compétence et de contenu de façon à construire un cadre théorique qui puisse nous permettre d'analyser les usages de Mécagenius d'un point de vue didactique. Le terme "savoir" est difficile à cerner et il n'y a pas de consensus sur sa définition. Nous nous plaçons dans la perspective de la transposition didactique ce qui nous conduit à retenir le savoir savant, le savoir à enseigner et le savoir enseigné. Le savoir savant est le savoir de référence tel qu'il est légitimé par la culture et la société et par voie de conséquence par l'institution didactique (Chevallard, 1991). Il peut être scientifique mais aussi expert ou personnel (Joshua, 1998). Le savoir à enseigner est pour sa part le savoir légitimé par la « noosphère »²¹. Il résulte de la transformation des savoirs et des pratiques en programmes scolaires, que Perrenoud (1994) a appelé « curriculum formel ou prescrit ». Enfin, le savoir enseigné, est le savoir qui est réellement mis à l'étude dans la classe. Sans développer ici toute la littérature qui oppose ou discute des différences et des complémentarités entre savoirs « pratiques » et « théoriques », nous nous rallions aux analyses qui critiquent cette dichotomie. Nous considérons ainsi, à la suite de Joshua (1998), qu'il peut être utile de garder la distinction entre « savoirs pratiques » (dont on peut constater, objectivement comme subjectivement, la mise en œuvre, sans pour autant que l'on interroge à cette étape sur leurs « nature », leurs « invariants », ou même sur la conscience, totale, partielle voire inexistante qu'en a le sujet agissant) et « savoirs théoriques » (marqués par leur publicité, leur organisation, sans que l'on puisse à rebours l'attribuer en général à un sujet en propre) (p. 1).

Cette distinction nous conduit vers une définition du terme de compétence qui, comme celui de savoir, est une notion complexe. Selon Le Boterf (1995) « La compétence est la mobilisation ou l'activation de plusieurs savoirs dans une situation et un contexte donnés ». Le Boterf (1997) distingue plusieurs types de savoirs qui contribuent aux compétences :

- Savoirs théoriques (savoir comprendre, savoir interpréter),
- Savoirs procéduraux (savoir comment procéder),

²¹ La noosphère est un terme introduit par Yves Chevallard (1985,1991), la noosphère est constituée par « l'ensemble des acteurs intervenant à l'intersection du système d'enseignement et de la société [...]. Elle apparaît comme un lieu important du processus de transposition didactique : c'est là que s'effectue la sélection, dans le savoir savant, d'un savoir à enseigner et de sa transformation en objet d'enseignement » (Reuter et autres, 2007, p 149).

- Savoir-faire procéduraux (savoir procéder, savoir opérer),
- Savoir-faire expérientiels (savoir y faire, savoir se conduire),
- Savoir-faire sociaux (savoir se comporter, savoir se conduire),
- Savoir-faire cognitifs (savoir traiter de l'information, savoir raisonner, savoir nommer ce que l'on fait, savoir apprendre).

Pour Gillet (1991), une compétence « se définit comme un système de connaissances, conceptuelles et procédurales, organisées en schémas opératoires et qui permettent, à l'intention d'une famille de situations, l'identification d'une tâche-problème et sa résolution par une action efficace » (p. 69). Ces deux définitions nous permettent de saisir l'articulation entre les des savoirs à mobiliser qui permettent de construire la compétence.

Nous terminerons en proposant une définition du terme "contenu d'enseignement". Selon Reuter et *al.*, (2007) : « La notion de contenus renvoie à des choses aussi diverses que les savoirs, les savoirs-faire ou les compétences qui sont les objets d'enseignement et/ou d'apprentissage les plus identifiables dans un système didactique, mais aussi des valeurs, des pratiques, des "rapports à", voire des comportements ou des attitudes. Cette notion désigne donc tout ce qui est objet d'enseignement et d'apprentissage et qui constitue les savoirs qui sont enseignés et les connaissances que construisent les élèves au fil du temps » (p. 45).

Dans la suite de notre thèse, nous considérerons que Mecagenius propose des objets d'enseignement et d'apprentissage qui sont au cœur même de la conception didactique que constitue ce *serious game*. Nous utiliserons le terme "compétence" dans une acception proche de celle de Le Boterf (1995). En nous appuyant sur les travaux de Becerril Ortega (2008) nous référerons ce terme en génie mécanique aux « compétences critiques » visées par la formation dans cette discipline technologique. Nous considérerons donc que le *serious game* Mecagenius vise le développement de ces « compétences critiques » (Pastré, 1999) à travers la succession de différents mini-jeux constitutifs du prototype. Au sein de ces mini-jeux sont cristallisés des savoirs (scientifiques, expert, pratiques, etc.) que les sujets en apprentissage doivent rencontrer et construire afin de pouvoir développer les compétences visées. L'analyse didactique en classe que nous menons s'intéressera à la manière dont les savoirs cristallisés dans les différents mini-jeux sont mis à l'étude et étudiés dans les classes, ainsi qu'aux difficultés rencontrées par les professeurs et les élèves aux prises avec Mecagenius.

4. Cadres conceptuels

Suite à ces précisions terminologiques, nous revenons sur le cadre théorique de notre recherche en lien avec la transposition didactique. Dans leur article sur la relecture des phénomènes transpositifs, Schubauer-Leoni et Leutenegger (2005) pointent la nécessité d'articuler trois programmes interdépendants pour accéder au processus complexe à l'œuvre au niveau de la transposition didactique interne. Nous prenons appui sur leur proposition pour structurer les trois études empiriques qui constituent le cœur de notre recherche en précisant pour chacune quels sont les concepts théoriques mobilisés.

4.1. Le programme épistémologique

Dans cette section, nous développons le premier programme de toute recherche didactique qui est le programme épistémologique (Schubauer-Leoni et Leutenegger, 2005). Un des objectifs du *serious game* Mecagenius est de proposer des situations qui vont être des supports d'apprentissage pour les élèves ou les étudiants. Sa caractéristique est d'articuler l'apprentissage de savoirs techniques de génie mécanique avec un respect des situations réelles d'une activité. Pour cela, la technologie *serious game* de Mecagenius supporte une modélisation de situations didactiques (mini-jeux) qui s'appuie à la fois à des situations professionnelles de référence et à des savoirs de génie mécanique. Cette double contrainte nous a conduit vers la prise en compte de ces deux éléments que nous allons développer dans la section qui suit. Concernant les situations professionnelles de référence, une analyse préalable a été portée en partie par un travail antérieur développé dans le cadre d'un projet ERTé²² appelé : *Mouv*. Son objectif était d'analyser les processus de transposition didactique des situations professionnelles vers des situations de formation en contexte universitaire technologique par le biais d'un simulateur informatique de Machine-Outil à Commande Numérique²³ (MOCN). Reprenant et détaillant ces travaux, nous précisons ce que nous avons emprunté au travail de Becerril Orte-

²² Contrat de recherche ERTé 35 entre le LGMT et le DiDiST-CREFI-T intitulé : « Mise en place d'un simulateur de machine-outil à commande numérique : Essai évaluation de processus d'enseignement/apprentissage en milieu universitaire ». (2005 - 2009)

²³ Donnant lieu à la thèse de Becerril Ortega (2008)

ga (2008) pour la suite de notre recherche. Par ailleurs la visée scolaire et universitaire du *serious game* implique la prise en compte des référentiels scolaires et professionnels pour les différentes filières de formation de référence, autre élément nécessaire à la conception de Mecagenius que nous aborderons dans un second temps.

4.1.1. Filiation avec la recherche antérieure *Mouv*

Dans cette section tout d'abord nous présenterons le positionnement théorique du travail de Becerril Ortega (2008) qui articule une perspective de didactique professionnelle (Pastré, Mayen, & Vergnaud, 2006) avec une perspective de didactique de la technologie (Martinand, 1983 ; Calmettes, 1996 ; Lebeaume, 2000). Nous terminons par une conclusion ciblant les éléments retenus de la recherche *Mouv* pour le programme épistémologique de notre recherche.

Dans le cadre de l'équipe de conception pluridisciplinaire qui caractérise le projet Mecagenius, nous nous sommes en effet appuyé sur le travail mené en didactique professionnelle par Becerril Ortega (2008). Nous en exportons les apports à la base de la conception de Mecagenius. En effet, ces travaux sont fondamentaux car ils s'intéressent à une approche didactique qui s'appuie à la fois sur le contexte professionnel, mais aussi sur le contexte de la formation. Envisageons tout d'abord les principaux courants théoriques qui sont au fondement de la didactique professionnelle afin de mieux comprendre ses liens avec les travaux menés dans la recherche à partir de laquelle le *serious game* Mecagenius²⁴ trouve une partie de ses sources.

4.1.1.1. Les fondements de la didactique professionnelle

Pastré (1999) propose la définition de la didactique professionnelle suivante : « l'analyse du travail en vue de la formation » (p. 13). Pastré, Mayen et Vergnaud (2006) soulignent les apports pour la didactique professionnelle de trois courants théoriques qui sont l'ergonomie cognitive, la psychologie du développement et la didactique. Nous allons aborder ces trois

²⁴ Dans la suite du texte nous utiliserons Mecagenius pour parler du *serious game* Mecagenius.

courants théoriques afin de prendre en compte leurs contributions. Leur dénominateur commun concerne la conceptualisation dans l'activité de travail.

Concernant les apports du courant théorique de l'ergonomie cognitive, quatre points fondamentaux sont identifiés par ces auteurs. Le premier concerne les apports de la psychologie ergonomique qui permet de distinguer la tâche et l'activité, distinction que nous n'abordons pas ici. Nous retenons cependant qu'il est nécessaire d'analyser la tâche d'un sujet d'une part, mais aussi l'activité des agents d'autre part. Le deuxième point présent dans l'ergonomie de la langue française met en lumière la dimension cognitive de toute activité de travail. Le troisième point quant à lui, est relatif aux apports de la psychologie du travail²⁵, établissant une différence entre « l'image cognitive » et « l'image opérative ». La première concerne la description d'un objet au regard de ses propriétés ; la seconde le décrit en fonction des actions qu'il permet de réaliser. Enfin, le quatrième point concerne les apports de psychologie ergonomique portant sur les situations dynamiques. Le sujet en situation de travail doit, en fonction du temps, développer des conduites anticipatrices pour que l'action soit pertinente et qu'elle produise l'effet désiré. Avec Becerril Ortega (2008) nous retenons d'une part, les apports de la psychologie ergonomique pour la didactique professionnelle et d'autre part, l'importance de la conceptualisation dans l'activité de travail.

Les apports de la psychologie du développement pour la didactique professionnelle débutent avec les travaux de Piaget (1974) qui aident à comprendre comment peut se développer l'intelligence de l'action. Selon Piaget deux propositions concernant l'action sont à retenir. La première proposition affirme que l'action est une connaissance autonome. L'action est composée de schèmes qui constituent son organisation interne ce qui permet de comprendre son efficacité, sa reproductibilité, son adaptabilité et son intelligibilité. La deuxième proposition quant à elle repose sur la prise de conscience par le sujet qui constitue le travail de conceptualisation. Celui-ci, sous forme d'opérations mentales, se représente l'action qu'il effectue. Ainsi, selon la théorie piagétienne cette coordination conceptuelle est une transformation mentale de l'activité qui offre un grand pouvoir d'anticipation, de résolution de problème et de stratégies d'ensemble. Paradoxalement, la coordination agie, qui correspond aux transformations matérielles que le sujet effectue sur le réel permet l'établissement de relations de causalité avec un pouvoir d'anticipation relativement faible. La

²⁵ Notamment les travaux de Leontiev (1976 ; 1984) et Vygotski (1978).

coordination conceptuelle apparaît comme une réorganisation de la coordination agie à un niveau supérieur. Vergnaud (1990) s'appuyant sur la théorie piagétienne, reprend la notion de schème qu'il généralise à un ensemble de situation. Les schèmes aident à la compréhension de l'action efficace qui réunit à la fois invariance et adaptation aux situations. Selon cet auteur ce concept de schème peut être décomposé en quatre composantes : buts et sous-buts ; règles d'action ; invariants opératoires et inférences en situation. Cette décomposition permet notamment de comprendre les différents niveaux de schèmes dont les plus importants sont relatifs à l'invariance et à l'adaptation aux situations ; l'équilibre entre ces deux éléments correspond au schème qui est défini comme une organisation invariante de l'activité pour une classe de situation donnée (Vergnaud, 1990). A chaque classe de situations professionnelles correspond une structure conceptuelle qui est le socle invariant servant à organiser l'action efficace du sujet. Pour Pastré (1999) la structure conceptuelle est définie comme l'ensemble des concepts organisant l'action et servant à la guider, c'est aussi l'ensemble des dimensions de la situation à prendre nécessairement en compte pour que l'action soit réussie. La structure conceptuelle de la situation permet d'organiser cet ensemble de tâches, en termes, non d'organisation du travail mais d'organisation cognitive (Pastré 1999 ; 2005). Les actions des acteurs sont organisées en fonction des différentes situations qu'ils rencontrent et auxquelles ils doivent faire face. Selon la didactique professionnelle, l'identification de la structure conceptuelle d'une classe de situation professionnelle correspond à une dimension cognitive des compétences. Pastré (1999), précise qu'autour de cette structure conceptuelle vont s'organiser l'habileté, des procédures, la gestion de ressources, etc.

Selon Pastré, le troisième apport pour la didactique professionnelle relève de la didactique des disciplines et plus particulièrement de la théorie des situations didactiques. Brousseau (1998) désigne par le terme "situation didactique" l'ensemble des interactions du sujet avec le milieu permettant de favoriser ces acquisitions de nouvelles connaissances. Il distingue trois grands types de situations didactiques, la situation d'action, la situation de formulation et la situation de validation. Pour Brousseau, les situations dans lesquelles le sujet est confronté aux rétroactions d'un milieu permettent les progrès dans la conceptualisation. Mais l'apport décisif de la didactique des disciplines pour la didactique professionnelle est de penser les phénomènes de formation professionnelle à partir du concept de transposition didactique. Comme nous l'avons vu précédemment les débats théoriques ont permis d'identifier deux modèles de transposition didactique. Celui initialement théorisé par Chevallard (1985) autour du concept

de savoir, puis dans la Théorie Anthropologique du Didactique (TAD) de praxéologie disciplinaire ; celui de Martinand (1989) qui fonde l'origine de la transposition didactique dans les pratiques sociales de références, modèle encore appelé par l'auteur « transposition didactique élargie ». Nous retiendrons de ces travaux le sens général du concept de transposition didactique c'est-à-dire, celui de la question de la construction de la référence en situation d'enseignement apprentissage. Cette transformation nous conduit vers des questions épistémologiques.

Pour Pastré (2006) « la connaissance, le cognitif, se présentent sous deux formes indissociablement liées : une forme opératoire et une forme prédictive » (p. 158). La forme opératoire désigne la construction de la connaissance via les informations prélevées dans le réel permettant une bonne adaptation à la situation. La forme prédictive correspond à une identification dans le réel des objets et propriétés et leur relation entre eux. Par rapport à un même domaine d'application, ces deux formes de connaissances vont s'exprimer selon deux registres de conceptualisation, le registre épistémique et le registre pragmatique. Ces deux registres sont caractérisables par leur but et leur type de conceptualisation (Pastré, Mayen, & Vergnaud, 2006). Le registre épistémique a pour but de comprendre l'action en identifiant dans une situation donnée, ses objets, leurs propriétés et leurs relations. Le registre pragmatique quant à lui a pour but la réussite de l'action. Ces deux registres, en lien avec les trois domaines de recherche précédemment décrits, permettent de différencier tâche et activité. C'est en s'appuyant sur ces éléments conceptuels que Becerril Ortega (2008) a fait l'analyse de l'ensemble du processus transpositif à l'œuvre dans une approche d'enseignement universitaire utilisant un simulateur MOCN pour la formation en génie mécanique. Dans la prochaine section nous précisons les points d'appui que nous tirons de ces travaux.

4.1.1.2. Les points d'appuis sur la recherche *Mouv* : analyse des activités des opérateurs

Les travaux de Becerril Ortega (2008) conduits à la lumière de la didactique professionnelle modélisent la situation de travail d'un conducteur de machine-outil dans l'optique d'accéder aux savoirs issus du contexte professionnel. Il s'agit d'une analyse de l'activité selon la méthodologie des ergonomes de la langue française afin d'appréhender la structure conceptuelle de la situation et les concepts qui organisent l'activité. Comme résultat de ces analyses, l'auteur présente l'activité d'usinage comme activité fortement procédurale. En effet, les procédures visent à normaliser l'activité des opérateurs de telle façon qu'en situation, les prises d'initiatives et les erreurs afférentes soient minimisées. Ce résultat pointe la perspective d'organisation taylorienne du travail. Mais l'activité échappe toujours à la tâche prescrite et les opérateurs en situation de travail doivent faire face à des imprévus (Pastré, Mayen, & Vergnaud, 2006). Pour dépasser ces imprévus ils élaborent des stratégies qui sont dénommées "concepts pragmatiques" (Pastré, 2006). Ils sont donc élaborés dans l'action, transmis par des pairs et ont une portée limitée ; on les distingue ainsi des concepts techniques dont la généralisation est plus importante (Vidal-Gomel et Rogalski, 2007 ; Martinand 1983). Les analyses menées lors de la recherche *Mouv* ont permis d'identifier la compensation de la dilatation de la broche par les réglages comme étant un concept pragmatique et également un concept organisateur de l'activité des opérateurs (Murillo, Becerril et Fraysse, 2011).

Dans l'analyse des processus transpositifs, un choix a été fait par les concepteurs du simulateur *Mouv* (enseignants chercheurs en génie mécanique) : au lieu de modéliser des savoirs physiques sous-jacents à la dilatation de la broche²⁶, ils ont modélisé lors de la simulation informatique la conséquence de cette dilatation sur les pièces usinées en affichant avec une échelle de couleur les différences dans la profondeur d'usinage. La conception Mecagenius reprend en partie ce point qui rend compte de l'intégration d'un concept pragmatique dans un simulateur selon la logique de la didactique professionnelle.

Les analyses ont aussi permis d'identifier un obstacle épistémologique lié au passage des machines-outils conventionnelles aux machines-outils numériques dans les années 1980. Ceci a bouleversé l'activité des opérateurs qui ont rencontré une difficulté dans le calcul des vecteurs

²⁶ La broche est une partie de la MOCN qui transmet un mouvement de rotation à une pièce ou à un outil par l'intermédiaire d'un mandrin. Lors de l'usinage des pièces la température va varier provoquant une dilatation thermique des broches ce qui va entraîner des défauts dans les tolérances de fabrication.

appliqués dans la position relative des parties de la machine « Pref ». Pour dépasser cet obstacle, les constructeurs ont introduit l'origine pièce comme intermédiaire dans une tentative anthropocentrée pour prendre en compte les compétences des opérateurs sur machines conventionnelles (Rabardel, 1995). Cette approche permettait également de garantir le transfert dans une nouvelle activité avec les machines-outils numériques.

La thèse de Becerril Ortega (2008) a aussi permis, à partir d'une situation de mise en fonctionnement et de réglage d'une machine-outil à commande numérique lors de l'usinage de pièce, de produire une analyse qualitative de l'activité du travail de l'opérateur selon trois étapes. L'objectif était de mieux comprendre les représentations et les stratégies des acteurs dans une perspective de formation. Pour cela, une étude des concepts pragmatiques a été effectuée pour définir ses caractéristiques. Le concept pragmatique est construit dans l'action, organise l'action et a une dimension sociale (Pastré, 1992). La première étape de cette recherche a concerné l'analyse globale du travail afin de comprendre les aspects liés à l'organisation sociale du travail. La deuxième étape fut l'analyse de l'activité d'un opérateur expert afin de pouvoir construire une structure conceptuelle de la situation d'usinage, plus exactement de conduite de Machine-Outil à Commande Numérique (MOCN). Enfin, dans une troisième étape, au travers d'un entretien avec ce même opérateur, une vérification de la structure conceptuelle a été élaborée. Cette vérification s'est traduite par une identification des classes de situation et des indicateurs permettant à l'opérateur de s'adapter aux différentes situations. L'étude de ces situations professionnelles a permis d'accéder aux savoirs pratiques, savoirs issus de la production industrielle. Deux indicateurs prélevés du réel ont été ainsi identifiés, ils permettent à l'opérateur de fonder un diagnostic de la situation. Le premier indicateur est l'état de surface de la pièce, c'est un repère de la qualité. En fonction du résultat obtenu, le professionnel va prendre des décisions pour modifier son action et changer d'outil par exemple afin d'améliorer l'état de surface de la pièce usinée. Le deuxième indicateur est le bruit, cet indicateur est relatif aux conditions de coupe. Comme indiqué précédemment, l'opérateur va, en fonction du bruit et des vibrations, modifier son action pour obtenir un fonctionnement optimum de la MOCN. Un autre concept organisateur secondaire apparaît dans l'activité de l'opérateur en cas de dysfonctionnement : c'est le choix de positionnement de la pièce. Deux indicateurs permettent d'évaluer la stratégie de l'utilisateur, la visibilité de la pièce qui permet d'associer une surface et la broche de la machine pour l'usinage et le nombre de déplacements de la MOCN qui doit être le plus faible possible. Cette analyse de l'activité a alimenté en par-

tie la réflexion épistémologique menée lors de la phase de conception de Mecagenius. Nous reviendrons sur ce point dans la section du prochain chapitre lorsque nous présentons l'environnement dans lequel s'est insérée cette recherche de thèse.

Accéder aux savoirs pratiques suite à l'étude des situations professionnelles est central en didactique professionnelle. Ainsi les recherches de Becerril Ortega (2008) ont permis d'accéder aux savoirs pratiques suite à l'étude des situations professionnelles via la didactique professionnelle. Nous retenons ainsi de l'analyse des activités d'un opérateur expert sur MOCN que l'objet principal de son activité va plus loin d'une relation bipolaire homme-machine. En fait, c'est l'interaction avec l'objet en cours de production (qui peut être directe ou médiatisée par la machine) qui est l'objet principal de son activité.

Cette assertion est en adéquation avec les théorisations de Rabardel et Duvenci-Langa (2004) à propos des classes de situation dans le cas des machines-outils : « en résumé, il [l'opérateur] travaille à la fois sur et avec la machine, et ce travail est finalisé par l'obtention de transformation de l'objet de son activité » (p. 69). Ensuite, la prise en compte d'une autre dynamique de la situation analysée concerne le développement des compétences. A la suite de Rabardel et Duvenci-Langa (2004) et de Samurçay et Rabardel (2004), nous pensons qu'il est dangereux de réduire les compétences à la simple maîtrise des procédures ou bien à la connaissance de la tâche. A partir des deux modèles ("*People at Work*" et "*Compey*"), que nous décrivons ci-après, ces mêmes auteurs décrivent la dynamique et le développement des compétences. Le modèle "*People at Work*" postule pour que le sujet développe en situation de travail des compétences qui sont fonction de l'expérience de la situation, des savoirs ou connaissances socialisées et issus des collectifs de travail. Le modèle "*Compey*" postule que les compétences sont à la fois des composantes représentatives (dimension épistémologique de l'activité du sujet en situation) et des schèmes organisateurs de l'action (règles méthodes, procédures, heuristiques). Ces deux modèles mettent en exergue l'articulation entre les compétences et les situations de travail. Rabardel et Duvenci-Langa à partir de ces deux modèles, caractérisent une articulation complémentaire qui prend en compte, dans la durée, la dynamique des situations et la dynamique des compétences. Ainsi, se pose la question des dimensions de compétences visées et des mécanismes de leur construction. Comme le suggèrent Samurçay et Rabardel (2004), les deux modèles complémentaires ("*People at Work*" et "*Compey*") permettent de formuler des hypothèses sur les mécanismes de

construction des compétences ; sur un plan didactique, ils « peuvent être utilisés pour la formation et la circulation des compétences » (p. 180).

Pour conclure, dans la phase de conception de Mecagenius, l'équipe pluridisciplinaire s'est appuyée sur les travaux menés à partir d'une posture de didactique professionnelle afin d'extraire les éléments cruciaux pour construire les activités qui seront proposées dans le *serious game*. Plus spécifiquement, les mini-jeux composant Mecagenius se veulent être des images (Martinand, 1989) de situations professionnelles prenant en considération les dimensions pragmatiques et conceptuelles sous-jacentes aux compétences d'usinage identifiées comme étant cruciales dans l'activité des opérateurs.

Mais il est apparu nécessaire de ne pas se limiter seulement à transposer ces situations de références en situation de formation comme l'a montré Rogalski (1994). Dans une perspective didactique qui vise l'étude des phénomènes relatifs à la construction des connaissances dans des institutions scolaires et universitaires, nous devons prendre en compte au-delà de la dynamique des situations, la dynamique de construction des savoirs sous-jacents aux compétences. C'est pour cette raison que la contribution de cette thèse au programme épistémologique a consisté à conduire une analyse d'une part des curriculums et d'autre part des besoins des enseignants confrontés aux difficultés rencontrées dans l'enseignement du génie mécanique.

4.1.2. L'analyse des curriculums et les choix transpositifs pour le *serious game* de l'action conjointe professeur-élèves

Après la prise en compte des descripteurs anthropologiques des situations professionnelles issus des travaux de Becerril Ortega (2008) nous allons maintenant aborder la construction des concepts techniques. En effet, le travail de recherche poursuivit dans cette thèse s'intéresse aux phénomènes de transposition didactique liés à la conception puis à l'usage d'un *serious game* dans les classes. Nous poursuivons donc le programme épistémologique en prenant en compte la construction des référentiels. Dans cette partie, en tentant de dépasser la dialectique entre sciences et technique (Gagnepain et André, 1996 ; Vidal-Gomel et Rogalski, 2007 ; Verillon, 2001), nous abordons la question de la construction des concepts techniques dans l'optique de la compréhension de l'élaboration des savoirs. Ensuite, nous étudions leur place dans les curriculums. La question de la construction historique des concepts techniques

convoque la didactique de la technologie dans ce qu'elle apporte à la compréhension du développement des savoirs relatifs à la technique. Selon Vérillon (1998), il existe deux sources de savoirs pour la technologie enseignée. La première source concerne les « élaborations savantes » qui sont élaborées de façon externe aux acteurs de la discipline. La deuxième source quant à elle est relative aux savoirs élaborés par les acteurs de la technique. Ce même auteur souligne l'importance pour le développement de la technologie des apports de cette source externe du fait de l'absence de trace écrite des savoirs que maîtrisent les acteurs de la technique. Il apparaît ici des liens entre la construction de ces savoirs et le contexte professionnel. Pour poursuivre notre questionnement relatif au programme épistémologique dans Mecagenius, nous posons, au regard des curriculums, la question des références. Selon Martinand (1981) les pratiques sociales de référence permettent de prendre en compte plusieurs éléments comme les savoirs en jeu, les objets, les artefacts, les contextes, les rôles sociaux. Reuter (2007) va plus loin en mentionnant que ces pratiques sociales peuvent servir de références aux pratiques scolaires. Enfin, Martinand (2003) souligne l'importance de mesurer les écarts entre les activités de formation et les références prises en compte afin de garantir une certaine cohérence. A partir de ces travaux, nous pouvons mesurer les liens entre le contexte professionnel et le contexte de la formation. Une spécificité apparaît, elle concerne les écarts possibles entre le contexte professionnel et celui de la formation. Aussi la nécessité de faire coïncider la relation entre les contenus et les pratiques sociales de référence relève du projet même de Mecagenius.

Becerril Ortega (2008) met en valeur à partir d'un regard lié à la didactique de la technologie, la nécessité d'approfondir l'analyse des curriculums préalablement à la conception de tout support d'aide à l'enseignement. Pour notre part, nous contribuons à l'affinement du programme épistémologique en effectuant l'analyse des curriculums de génie mécanique au niveau scolaire, universitaire et professionnel complétant ainsi les analyses des savoirs technologiques universitaires développés dans la thèse déjà citée (Becerril Ortega, 2008).

Mais notre contribution au programme épistémologique fait un pas de plus. Nous jugeons nécessaire, un peu à la manière des analyses préalables pour l'ingénierie didactique développée par Artigue (1990) (Cf. Section 2.1 de ce chapitre : L'ingénierie didactique), de prendre aussi appui sur les besoins des enseignants et les usages potentiels d'un dispositif didactique pour concevoir les mini-jeux qui seront implémentés dans Mecagenius. Ces deux études (analyse des curriculums et analyse des besoins des enseignants) feront l'objet du premier chapitre des

résultats. Par ailleurs le repérage des difficultés de l'enseignement du génie mécanique nous servira aussi de point de repère pour comprendre les mises en œuvre et les usages de Mecagenius dans les classes ordinaires qui relèvent pour leur part du programme didactique que nous décrivons ci-après.

4.2. Le programme didactique

Après avoir examiné dans la précédente section les points d'appuis retenus et les contributions originales qui président à la conception de Mecagenius, examinons maintenant le deuxième programme qui est le programme didactique (Schubauer-Leoni et Leutenegger, 2005). Pour rendre compte du fonctionnement du système didactique aux prises avec Mecagenius et des usages d'un *serious game* en classe, nous avons choisi d'inscrire nos analyses dans le cadre théorique de l'action conjointe en didactique (TACD) telle qu'elle a été développée par les chercheurs au sein du courant comparatiste (Amade-Escot & Venturini, 2009 ; Sensevy 2007 ; Sensevy, Mercier & Schubauer-Leoni, 2000). La notion de jeu (jeu du professeur, jeu de l'élève, au regard des enjeux de savoir) est centrale dans cette modélisation didactique qui propose des descripteurs permettant d'en rendre compte. Nous nous appuyerons plus particulièrement sur ceux relatifs à l'action professorale qui permettront de mettre au jour certains usages du *serious game* en classe.

4.2.1. Les descripteurs de l'action conjointe professeur-élèves

Nous approfondissons ce que nous avons posé en introduction à propos des relations existantes entre la question des jeux en général et les problématiques didactiques y afférentes (Cf. Première section du chapitre 1). L'emprunt à la Théorie de l'Action Conjointe en Didactique (TACD) nous semble heuristique dans la mesure où cette dernière s'intéresse à la façon dont professeur et élèves, en classe, collaborent autour de ce que Sensevy (2011) appelle le « jeu épistémique » qui selon lui « modélise une pratique de savoir » (p. 124). Dans notre travail nous ne mobiliserons pas cette notion de jeu épistémique telle qu'elle apparaît dans les déve-

loppements récents de la TACD. Néanmoins, nous notons un rapprochement possible avec les développements actuels des recherches sur les *serious games* autour de la notion de « jeux épistémiques numériques » (Sanchez et al., 2012), ce qui justifie selon nous l'usage de cette théorie.

Sensevy et Mercier (2007) modélisent l'action didactique conjointe comme un jeu générique appelé "jeu didactique". Selon ce modèle, si les positions du professeur et de l'élève sont différentes quant au rapport au savoir, leurs implications dans le processus d'enseignement/apprentissage ne peuvent s'envisager que conjointement (Sensevy, Mercier & Schubauer-Leoni, 2000). Ces apports théoriques positionnent notre réflexion vers les descripteurs de la TACD qui nous guideront lors de nos analyses. Selon Sensevy, Mercier et Schubauer-Leoni (2000) quatre structures fondamentales permettent de décrire la relation didactique :

- La définition : comportements au moyen desquels le professeur indique aux élèves quelles sont les règles du jeu d'apprentissage auquel ils vont prendre part,
- La dévolution : processus par lequel le professeur amène ses élèves à assumer la responsabilité de son apprentissage (Brousseau, 1998).
- La régulation : comportements que le professeur produit en vue de faire produire aux élèves la (ou les) stratégie(s) gagnante(s),
- L'institutionnalisation : légitimation des connaissances produites dans la classe (Brousseau, 1998).

Ce quadruplet d'éléments de la relation didactique définit la dynamique évolutive du système qui repose sur trois genèses :

- La chronogenèse : progression du temps didactique et de l'avancement des objets de savoir au cours du temps,
- La mésogenèse : évolution du système des objets co-construits par l'enseignant et l'élève lors des interactions grâce aux tâches proposées, ici dans les mini-jeux du *serious game*,
- La topogenèse : partage des responsabilités (leurs topos) à propos des objets de savoir.

Aux quatre éléments structuraux de la relation didactique couplés au triplet des genèses s'ajoutent les notions fondamentales « de milieu » et de « contrat didactique » permettant de décrire et d'expliquer l'action conjointe et notamment le caractère systémique et dynamique de la relation didactique. Ce qui est fondamental dans la théorie de l'action conjointe en

didactique c'est l'idée de l'articulation du jeu du professeur sur le jeu de l'élève dans un jeu défini par Sensevy (2010) comme « gagnant/gagnant ». C'est la raison pour laquelle la question du contrat didactique, c'est-à-dire les attentes réciproques et implicites entre un professeur et un élève et son articulation au milieu didactique sont fondamentales. Dans le cadre de notre recherche portant sur un *serious game*, une partie de l'intentionnalité didactique va être implémentée sous forme de mini-jeux dans Mecagenius. Nous pensons donc que la notion de milieu didactique au sens broussaldien est fondamentale pour analyser les usages que font les enseignants comme les élèves du *serious game*. Ceci nous amène à mettre l'accent sur ces deux concepts centraux de la TACD : le milieu didactique et le contrat didactique.

4.2.2. Le concept de milieu didactique

Comme nous l'avons évoqué dans l'état de l'art, la notion de milieu didactique a été introduite dans le cadre général de la théorie des situations didactiques (Brousseau, 1986). Pour cet auteur, dans la théorie des situations didactiques, les situations appartiennent à deux catégories : les situations didactiques et les situations adidactiques. Brousseau (1998) désigne par le terme "situation didactique" l'ensemble des interactions du sujet avec le milieu permettant de favoriser ces acquisitions de nouvelles connaissances. Il définit la notion de situation adidactique comme « des situations d'apprentissage dans lesquelles le maître a réussi à faire disparaître sa volonté, ses interventions, en tant que renseignements déterminants de ce que l'élève va faire : ce sont celles qui fonctionnent sans l'intervention du maître au niveau des connaissances. » (p. 311). Pour Margolinas (1993) dans une situation adidactique, « l'élève devient indépendant du système enseignant » (p. 33), il est alors dans une relation privilégiée avec le savoir disciplinaire. Parmi les trois grands types de situations²⁷ adidactiques, nous retiendrons ici la situation d'action dans laquelle le sujet est confronté à un milieu qui interagit avec lui. Selon Amade-Escot (2003), le concept du milieu didactique modélise l'environnement spécifique d'un savoir, il joue un rôle important dans la détermination des connaissances que doit développer l'élève. Ainsi, ce concept du milieu didactique peut être défini selon différents aspects qui peuvent être d'ordres matériels, sémiotiques ou symboliques. Ce milieu dynamique

²⁷ Les trois types de situations sont les suivants : situation d'action, situation de formulation, situation de validation.

à géométrie variable change selon l'activité de l'élève, il est révélateur de multiples significations. En nous appuyant sur la théorie brousaldienne qui est au point de départ de la TACD, nous considérons le *serious game* comme un milieu didactique (Brousseau, 1990). Nous rejoignons ainsi Sanchez (2011) lorsqu'il indique que le *serious game* peut être modélisé sous forme d'une situation didactique au cours de laquelle des interactions se mettent en place entre au moins un élève et le milieu didactique représenté par le jeu. Lors de l'utilisation d'un *serious game* en classe, l'apprenant est placé dans un environnement informatique sous engagement tacite avec l'enseignant²⁸ dans une visée d'acquisition de savoirs et/ou de développement de compétences. Notre travail de recherche consiste justement à comprendre à partir d'une analyse *in situ* de l'utilisation d'un jeu sérieux en contexte d'enseignement les significations données par le professeur et les élèves au regard des objets de savoir visés par Mecagenius. Dans le cadre de l'utilisation d'un *serious game* en classe, les élèves sont placés en interaction avec un milieu didactique conçu de manière à ce que les rétroactions dans le jeu soient compatibles avec les savoirs visés. D'une certaine manière dans un *serious game*, les intentions du professeur restent en partie opaques à l'élève. Seules les relations avec le milieu didactique que constitue le *serious game* doivent être suffisamment prégnantes et adéquates pour que l'élève puisse construire en partie des connaissances. De ce fait, tout ce qui agit sur un sujet ou ce sur quoi le sujet agit - ce que l'on nomme "le milieu" - prend ici une place importante dans notre approche. Cette relation actant-milieu sera au cœur de notre réflexion dans l'étude des usages de Mecagenius en classe ordinaire que ce soit du côté du professeur, ou du côté de l'élève et dans l'action conjointe professeur-élèves.

4.2.3. Le concept de contrat didactique

Le concept de contrat didactique a été introduit par Brousseau (1980), il est défini par un système d'attentes réciproques par rapport au savoir enseigné entre l'enseignant et les élèves ; selon cet auteur c'est : « l'ensemble des comportements (spécifiques [des connaissances enseignées]) du maître qui sont attendus de l'élève et l'ensemble des comportements de l'élève qui sont attendus du maître » (p. 127). Ce contrat didactique en partie implicite, engage

²⁸ Cet engagement est le contrat didactique que nous développons dans le paragraphe suivant (Cf. 4.3 Le programme cognitif)

l'élève à jouer avec le milieu. Il est « la règle du jeu et la stratégie de la situation didactique. C'est le moyen qu'a le maître de la mettre en scène » (*Ibid.*, p. 60). Le concept de contrat est central car il permet d'identifier des phénomènes et comportements spécifiques de la relation didactique. Il contribue à la compréhension de la façon particulière dont chaque élève interprète la situation d'apprentissage et réagit aux intentions de l'enseignant. Le repérage du contrat didactique amène aussi à mettre en évidence des dysfonctionnements de l'enseignement identifiés par Brousseau (1980, 1986) sous les noms d'effets du contrat. Par exemple l'effet "Topaze" consiste pour le professeur à prendre à sa charge l'essentiel du travail en suggérant la bonne réponse à l'élève ; l'effet "Jourdain" lorsque le professeur admet de reconnaître l'indice d'une connaissance savante dans les comportements ou dans les réponses de l'élève, bien qu'elles soient en fait motivées par des causes et des significations banales. En 1996, Brousseau présente huit formes typifiées de contrat didactique observables dans les analyses en classe. Nous mobiliserons certaines de ces formes génériques dans le chapitre 2 des résultats à propos de l'utilisation du *serious game* en classe. Nous pensons en effet, que le concept de contrat didactique est décisif pour traiter nos questions de recherche relatives au programme didactique mais il nous sera aussi utile dans le programme cognitif que nous présentons dans la section suivante afin d'identifier comment l'élève ou l'étudiant s'ajuste ou s'adapte à Mecagenius.

4.3. Le programme cognitif

Dans cette troisième section nous présentons le dernier programme dont Schubauer-Leoni et Leutenegger, (2005) pointent la pertinence pour une analyse ascendante de la transposition didactique : le programme cognitif. Prenant la suite de ce que nous avons évoqué à propos du programme didactique, nous nous intéressons alors plus particulièrement au sous-système élève de la relation didactique. Nous examinerons quels sont les rapports que les élèves entretiennent avec le *serious game* Mecagenius. Les cadres conceptuels que nous mobiliserons au fil de ce travail visent à décrire quelles sont les stratégies mises en œuvre au regard des concepts techniques de l'usinage en génie mécanique, c'est-à-dire des savoirs cristallisés dans les mini-jeux. Nous analyserons la manière dont l'élève ou l'étudiant fait usage de certains mini-

jeux afin d'identifier quelles sont les difficultés ou les obstacles rencontrés, quelles sont les stratégies mises en œuvre pour réussir au jeu. Nous décrirons comment l'élève ou l'étudiant s'ajuste ou s'adapte au milieu « adidactique » qui lui est proposé. Nous serons donc amené à interpréter ou analyser les conduites de l'élève au regard de la manière dont il décode (de façon pertinente ou non) les contrats didactiques sous-jacents à différents mini-jeux constitutifs de Mecagenius. Nous ne pouvons pas mener l'analyse sur l'ensemble des mini-jeux d'une part en raison du trop grand nombre de données à traiter et d'autre part parce que, au moment de l'étude, seul le prototype était disponible sur deux mini-jeux. Ainsi, nous mènerons cette troisième étude dans le programme cognitif principalement à partir des mini-jeux « *l'as de la fab* » et « *le roi de la pref* » qui cristallisent les savoirs de l'usinage les plus essentiels dont nous avons vu à travers l'ERTe *Mouv* (Becerril Ortega 2008) qu'ils sont cruciaux eu égard aux compétences de génie mécanique. Mais aussi parce que l'analyse des curriculums et l'analyse des besoins des enseignants (Cf. La contribution de cette thèse au programme épistémologique) montrent qu'ils sont essentiels dans les acquisitions de fin de lycée et à l'université.

4.4. Conclusion sur le cadre conceptuel

Nous présentons dans le schéma ci-dessous, les cadres conceptuels mobilisés pour conduire les trois programmes qui selon Schubauer-Leoni et Leutenegger (2005), documentent toute recherche sur la transposition didactique. Ainsi, pour permettre au lecteur d'appréhender l'ensemble de la recherche, nous en présentons ici, de façon synthétique, les différents éléments qui les constituent et qui correspondent aux deux phases complémentaires du projet de recherche-développement Mecagenius : la phase de conception et la phase d'évaluation de ses usages en classe.

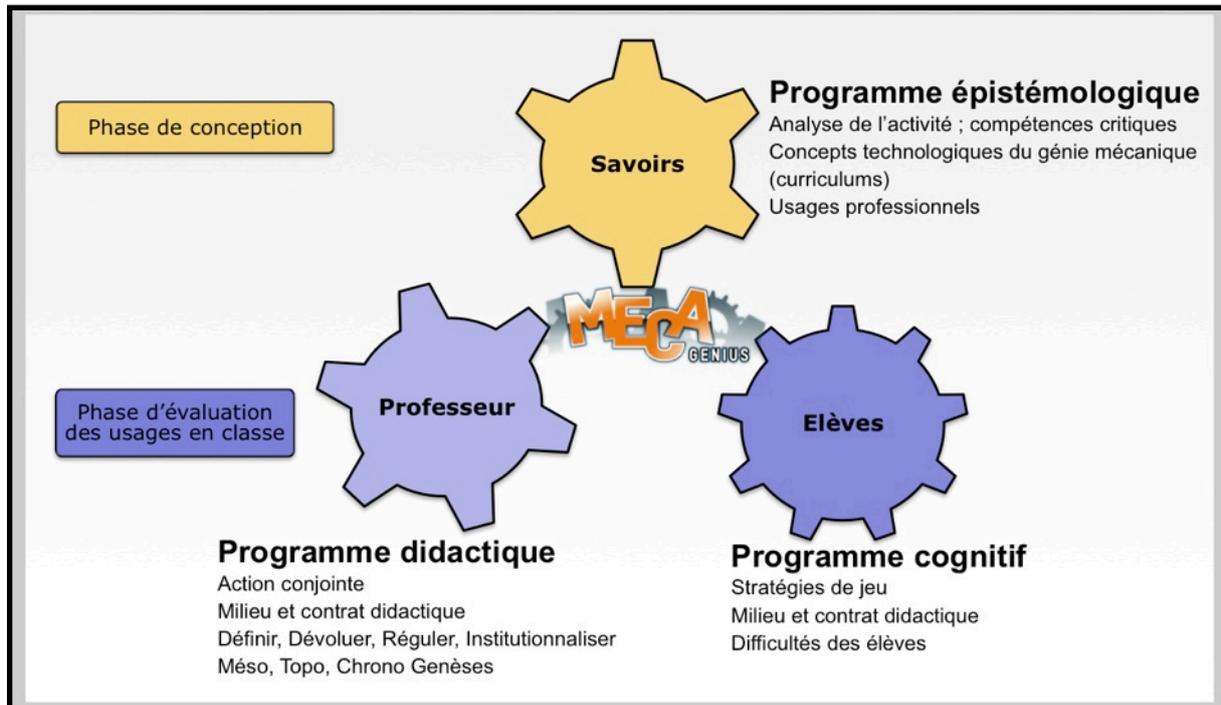


Figure 1 : Schéma synthétique du cadre conceptuel relatif aux trois programmes

5. Mecagenius : un artefact permettant d'interroger le fonctionnement du système didactique ?

Nous venons de présenter à travers les trois programmes interdépendants auxquels cette recherche de thèse souhaite contribuer quels sont les cadres conceptuels que nous mobiliserons au fil de notre travail empirique. Nous allons maintenant discuter le statut de Mecagenius dans cette recherche au regard de la notion d'artefact telle que parfois utilisée dans la littérature sur les *serious games*. Mecagenius a pour objectif de proposer des situations (mini-jeux) qui vont être des supports d'apprentissage pour les élèves et les étudiants pour accomplir des tâches liées aux compétences de génie mécanique. Mecagenius est conçu pour permettre aussi à l'enseignant de développer des objectifs d'enseignement en lien avec les curriculums de formation. Cette double fonction est complétée par une relation entre Mecagenius et le savoir. Nous avons déjà souligné dans une section précédente que cette recherche ne relevait ni d'une ingénierie didactique, ni d'un *Design Experiment*, ni d'un essai-évaluation au sens classique de ces termes. En effet, la conception didactique, c'est-à-dire le *serious game*, n'a pas été

strictement élaboré dans une approche d'ingénierie didactique (Artigue, 1990 ; Brousseau, 2008), n'a pas été mis en œuvre collaborativement avec des enseignants dans une visée de production de théories sur l'apprentissage comme dans le cas d'un *Design Experiment* (Cobb, 2003), et enfin, parce qu'il ne s'agit pas d'une évaluation d'un prototype didactique, n'a pas pour finalité d'aider à la décision des enseignants (Martinand, 1987). Dans le cadre de la recherche développement notre posture de chercheur a été plutôt celle d'une analyse en intelligibilité des pratiques, celle des enseignants et celle des élèves aux prises avec Mecagenius.

Il nous semble donc que les études successivement effectuées : l'analyse des curriculums et l'analyse des besoins des enseignants dans la phase de conception pour contribuer au programme épistémologique, l'analyse des manières dont les enseignants de lycée et d'université utilisent le *serious game* dans leurs pratiques ordinaires et de la manière dont les élèves et les étudiants développent des stratégies d'apprentissage face à ce *serious game* relèvent de ce que certains auteurs théorisent en termes d'usages d'un instrument ou d'un artefact (Rabardel, 1995 ; Trouche, 2005). Pour Rabardel (1995) la notion d'artefact désigne à la fois des objets matériels et symboliques qui vont s'insérer dans une activité humaine « Le terme d'objet technique est porteur d'une orientation technocentrée qui rend difficile d'autres approches, notamment anthropocentrique. Nous proposons d'utiliser la notion d'artefact comme terme alternatif, neutre, permettant de penser différents types de relations du sujet à l'objet ou au système anthropotechnique : comme structure technique, dispositif fonctionnant, instrument, ... Soulignons qu'au-delà des objets matériels, la notion d'artefact inclut les objets symboliques » (p. 11). Rabardel (1995) introduit ensuite la notion d'instrument qui est l'association d'un artefact et des schèmes²⁹ d'utilisation de cet artefact développées par le sujet. Vu sous cet angle, l'instrument est une entité mixte qui relève à la fois du sujet et de l'artefact. En guise de conclusion et pour bien dissocier l'artefact de l'instrument nous pouvons dire que c'est le sujet dans son activité qui attribue à l'artefact un statut d'instrument. Rabardel (1995) poursuit en proposant le concept de genèse instrumentale qui comporte deux processus : d'instrumentation et d'instrumentalisation. L'instrumentation est relative au sujet lui-même et notamment à la constitution des schèmes d'utilisation des artefacts. Selon Trouche (2005) « l'instrumentation, c'est donc ce processus par lequel les contraintes et les potentialités d'un artefact vont conditionner durablement l'action d'un sujet pour résoudre un

²⁹ Cette notion a été développée dans le point 2.1.1 relatif à la poursuite d'un travail de didactique professionnelle concernant les travaux de Vergnaud.

problème donné » (p. 274). L'instrumentalisation est relative quant à elle à l'artefact et notamment comment le sujet s'approprié les artefacts. Pour Trouche (2005) « ce processus peut être considéré comme un détournement ou comme une contribution de l'utilisateur au processus même de conception de l'instrument » (p. 275). Selon Marquet (2003) les artefacts ont le statut d'instrument dès lors qu'ils sont instrumentalisés et instrumentés par l'apprenant et/ou l'enseignant. Cet auteur souligne la pertinence de la notion de conflit instrumental qui traduit la difficulté à instrumentaliser et/ou instrumenter l'artefact. Enfin, nous rappelons que le terme "médiation" est aussi souvent utilisé dans la littérature pour désigner les potentialités qu'a un artefact de favoriser les processus d'apprentissage (Radford 2003 ; Noss & Hoyles 1996 ; Borba & Villarreal 2005).

En nous inspirant de ces auteurs nous pensons que les trois études envisagées selon les trois programmes décrits ci-dessus, prennent en compte la dimension artefactuelle inhérente à Mecagenius. Ces éléments nous conduisent à conjoncturer qu'en tant qu'artefact Mecagenius peut être considéré comme un objet permettant d'interroger le fonctionnement du système didactique. Pour autant nous ne nous référons pas au cadre théorique sous-jacent aux travaux de Rabardel (1995) et de Trouche (2005) sur la genèse instrumentale dans les usages des artefacts. Nous serons amené en conclusion à revenir sur les liens possibles entre les approches de ces auteurs et la nôtre par rapport aux questions didactiques soulevées lors des études relatives aux trois programmes investigués.

Chapitre 3 : Problématique et questions de recherche

Avant de développer la problématique et les questions de recherche traitées dans cette thèse nous la resituons dans une première section dans l'environnement dans lequel elle s'est insérée c'est-à-dire le projet Mecagenius dans son ensemble. Nous revenons aussi sur les postures empruntées au fil des étapes de conception puis d'évaluation du *serious game*. A la suite de quoi posons la problématique qui s'appuie sur les trois études que nous avons évoquées dans les sections précédentes.

1. Environnement dans lequel s'insère la recherche de thèse : projet Mecagenius

Il s'agit dans cette section de positionner clairement la recherche empirique descriptive menée dans le cadre du projet de recherche-développement qu'est Mecagenius. Dans cette section nous décrivons donc ce projet auquel nous avons participé. Toutefois, nous ne développons pas toutes les étapes de la conception³⁰ dans cette thèse. Nous définissons dans cette section également notre posture d'ingénieur-concepteur ainsi que le travail que nous avons effectué pour la réalisation du prototype académique du jeu sérieux Mecagenius.

1.1. Cadre général du projet

Cette recherche-développement dans laquelle s'insère cette thèse peut être résumée sous couvert d'ingénierie de formation pour la conception de Mecagenius qui est née suite au travail effectué dans une ERTé³¹ et dans le cadre d'une thèse (Becerril Ortega, 2008) comme nous l'avons déjà précisé dans le chapitre 2 (Cf. Filiation avec la recherche antérieure *Mouv*). Dans ce projet nous avons participé à la conception et à la réalisation de ce *serious game* répondant à des besoins spécifiques en terme de formation. Ainsi, pour la construction et le développement de Mecagenius, nous sommes intervenu avec une posture de praticien, de formateur en nous appuyant sur nos compétences scientifiques (génie mécanique, technologique, physique, informatique, etc.) et personnelles (humaines, sociales, psychologiques, position institutionnelle, etc.) pour contribuer à son élaboration. Nous pouvons dire que ce projet est une recherche-développement et que notre participation peut se résumer à une visée d'intervention sur ce système pour nourrir la recherche en didactique.

³⁰ Pour des raisons de confidentialité également.

³¹ Equipe de Recherche en Technologie éducative.

1.1.1. L'étape de la conception

Dans cette partie, nous allons décrire l'étape de conception de Mecagenius, elle concerne l'architecture mise en œuvre pour que ce projet soit réalisé. Après une présentation générale du projet, nous décrivons les choix qui ont guidé la conception de Mecagenius. L'objectif de cette section est d'apporter un éclairage sur les décisions prises en amont de la conception de Mecagenius. Ces choix ont été effectués au regard de notre problématique de recherche et de ce qui nous semblait pertinent pour articuler *serious game* et apprentissage. C'est dans une visée d'une meilleure description, compréhension et explication des processus mis en œuvre lors de l'utilisation de Mecagenius en classe que nous avons en amont pris ces décisions nous permettant d'alimenter en aval notre recherche. Enfin, nous tenons à rappeler que nos données empiriques ne portent pas sur la conception et que, comme nous l'avons mentionné précédemment notre posture dans cette phase de conception est celle du praticien formateur en génie mécanique.

1.1.2. Présentation du projet Mecagenius

Le projet Mecagenius est né en 2007 au centre universitaire Jean-François Champollion d'Albi sous l'impulsion de Catherine Lelardeux, de Pierre Lagarrigue et d'Olivier Baptista. Comme déjà évoqué, le *serious game* s'inscrit en filiation avec l'ERTé *Mouv*³². Au moment de nos études empiriques en classe, Mecagenius est un jeu sérieux en génie mécanique en cours de construction au sein d'un projet de recherche-développement. Il permet de découvrir un atelier de fabrication, d'apprendre à mettre en œuvre des Machines-Outils à Commandes Numériques (MOCN), d'usiner des pièces et de gérer un projet de fabrication au sein d'une entreprise virtuelle. Mecagenius ambitionne d'enseigner et d'apprendre les concepts clefs du génie mécanique tout en s'amusant : c'est un compagnon virtuel d'apprentissage par l'action des processus de réalisation d'un objet technique. Mecagenius peut être utilisé par un joueur qui ne possède aucune expérience en génie mécanique, comme par un joueur ayant un haut niveau d'expertise. Il doit ainsi s'adapter à différents niveaux d'enseignement, du lycée à

³² ³² Contrat de recherche ERTé 35 entre le LGMT et le DiDiST-CREFI-T.

l'université ou en école d'ingénieur. Mecagenius est un projet pluridisciplinaire financé par le Ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi³³ via le plan de relance numérique pour la réalisation d'outils logiciels pour les entreprises recourant à des techniques issues du jeu vidéo (*serious game*). Comme nous l'avons évoqué en introduction de cette thèse, Mecagenius a été sélectionné parmi les projets les plus innovants lors de l'appel à projet "Serious Gaming" du secrétariat d'Etat à l'Economie Numérique en 2009 et financé à hauteur de 400 000 € pour deux ans (2010-2012). Il regroupe une entreprise³⁴ ainsi que plusieurs équipes de recherche³⁵ (Cf. Annexe 1) issues de différentes disciplines : génie mécanique, informatique, spécialistes du jeu vidéo et didactique. La version industrielle a été opérationnelle en avril 2012. Nous pouvons résumer le projet Mecagenius comme suit :

- Porteur de projet : Centre Universitaire de Formation et de Recherche (CUFR) Jean-François Champollion d'Albi,
- Unités de recherches partenaires : Institut Clément Ader (ICA), Education - Formation - Travail - Savoirs (EFTS), Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT),
- Industriel : Société KTM Advance,
- Soutiens : pôle de compétitivité AeroSpace Valley, Mécanic Vallée.

1.1.3. Le *serious game* Mecagenius

Mecagenius est un *serious game* en génie mécanique, c'est un jeu sérieux multi-joueurs par navigateur, basé sur une architecture distribuée, intégrant des services collaboratifs (chat, partage de fichiers, webcam, tableau blanc, ...). Mecagenius a été conçu pour s'adapter à différents contextes d'enseignement, il vise les étudiants novices, apprentis et expérimentés en formation initiale ainsi que les professionnels en formation continue. Il possède donc trois niveaux de jeu : {apprenti - usineur - ingénieur}. Mecagenius permet d'introduire un nouveau concept, de s'entraîner et d'évaluer une compétence. Le joueur peut commencer par le niveau « apprenti », il peut se familiariser, découvrir l'environnement du jeu (les différentes machines, les outils, les pièces, etc.) mais aussi l'atelier de fabrication de pièces mécaniques.

³³ MECAGENIUS a été retenu parmi les projets présentant un fort potentiel d'innovation technique et d'usages suite à l'appel à projet Serious Gaming lancé par Nathalie Kosciusko-Morizet en mai 2009.

³⁴ KTM Advance, acteur *leader* sur le marché du *e-learning* et du *Serious Game*.

³⁵ ICA, IRIT, UMR EFTS, Ecole de Technologie Supérieure de Montréal.

Le joueur peut effectuer des missions différentes (découverte, apprentissage ou fabrication). Selon les niveaux de jeu, le joueur peut évoluer dans le *serious game* et change de niveau avec des missions de complexité accrue. Ainsi, il peut découvrir au travers d'activités un atelier de fabrication, se former à l'utilisation de machines-outils à commande numérique puis gérer un projet de fabrication au sein d'une « junior entreprise virtuelle ». Mecagenius possède 203 activités réparties sur 3 salles virtuelles ; ces 203 activités sont distribuées sur 5 domaines. Un scénario narratif adapté au joueur lui est proposé (Cf. Annexe 2). L'univers de Mecagenius est accessible à un très grand nombre de joueurs simultanément par le réseau Internet et via un simple navigateur. Cet univers est persistant, c'est-à-dire qu'il existera tout le temps, que des joueurs soient connectés ou non. Le joueur peut poursuivre sa partie sans devoir tout recommencer à chaque connexion au jeu. Mecagenius peut donc être utilisé en contexte scolaire en présence ou non d'un enseignant ; il peut également être utilisé en contexte de formation professionnelle. Par conséquent, l'utilisation de Mecagenius dans un contexte de formation pourrait ne pas se limiter à un enseignement synchrone. Du point de vue didactique, l'utilisation d'un *serious game* dans le cadre d'une formation en génie mécanique présente des avantages qui peuvent être de différents niveaux. Pour n'en citer que quelques-uns, nous pouvons dire qu'il offre la possibilité d'apprendre à utiliser une machine-outil sans risques et à moindre coût (consommation, matériel, usure). Mecagenius permet aux utilisateurs de se familiariser avec un atelier de génie mécanique, de les sensibiliser aux risques d'accidents du travail, aux mesures d'hygiène et sécurité à respecter. Grâce à la simulation du monde de l'entreprise qu'offre Mecagenius comme par exemple le travail collaboratif pour réaliser une mission de projet par équipe, il permet un apprentissage collaboratif car il promeut un environnement social de formation (prise en compte du groupe et du rôle de chacun). Mecagenius possède une architecture modulaire pouvant permettre à l'enseignant suivant ses choix, de suivre la progression des élèves en fournissant des indicateurs de suivi, de paramétrer une partie du parcours pédagogique scénarisé au sein du jeu complet et d'avoir un accès granulaire à chacune des activités. Mecagenius est conçu selon trois modes (que nous décrivons ci-dessous) pour que l'enseignant puisse choisir le mode qui convient le mieux à ses visées d'enseignement.

- En mode « *atomique* », l'enseignant choisit les mini-jeux et les utilise comme des exercices pour illustrer son cours. L'aspect ludique disparaît en partie dans cette configuration.

- En mode « *aventure* », l'enseignant peut personnaliser un certain nombre de parcours (sur des compétences ciblées) que l'élève devra effectuer avant de venir en cours. Ces parcours aventure permettent par exemple de préparer un TP à la maison. L'enseignant a bien entendu la possibilité proposer à la classe le jeu complet.
- En mode « *jeu complet* », le joueur parcourt un monde imaginaire et doit réaliser un certain nombre de missions. La quête des récompenses oriente le joueur selon sur un parcours pédagogique prédéfini.

Par ailleurs l'architecture de Mecagenius permet aussi aux enseignants de disposer d'un outil d'évaluation pouvant rendre compte de l'évolution des compétences et des traits génériques de l'action des élèves. Les jeux prennent en compte les erreurs et difficultés rencontrées par les élèves et les enseignants, et Mecagenius fournit les informations à l'enseignant au regard des erreurs pointées. En effet, Mecagenius grâce à son architecture modulaire permettant à l'enseignant de suivre la progression des élèves en fournissant des indicateurs de suivi, de paramétrer une partie du parcours pédagogique scénarisé au sein du jeu complet et de lui laisser un accès granulaire à chacune des activités. Mecagenius offre un apprentissage interactif, attrayant et motivant qui invite les élèves à participer activement.

1.1.4. Fonctionnement de l'équipe de conception dans le projet

Le tableau ci-dessus présente le comité de pilotage ainsi que le comité technique du projet Mecagenius.

Comité de pilotage	Comité technique
- Responsable Génie Mécanique de l'ICA, Pierre Lagarrigue,	CUFR (Centre Universitaire de Formation et de Recherche) Champollion d'Albi : - Catherine Lelardeux, chef de projet - Olivier Baptista, responsable de l'utilisation du produit
- Directrice de projet académique Catherine Lelardeux,	ICA (Institut Clément Ader) : - Pierre Lagarrigue, responsable Génie Mécanique
- Chef de projet KTM Advance Philippe Chatellier	IRIT (Institut de Recherche en Informatique de Toulouse) : - Patrice Torguet, responsable technique Informatique - Samir Torki, chargé de la conception des mini-jeux

Comité de pilotage	Comité technique
	UMR EFTS (Education - Formation - Travail - Savoirs) : - Chantal Amade-Escot, responsable didactique - Michel Galaup, chargé de la conception et l'évaluation du <i>serious game</i> - Fabienne Viallet, co-responsable.
	KTM Advance : - Philippe Chatellier, responsable technique <i>serious game</i>
	Ministère de l'Economie et des Finances : - Gaëtan Poncelin de Raucourt.

Tableau 2 : Comités de pilotage et technique du projet Mecagenius

Nous allons dans cette section présenter le rôle ainsi que le périmètre des différents acteurs qui interviennent à divers niveaux dans le fonctionnement de l'équipe de conception de Mecagenius. La définition des rôles de chaque acteur nous permet de mieux comprendre leur participation au sein de ce projet (Cf. Annexe 1). Cette équipe est donc constituée d'une directrice de projet - chef de projet académique³⁶ chargée d'assurer la maîtrise d'œuvre du projet, elle assure le suivi planning/déploiement. Comme nous l'avons mentionné précédemment, le projet est mené en collaboration avec une société industrielle qui est KTM Advance³⁷. Un interlocuteur principal³⁸ assure le suivi des réalisations et des livraisons des différentes équipes chez KTM Advance, il travaille en coordination avec le chef de projet académique. Dans l'entreprise KTM Advance, une équipe de développeurs est chargée de la conception et des développements de prototypes. Une équipe de graphistes travaille sur les aspects graphiques et artistiques du projet (aspect visuel, communication). Un *game designer*³⁹ prend en charge le scénario global du jeu, la jouabilité et conçoit le champ du jeu, les spécifications, les propriétés des objets, les règles, etc. Enfin, un ingénieur pédagogique travaille à l'organisation globale des objectifs pédagogiques, des propositions de coquilles⁴⁰ de jeux sur lesquels vont s'appuyer les mini-jeux.

³⁶ Catherine Lelardeux

³⁷ Société dirigée par Monsieur Dambach Yves

³⁸ Philippe Chatellier

³⁹ Eddy Daguinet

⁴⁰ Le concept de coquille générique de jeux est une structure qui génère des activités d'apprentissage pouvant favoriser l'utilisation de différentes stratégies, impliquant un conflit et un ensemble de règles. Ce concept a été mis au point par Sauvé (Sauvé et al., 2002)

- **Place des ingénieurs et formateurs de génie mécanique dans l'équipe**

Au sein des équipes ICA, CUFR et EFTS des enseignants et enseignants - chercheurs en génie mécanique ont participé à l'élaboration des objectifs pédagogiques et à la réalisation des cahiers des charges mais aussi des ressources techniques utiles à la conception. En coordination avec les enseignants en génie mécanique, un ingénieur génie mécanique⁴¹ participe notamment à la réalisation des bibliothèques techniques de ressources, des *debriefings*, du compagnonnage. L'équipe de didacticiens participe à la définition globale des objectifs pédagogiques, du compagnonnage à apporter aux apprenants (en cours ou en fin de séquence), de l'expérimentation des prototypes en situation, et de leur évaluation.

- **Place des informaticiens dans l'équipe**

Enfin, l'équipe des informaticiens CUFR et IRIT s'occupe du développement d'un prototype 3D multi-joueurs, de la création d'une bibliothèque technique et des différents tests. L'ensemble des différents acteurs dont nous venons de recenser les rôles travaille en étroite collaboration.

1.1.5. Conduite du projet Mecagenius

L'obtention du contrat de recherche par le Ministère de l'Industrie a obéi à un découpage en phases et livrables sous la responsabilité des équipes associées. Ce découpage a été effectué par le comité de pilotage. Le tableau ci-dessous présente les principales étapes. Les sous-projets sont notés « SP » suivis d'un nombre. Chaque sous-projet correspond à une étape précise que nous allons définir.

- SP1 : lancement du projet et du suivi du projet chez chaque partenaire, le suivi global par le chef de file ainsi que les réunions de pilotage.

⁴¹ Rodsphon Thomas

- SP2 : travaux autour du cadrage du projet : rédaction du plan qualité et du cahier des charges. Il a comme objectif de cadrer l'ensemble des aspects contractuels, organisationnels et méthodologiques.
- SP3 : travaux préalables à la définition de contenu. Il correspond au recueil des connaissances, à la mise en place de l'ingénierie didactique ainsi que de la conception pédagogique du jeu.
- SP4 : réalisation d'un niveau pilote du jeu.
- SP5 : réalisation des autres niveaux du jeu.
- SP6 : réalisation du "teaser"⁴² du jeu.

Sous-projets	Étapes
SP1	Suivi du projet Mecagenius
SP2	Cadrage du projet Mecagenius
SP3	Accompagnement et démarches de conception des contenus
Lot 3.1	Recueil des connaissances
Lot 3.2	Conception pédagogique et ingénierie didactique
Lot 3.3	Création d'une bibliothèque technique
SP4	Conception et réalisation d'un niveau pilote : prototype "Apprenti"
Lot 4.1	Rédaction du <i>story board</i>
Lot 4.2	Réalisation d'un <i>serious game</i> prototype
Lot 4.3	Développement
Lot 4.4	Développement d'un prototype 3D multi-joueurs
Lot 4.5	Tests
SP5	Développement des autres jeux
Lot 5.1	Rédaction des <i>story boards</i> niveau ingénieur
Lot 5.2	Intégration des scénarios
Lot 5.3	Tests
SP6	<i>Teaser</i>

Tableau 3 : Tableau des sous projets et des lots

⁴² Film de présentation de Mecagenius.

Le tableau ci-dessous présente les contributions des différents partenaires et le rôle des différents membres du projet Mecagenius. La dernière colonne de ce tableau concerne l'équipe de didacticiens. Dans le sous-projet SP 3 (Accompagnement et démarches de conception des contenus) les travaux ont consisté à produire les connaissances utiles à la conception pédagogique et didactique. Nous traitons dans les paragraphes suivants l'analyse des référentiels scolaires et professionnels et de la conception des mini-jeux.

Sous-projets	Étapes	KTM Advance	ICA Champollion	IRIT	EFTS
SP1	Suivi du projet Mecagenius	0.3	3.1	1.8	2.1
SP2	Cadrage du projet Mecagenius	0.3	2.1	0.5	0.6
SP3	Accompagnement et démarches de conception des contenus				
Lot 3.1	Recueil des connaissances	0.5	2.3	0.8	2,9
Lot 3.2	Conception pédagogique et ingénierie didactique	1	2.1	1.8	8.9
Lot 3.3	Création d'une bibliothèque technique	0	16	4.7	0.6
SP4	Conception et réalisation d'un niveau pilote : prototype "Apprenti"				
Lot 4.1	Rédaction du <i>story board</i>	0.5	11,5	5	5.5
Lot 4.2	Réalisation d'un <i>serious game</i> prototype	4	0.8	0	0.5
Lot 4.3	Développement	12	1.3	0	0.5
Lot 4.4	Développement d'un prototype 3D multi-joueurs	0	1	6.8	1
Lot 4.5	Tests	0.5	2.3	4.8	7.6
SP5	Développement des autres jeux				
Lot 5.1	Rédaction des <i>story boards</i> niveau ingénieur	0	10.4	5.5	6
Lot 5.2	Intégration des scénarios	2	0.8	0	0
Lot 5.3	Tests	0.5	3.1	5.6	7.9
SP6	<i>Teaser</i>	0.5	0.7	1	0.8

Tableau 4 : Répartition des « efforts » selon les différents partenaires

Dans cette présentation du fonctionnement de l'équipe de conception de ce projet industriel nous nous sommes attaché à poser les grandes lignes afin de mieux comprendre d'une part l'architecture du projet ainsi que ses principales étapes. Pour un complément : livrables du projet et le « macro » planning sont présentés en annexe (Cf. Annexe 2). Dans les sections qui suivent le « nous » renvoie aux différents partenaires ayant collaboré à la conception du prototype didactique Mecagenius.

1.2. Structure de Mecagenius

Le projet Mecagenius obéit à une méthode de conduite de projet qui prend appui sur plusieurs principes. En premier lieu, un découpage du projet en phases, étapes et tâches élémentaires est d'abord réalisé. A chacune des phases, des livrables sont élaborés afin de rendre compte de l'avancée du projet ; à la fin du projet un rapport final est produit (Cf. Annexe 3). Une organisation adaptée (Cf. Annexe 1 : Le fonctionnement de l'équipe de conception dans un projet industriel) permet de gérer les différentes équipes et le partenaire industriel. Le découpage du projet commence par un accompagnement et une démarche de conception des contenus en trois phases : « un recueil des connaissances », « une ingénierie didactique » et « la création d'une bibliothèque technique »⁴³. Ensuite une deuxième étape concerne la conception et la réalisation d'un prototype niveau « apprenti » qui peut se décliner de la façon suivante. La réalisation d'un *game play* puis, la réalisation d'un *serious game* prototype. Ensuite vient une phase de développement d'un prototype 3D multi-joueurs et enfin une phase de test. La dernière étape concerne le développement qui se déroule en quatre phases : la rédaction des *story boards* niveau ingénieur, le développement et l'intégration des scénarios puis les tests finaux et enfin la réalisation du *teaser*.

1.2.1. Les mini-jeux

Le prototype académique de Mecagenius s'articule autour de dix mini-jeux. La version finale de Mecagenius est composée de soixante mini-jeux, chacun étant décliné selon trois niveaux de difficultés {débutant - confirmé - expert}. Rappelons que le dispositif didactique que constitue chaque mini-jeu s'appuie d'une part sur l'analyse de l'activité en génie mécanique (Becerril Ortega, 2008), sur les propositions des ingénieurs formateurs participant au projet enfin sur des données liées au curriculum et aux besoins des enseignants. Nous en présentons les caractéristiques dans les lignes qui suivent.

Tout en conservant le même objectif pédagogique, le score réalisable est proportionnel au niveau de difficulté sélectionné. Un mini-jeu est un outil hybride agrégeant tuteur intelligent et

⁴³ Termes utilisés dans l'appel à projet 2009.

tutoriel multimédia dans un univers ludique. Il donne une représentation de connaissances expertes dans un contexte informatique combinant la scénarisation d'un univers utopique (au sens utilisé par les EIAH) et d'une ingénierie pédagogique. Ce choix a été effectué en fonction des pôles de la relation ternaire, comprenant l'élève, le professeur et les savoirs afin de pouvoir faciliter la construction de la relation didactique future. Ainsi, du point de vue du savoir, l'objectif de chaque composante ludique répond aux spécifications de la formation en termes de compétences à transmettre, ce qui a induit le choix d'un jeu de rôle pour l'apprentissage (JDRA) articulé autour d'un ensemble de mini-jeux. Cette approche a permis de cibler un large panel d'objectifs d'apprentissage tout en conservant un caractère modulaire à l'application garantissant *a minima* une certaine souplesse pour les évolutions futures : chaque mini-jeu reste atomique et pourra être utilisé soit de manière autonome soit dans un scénario ludique global. Sur un plan didactique, l'architecture permet aisément sélectionner et introduire dans une séquence de formation un panel de mini-jeux en fonction de la dynamique des situations, des connaissances visées ou des élèves concernés. Enfin, du point de vue du joueur, la conception de chaque mini-jeu a été pensée pour lui offrir un intérêt renouvelable s'il veut rejouer. En effet, l'introduction d'un certain nombre de paramètres dont les valeurs sont affectées aléatoirement lors de la phase d'initialisation d'un mini-jeu contraint le joueur à ne pas systématiser ses actions de jeu. Il est alors obligé de repenser sa stratégie en s'appuyant sur les compétences préalablement acquises pour atteindre l'objectif du mini-jeu. Par ailleurs, chaque mini-jeu a été conçu de manière à informer le joueur de ses échecs ou réussites. Pour cela, le choix a été fait de se focaliser sur la transmission de messages d'erreurs personnalisés, extraits d'une liste d'erreurs les plus fréquemment commises par les étudiants et en fonction des obstacles rencontrés. Des informations pédagogiques (*debriefing* et compagnonnage) viennent également accompagner le joueur. Cette phase-là est essentielle car elle aide à transformer une connaissance contextualisée en une connaissance applicable dans d'autres contextes. Il est possible d'institutionnaliser le savoir en jeu en utilisant cette forme de *debriefing*. Lors de la phase de conception du *debriefing* deux conditions de connaissances et de contexte ont été systématiquement implémentées comme aide à l'utilisation du jeu en situation de classe ou en autonomie. Enfin, afin d'anticiper des ajustements successifs dictés par des demandes de qualité acceptables à la fois d'un point de vue ludique, pédagogique et ergonomique, la conception et le développement des mini-jeux se sont déroulés de manière itérative et incrémentale.

1.2.2. Le méta-jeu

Selon une approche classique dans le développement des *serious games*, le principe retenu pour le prototype académique de Mecagenius est de concevoir un jeu de rôle mettant en œuvre une succession de mini-jeux au sein d'un scénario narratif global. Le méta-jeu peut être défini comme le chef d'orchestre de l'ensemble des mini-jeux. Il organise les missions entre elles et par conséquent, les mini-jeux entre eux dans un scénario narratif global. Un mini-jeu dure moins de quatre minutes, il illustre une activité pédagogique et contient un petit nombre de défis en référence aux compétences visées par la formation. La succession des défis dans le méta-jeu permet d'atteindre l'objectif plus général du méta-jeu.

1.2.3. La boîte noire : enregistrement du parcours de jeu

Pour rendre compte du parcours de l'élève dans Mecagenius en collaboration avec Catherine Lelardeux, l'équipe a élaboré un outil permettant le repérage de différents indices grâce aux traces informatiques recueillies lors de l'utilisation de Mecagenius. Le moteur de jeu enregistre de manière macroscopique, les informations relatives aux parcours du joueur dans le *serious game* (voir schéma ci-dessous). Ce dispositif que nous avons implémenté dans Mecagenius permet de connaître les mini-jeux auxquels un élève est confronté, la date de sa confrontation mais aussi les différents types d'erreurs ou de réussites obtenues. Un marqueur temporel des actions (frappes clavier, clics souris) réalisées par les élèves lors de l'utilisation de Mecagenius est enregistré sous la forme d'une liste. Des données rendent ainsi compte chronologiquement du détail de ces actions effectuées par le joueur comme par exemple le nom du mini-jeu, le type de réussite, le niveau de jeu, le nombre de parties jouées, les scores, les types d'erreurs, la date type micro, etc. Ainsi, deux types de données sont recueillis. Les premières sont liées au jeu (niveau de jeu choisi, nombre de parties jouées, scores, types d'erreurs). Les secondes, rendent compte chronologiquement du détail des actions effectuées par le joueur. Ces traces permettent de découper par parties tous les essais fructueux ou infructueux du joueur. Nous présentons brièvement sous la forme d'un schéma le dispositif permet-

tant le repérage de différents indices grâce aux traces informatiques recueillies lors de l'utilisation de Mecagenius.

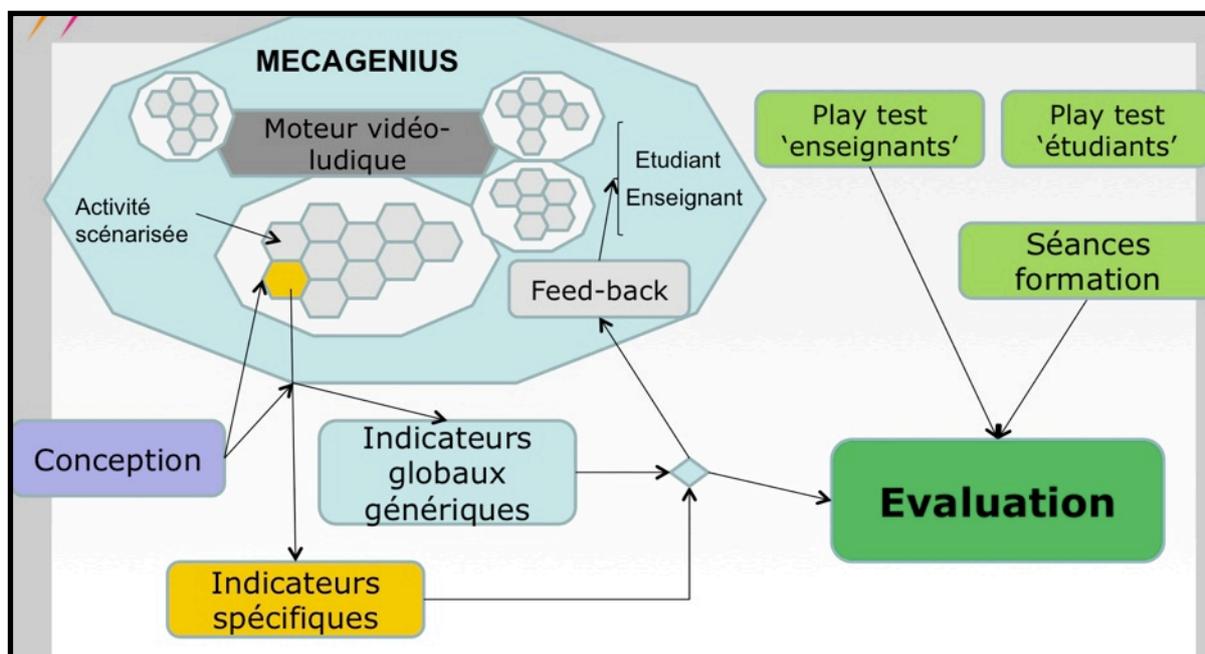


Figure 2 : Schéma de conception réalisé par Catherine Lelardeux

Dans cette recherche, nous nous sommes orienté vers une méthodologie qui puisse rendre compte de la dynamique des apprentissages au regard des savoirs visés par Mecagenius, la réussite de ce jeu conditionne les résultats globaux du joueur. Ce dispositif de *tracking*⁴⁴ permet d'évaluer le parcours du joueur dans le jeu, nous nous appuyerons sur ces fonctionnalités dans l'étude empirique présentée dans le chapitre 3 des résultats.

2. Postures de recherche

Dans le développement de ce projet industriel nous avons été amené à assumer différentes postures de recherche. Cette section a pour but de permettre de mieux cerner les modalités de notre implication. Nous avons indiqué (Cf. Chapitre 3 : Economie générale de la thèse) que cette recherche se situait principalement dans l'entrée thématique 1 de notre unité de recher-

⁴⁴ Dispositif mis en œuvre pour obtenir le parcours du joueur dans le *serious game*.

che⁴⁵, entrée qui s'intéresse aux phénomènes didactiques. D'une certaine manière, cette thèse traite aussi, même si c'est de façon un peu plus lointaine, de certaines problématiques de l'entrée thématique 4 "Conduite et accompagnement du changement", non pas parce qu'elle a pour objectif d'accompagner les enseignants dans l'usage du *serious game* mais parce qu'elle peut permettre d'identifier certaines conditions de cet accompagnement à partir de l'observation des effets du changement introduit. Nous rejoignons Marcel (2010) lorsqu'il considère nécessaire dans une recherche en sciences de l'éducation de bien distinguer les postures de recherche notamment celles qui relèvent de l'action sur le système de celles qui relèvent de l'analyse de ce système. Il nous semble pertinent de revenir ainsi sur notre positionnement (en fonction des différentes étapes du projet Mecagenius que nous avons abordées dans les lignes qui précèdent), avant d'exposer la problématique générale de la thèse.

Le tableau ci-dessous rassemble de manière synthétique les différentes postures de recherche endossées au regard des trois programmes (épistémologique, didactique et cognitif) qui structurent ce travail. Comme nous l'avons évoqué en introduction, notre implication dans ce projet industriel sont à la fois celle d'un concepteur de ressources pour l'enseignement et l'apprentissage, et celle d'un chercheur en intelligibilité visant à décrire et comprendre les usages d'un *serious game* en classe ordinaire. Nous présentons de façon ramassée dans les cases grisées quelle a été notre contribution et notre travail au regard des différentes étapes du projet Mecagenius.

Principales étapes du projet Mecagenius	Conception - collaborative : Posture de chercheur concepteur (" <i>pour</i> ")	Evaluation des usages en classe : Posture de chercheur observateur (" <i>sur</i> ")
Accompagnement et démarches de conception des contenus Recueil des connaissances	Programme épistémologique Analyse des référentiels en lien avec les connaissances produites en didactique professionnelle sur l'activité des opérateurs	Programme didactique Analyse des besoins des enseignants Repérage des obstacles en d'apprentissage en génie mécanique
Conception pédagogique et ingénierie didactique	Programme épistémologique Repérage des enjeux épistémiques et conception des différents mini-jeux	
Création d'une bibliothèque technique		
Conception et réalisation d'un niveau pilote : prototype "Apprenti"		
Rédaction du <i>story board</i>		

⁴⁵ Laboratoire EFTS, "Education - Formation - Travail - Savoir". UMR EFTS MA 122 qui est structuré en quatre entrées thématiques.

Réalisation d'un <i>serious game</i> prototype Développement	Programme épistémologique Repérage des enjeux épistémiques et conception des différents mini-jeux	
Développement d'un prototype 3D multi-joueurs		
Tests des prototypes en situation d'enseignement et en situation d'apprentissage		Articulation du programmes didactique et du programme cognitif Premiers essais de recueil de traces
Développement des autres jeux Rédaction des <i>story boards</i> niveau ingénieur Intégration des scénarios	Programme épistémologique Repérage des enjeux épistémiques et conception des différents mini-jeux	
Essai et évaluation en grandeur nature des usages de Mecagenius en classe		Programmes didactique & cognitif Observation des pratiques enseignantes dans les trois sites Observation des stratégies de jeu d'un panel d'élèves contrastés
<i>Teaser</i>		

Tableau 5 : Postures de recherche selon les différents programmes

Dans une posture de didacticien concepteur, nous avons tout d'abord développé le programme épistémologique lors de la conception de Mecagenius. Cette étape correspondait à une demande industrielle, mais elle a permis aussi de caractériser les savoirs cristallisés dans Mecagenius pour pouvoir en tenir compte lors de l'étude de ses usages par les élèves et les professeurs. C'est dans un second temps que, selon une posture en intelligibilité, nous avons observé les manières dont enseignants et élèves utilisent Mecagenius. Nous avons donc, suivant les moments du développement de Mecagenius, agi en tant que chercheur "pour" en référence de que Marcel (2010) appelle "une posture d'expertise" tantôt en tant que chercheur selon un objectif plutôt heuristique c'est-à-dire toujours ce même auteur visant à connaître. Comment s'articulent ces deux temps de la recherche ? La présentation de la problématique de recherche qui sous-tend le travail dans la section suivante nous amènera à répondre à cette question.

3. Problématique et questions de recherche

Notre problématique de recherche consiste à rendre compte des phénomènes transpositifs à l'œuvre lors de situations d'enseignement apprentissage mettant en jeu un *serious game* dédié au génie mécanique. Comme nous l'avons souligné en introduction, s'il existe beaucoup de travaux sur les *serious games* (Cf. Etat de l'art sur les jeux vidéo et les jeux sérieux en contexte éducatif), peu de chercheurs se saisissent des questions didactiques posées par la conception de ces artefacts ni ne s'intéressent aux interactions qui président à leurs usages en situation d'enseignement formel⁴⁶.

Pour notre part, nous nous inscrivons dans cet espace laissé en jachère, pour mener une recherche visant à observer, décrire et expliquer à partir d'une analyse *in situ* l'utilisation de Mecagenius en contexte d'enseignement. Afin de « nourrir » cette problématique, il nous est apparu pertinent de repérer et d'étudier les manières de faire des professeurs et des élèves au regard des enjeux épistémiques portés par ce *serious game*. Que se passe-t-il et que se joue-t-il dans l'action didactique conjointe professeur-élèves lors de séances d'enseignement intégrant l'utilisation de l'artefact Mecagenius ? Cette question centrale n'est pas indépendante du projet de recherche-développement qu'est Mecagenius comme nous avons eu l'occasion de l'exprimer en début du cadre théorique (Cf. Chapitre 2).

Rappelons que Mecagenius a été conçu, entre autre, pour mettre à disposition des enseignants un jeu sérieux qu'ils pourront intégrer dans leurs cours en fonction des objectifs d'enseignement et d'apprentissage qu'ils se donnent.

Dans le cadre conceptuel du chapitre précédent, nous évoquons l'idée que l'artefact que constitue un *serious game* pouvait permettre d'accéder au fonctionnement du système didactique afin de mettre au jour certains phénomènes transpositifs relatifs à l'usage des *serious games*. En nous appuyant sur Schubauer-Leoni et Leutenegger (2005), nous avons considéré que ce projet imposait de mener différentes études sous couvert des trois programmes⁴⁷ décrits par ces auteurs. Pour donner à voir notre intention de recherche nous reprenons le schéma concluant le cadre conceptuel, afin de montrer en quoi les trois études effectuées concourent à la problématique générale de cette thèse.

⁴⁶ Un atelier dont la thématique est : « *serious games*, jeux épistémiques numériques. Méthodologie de recherche pour l'étude des interactions. » se déroulera à la conférence EIAH 2013 du 29 au 31 mai 2013.

⁴⁷ Épistémologique, didactique et cognitif.

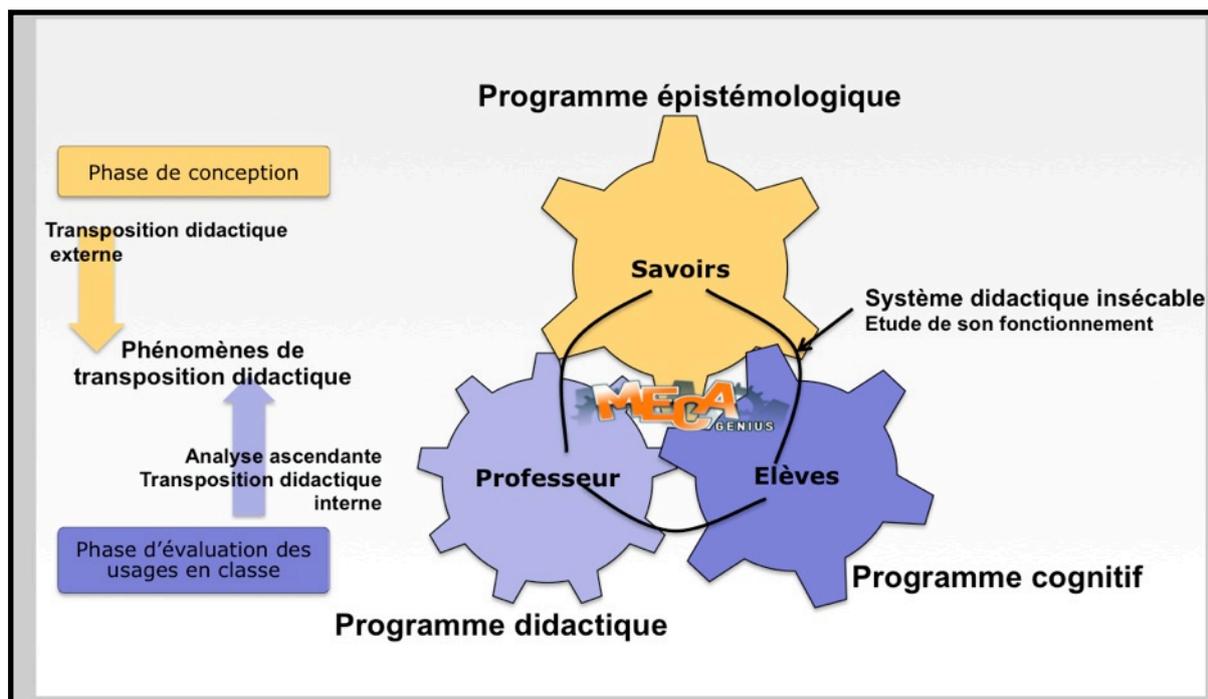


Figure 3 : Contribution à l'étude des phénomènes transpositifs mettant en jeu un *serious game*

Dans cette figure, les trois traits noirs relient les trois sous-systèmes interdépendants que sont le professeur, le savoir et les élèves, circonscrivant le système didactique aux prises avec Mecagenius (positionné au centre de la figure). Chacun de ces sous-systèmes est inclus dans une roue dentée qui renvoie à chacun des programmes. Nous faisons ainsi un clin d'œil en référence aux engrenages qui symbolisent la discipline du génie mécanique. Mais au-delà, cet engrenage rappelle la nécessité d'articuler ces trois programmes pour documenter les phénomènes transpositifs. A chacun d'entre eux correspond une étude empirique, l'ensemble des trois constitue le cœur de notre recherche. La mise en synergie de ces études relevant de registres de descriptions différentes nous permettra d'étudier le processus complexe de transposition didactique. Leur articulation permet de « mettre au travail » toute la chaîne transpositive : de la transposition didactique externe (phase de conception) à l'étude des phénomènes transpositifs tel qu'identifiés par une analyse ascendante des usages du *serious game* en classe. Nous nous situons là au niveau de la transposition didactique interne (Chevallard, 1991). Le travail du didacticien chercheur consiste ici à rendre compte des processus interactionnels (phase d'évaluation des usages en classe dans la figure ci-dessus) à la lumière de l'analyse épistémologique réalisée dans la phase de conception à propos des savoirs cristallisés dans Mecagenius

Pour conclure sur la problématique de recherche qui relie les trois études nous voulons, à cette étape de la discussion, préciser que le développement des programmes didactique et cognitif doit nécessairement s'appuyer sur des analyses *a priori* des dispositifs didactiques que sont les mini-jeux constitutifs du *serious game*⁴⁸. Ces derniers conçus à partir d'une analyse de l'activité de génie mécanique intégrant aussi l'analyse des curriculums et les besoins des enseignants qui ont permis de spécifier certains enjeux de savoirs visés par les programmes ainsi que les difficultés rencontrées par les enseignants dans l'enseignement du génie mécanique.

D'une manière générale, pour faciliter la lecture des résultats nous avons choisi de présenter les analyses *a priori* des différents dispositifs didactiques (mini-jeux) qui sont mobilisés par les enseignants (programme didactique) ou auxquels sont confrontés les élèves (programme cognitif) à chaque niveau de la présentation des résultats. Par ailleurs, les éléments de l'étude épistémologique seront convoqués pour interpréter les données de l'analyse ascendante menée dans les classes observées.

Pour résumer les questions qui orientent la recherche sont les suivantes :

- Concernant l'analyse épistémologique (première étude)
 - En quoi l'analyse épistémologique détermine-t-elle certains types de mini-jeux ?
 - Quelles sont les contraintes transpositives qui pèsent sur la conception du *serious game* ?
 - Quelles conséquences pouvons-nous tirer de ces analyses dans une perspective de conception des *serious games* ?

- Concernant l'analyse didactique des usages en classe
 - Quels sont les usages de Mecagenius par les enseignants et les élèves en lien avec les enjeux épistémiques cristallisés dans les mini-jeux ?
 - Comment sont exploités les milieux didactiques fournis par Mecagenius ? Avec quels effets dans le fonctionnement du système didactique ?

⁴⁸ Nous rappelons que ces dispositifs didactiques se sont appuyés sur une recherche antérieure menée dans le cadre de la didactique professionnelle qui nous a permis de construire les mini-jeux notamment « *le roi de la Pref* » et « *l'as de la fab* » à partir des concepts pragmatiques mis en évidence dans la thèse de Becerril Ortega (2008).

- Concernant l'analyse des stratégies des élèves confrontés à Mecagenius
 - Quelles sont les difficultés, voire les obstacles rencontrés par les élèves au regard des acquisitions visées par Mecagenius ?
 - Mecagenius contribue-t-il à l'avancée des connaissances au regard des savoirs cristallisés dans ce jeu sérieux ?

Chacune de ces études (épistémologique, didactique et cognitive) vise à produire des connaissances sur le fonctionnement des systèmes didactiques observés. L'ensemble ambitionne de développer une meilleure connaissance des pratiques telles qu'elles existent dans leur diversité. A la suite de Bru (2002) nous pouvons dire que la visée de cette recherche est exploratoire et consiste à « rassembler et confronter des éléments de description, de compréhension et d'explications relatives aux pratiques d'enseignement [et d'apprentissage] » (p. 69) utilisant les potentialités d'un *serious game* (dans ce cas dédié au génie mécanique). La visée plus générale est d'identifier quelles sont les conditions d'usage en contexte scolaire et universitaire de ce type d'artefact. Venons-en maintenant aux méthodes mises en œuvre.

Chapitre 4 : Méthodes de recherche mises en œuvre

Dans ce chapitre, nous décrivons les méthodologies mise en œuvre lors des trois études correspondant aux trois programmes (épistémologique, didactique et cognitif) qui structurent le travail empirique de cette thèse.

L'articulation des trois études empiriques vise comme nous l'avons développé dans la section précédente à rendre compte des phénomènes de transposition didactique à l'œuvre dans la phase de conception puis dans la phase d'évaluation des usages d'un *serious game* en situation d'enseignement. A chacune de ces études correspondent des méthodes spécifiques que nous explicitons dans les sections suivantes.

1. Méthodes mises en œuvre relativement au programme épistémologique

Dans cette phase de développement de Mecagenius, notre posture est celle de l'ingénieur formateur en génie mécanique. En appui sur les travaux antérieurs (Becerril Ortega, 2008, ERTé *Mouv*) et sur deux études originales portant sur les curriculums et sur les besoins des enseignants, l'étude a consisté à identifier les savoirs que les élèves devront rencontrer lors de l'utilisation de Mecagenius. L'idée étant, à partir du profil épistémologique d'un enjeu de savoir du génie mécanique, de qualifier les situations spécifiques qui devront être implémentées dans le *serious game* afin d'engager par la suite l'analyse des observations de pratiques didactiques ordinaires réalisées *in situ*. L'objectif de l'équipe pluridisciplinaire est de construire un jeu sérieux privilégiant la qualité pédagogique tout en maintenant l'aspect vidéo ludique. Mais avant de construire les scénarios, il faut passer par une phase de conception répondant au mieux aux attentes des utilisateurs. Le problème que nous avons à traiter est le suivant comment intégrer au mieux les compétences critiques de génie mécanique dans un jeu sérieux ? Quelles compétences doit-on inclure, comment les sélectionner ? Pour répondre à ces questions, nous avons d'une part exploité des données antérieures d'une recherche en didactique professionnelle, que nous avons complétée selon deux voies : le repérage des savoirs proposés par les curriculums au lycée et à l'université et la prise en compte des attentes et des besoins des enseignants. Nous avons présenté, dans le cadre conceptuel, les emprunts effectués à la recherche *Mouv*. Dans les sections suivantes nous expliquons comment nous avons analysé les « savoirs à enseigner » des référentiels de génie mécanique pour construire la hiérarchie des mini-jeux au sein de Mecagenius. Ensuite, nous montrons comment nous avons pris en compte le point de vue des futurs utilisateurs de

Mecagenius. Au-delà, de leur contribution à la phase de conception, nous considérons que ces deux études empiriques documentent ainsi notre problématique au niveau de la transposition didactique externe.

1.1. L'analyse des référentiels scolaires et professionnels

Mecagenius ayant pour vocation d'être utilisé pour l'enseignement, sa conception s'appuie à la fois sur des référentiels de compétences mais aussi sur les pratiques des enseignants. Dans cette section nous allons aborder l'analyse des référentiels scolaires et professionnels. Comme nous avons eu l'occasion de l'exprimer précédemment, une des tâches de l'équipe de didacticiens dans le sous-projet SP 3 (Accompagnement et démarches de conception des contenus) concernait le recueil des connaissances en vue de la conception des mini-jeux. Dans cette section, nous explicitons la démarche que nous avons suivie. Dans un premier temps, nous présentons comment nous avons identifié les savoirs à enseigner ainsi que les compétences à acquérir. Dans un deuxième temps, nous abordons la conception des mini-jeux à partir de ce travail d'identification. Le choix et l'organisation des contenus disciplinaires, ici des contenus de génie mécanique, occupent une place cruciale dans la conception de Mecagenius.

La première étape de recherche se focalise sur l'identification puis l'organisation des contenus. Comme nous l'avons mentionné précédemment (Cf. Chapitre 3.1.2 du cadre conceptuel) « la notion de contenus renvoie à des choses aussi diverses que les savoirs, les savoirs faire ou les compétences qui sont les objets d'enseignement et/ou d'apprentissage les plus identifiables dans un système didactique, mais aussi des valeurs, des pratiques, des « rapports à », voire des comportements ou des attitudes » (Reuter et al., 2007). Mecagenius ayant pour objectif d'être diffusé dans les institutions scolaires de différents niveaux, l'identification des contenus doit, au-delà de l'analyse des compétences critiques telle que produite dans la recherche *Mouv*, inclure l'analyse de curriculums existants. A la suite de Lebeaume (2010), nous pensons qu'il est important d'examiner à l'échelle curriculaire l'ensemble des choix opérés aux différents segments de l'enseignement (ici scolaire et universitaire). Le génie mécanique étant enseigné à partir de la classe de seconde, les curriculums que nous avons analysés débutent à ce niveau et se poursuivent jusqu'aux écoles d'ingénieurs. Pour le lycée

nous avons pris en compte les programmes de génie mécanique en vigueur au moment de notre étude. Dans les Instituts Universitaires de Technologie (IUT), nous nous sommes appuyés sur les référentiels recensant les formations du domaine du génie mécanique et les compétences à acquérir (PPN). Pour l'enseignement supérieur, ce sont les fiches du Répertoire National des Certifications Professionnelles (RNCP) des formations universitaires et des formations dans les écoles d'ingénieurs recensant les différentes compétences acquises à l'issue des formations qui nous ont guidées. Par ailleurs, nous avons aussi pris en compte une série de fiches de Certificats de Qualification Paritaire de la Métallurgie (CQPM) validées nationalement par les experts métiers des domaines (Union des Industries et des Métiers de la Métallurgie, UIMM). Ces fiches fournissent de manière parcellaire quelques éléments sur les compétences attendues. A notre connaissance, aucun référentiel européen n'a été établi dans ce domaine autant au niveau industriel qu'au niveau académique.

L'analyse des différents textes a consisté à identifier les compétences attendues en génie mécanique à ces différents niveaux de formation⁴⁹ puis à hiérarchiser ces compétences pour les distribuer dans le méta-jeu.

Pour ce faire, nous avons effectué en partenariat avec Olivier Baptista un regroupement, en modules, de l'ensemble des compétences nécessaires à la sensibilisation ou la maîtrise du champ concerné (méthodes, métrologie, ...). Ce travail a permis de créer les niveaux de jeux⁵⁰ « apprenti, confirmé, expert ». Pour chaque module (par exemple : « outils et langages de l'ingénierie mécanique »), nous repérons les activités pédagogiques possibles (qui mobilisent les connaissances antérieures et les savoirs composants la compétence visée) ce qui nous permet de lister les activités à proposer selon les niveaux de jeu. Enfin, un tri topologique⁵¹ est réalisé. Il permet de construire des graphes de compétences où interviennent ces différentes activités que nous ordonnons en relation avec les modules retenus. L'ensemble de ces graphes contribue à structurer Mecagenius.

⁴⁹ Notre étude prolonge celle de Becerril Ortega (2008) sur l'étude des curriculums universitaires.

⁵⁰ La sensibilisation correspondra au niveau de jeu « apprenti » ; la maîtrise de la compétence relève du niveau de jeu « expert ».

⁵¹ Au sens « de structure où interviennent des propriétés dans un ensemble » (Petit Robert 1988).

1.2. L'étude des besoins des enseignants

La deuxième étude a consisté à identifier quelles sont les difficultés rencontrées par les enseignants lorsqu'ils enseignent le génie mécanique. Il s'agissait de prendre en compte ces éléments pour concevoir un jeu sérieux le plus adapté possible à leurs attentes mais aussi pour prendre en considération les usages potentiels qu'ils pourraient en faire. Le repérage des difficultés et des obstacles à l'enseignement nous paraissait une donnée importante pour traiter des usages de l'artefact dans les pratiques ordinaires. Mecagenius ayant pour vocation d'être utilisé dans différents contextes de formation, la prise en compte de la composante « enseignant » s'avérait cruciale. Pour ce faire, le choix a été fait de réaliser une enquête par entretien afin de recenser les points de vue des enseignants de génie mécanique ainsi que leurs attentes au regard de l'usage des jeux sérieux dans leur enseignement. Du point de vue de la conception de Mecagenius, nous souhaitons, au travers de cette étude, anticiper de futures utilisations en termes de conditions et de moyens à prendre en compte susceptibles de participer à la faisabilité et la viabilité de ce projet.

1.2.1. Construction de la grille d'entretien

La grille d'entretien explore trois axes en lien avec les pôles de la relation didactique {élève - professeur - savoirs}. Les apprentissages attendus, les pratiques d'enseignement ainsi que les difficultés rencontrées par les apprenants et enseignants ont été ciblés par cette grille d'entretien.

- La première partie de cette grille d'entretien concerne les références personnelles et professionnelles des enseignants de génie mécanique : elle est destinée à caractériser cette population. Les critères retenus pour ce repérage sont le statut (enseignant ou enseignant chercheur), le niveau enseigné et la spécialité enseignée dans le génie mécanique. Une rubrique sur les enseignements dispensés permet également de repérer les différents enseignements donnés par les enseignants interrogés.
- La deuxième partie de cette grille d'entretien concerne la question du savoir relatif à l'enseignement du génie mécanique. Elle a pour but d'identifier chez les enseignants

quels sont les savoirs de référence (savant, culturel, expert) qu'ils mobilisent et quels sont ceux qu'ils enseignent. Elle permet enfin de prendre en compte certains aspects d'ordre didactique. L'objectif est ici de recenser les principales difficultés que rencontrent les élèves ou les étudiants selon les enseignants interrogés mais aussi les difficultés de cet enseignement.

- La troisième partie s'oriente vers des questions plus spécifiques concernant les enseignements relatifs aux machines-outils à commande numérique (MOCN) dans la mesure où ces machines supposent l'acquisition de compétences critiques (Becerril Ortega, 2008) que Mecagenius a pour but de développer. Nous avons donc cherché à voir quelle place occupe l'enseignement sur les machines-outils dans la discipline. Nous recensons les objectifs pédagogiques que les enseignants se fixent dans le cadre de leur enseignement sur les MOCN et quelle importance ils y accordent par rapport à l'enseignement du génie mécanique. Ces éléments visent à documenter la composante relative à la question des savoirs et des savoirs-faire à implémenter dans le *serious game*.
- Enfin, la quatrième et dernière rubrique est orientée vers les jeux : elle vise à nous renseigner dans un premier temps sur leur pratique des jeux vidéo ludiques. Nous souhaitons aussi connaître leur opinion sur les jeux sérieux afin de retenir les éléments significatifs à leurs yeux pour pouvoir en tenir compte lors de la conception de Mecagenius.

1.2.2. Tester la grille d'entretien

Nous avons réalisé un essai auprès de deux enseignants afin de vérifier la validité de nos questions. Nous sommes conscient que la distribution des réponses est fonction de formulation des questions, c'est pour cela que nous avons réalisé ce pré-test. Notre objectif était de vérifier que tous les aspects visés étaient abordés et que l'ensemble de nos questions étaient pertinentes pour les personnes interrogées. Cela nous a permis de mesurer par la même occasion les temps de réponses afin de pouvoir en informer les enseignants avant de leur soumettre l'entretien. A l'issue de ce travail, nous avons recueilli des informations qui nous ont permis d'affiner, de recomposer et retravailler notre grille d'entretien afin de pouvoir la compléter. (Cf. Voir en annexe 6, le guide d'entretien final utilisé pour l'enquête).

1.2.3. Le recueil des données

Nous avons effectué un entretien auprès de neuf enseignants de génie mécanique volontaires issus de toutes les formations auxquelles Mecagenius est susceptible de s'adresser : lycée, IUT, Université, INSA et ENI. Les neuf sujets enquêtés appartiennent à différentes régions géographiques de France⁵². Ce choix a été privilégié car il permet de recueillir différents discours permettant d'atténuer les effets locaux de l'industrie proche ou de l'institution en termes d'influence ou d'orientation des réponses. L'objectif premier de cet entretien rappelons-le, est d'intégrer dans la conception de Mecagenius les besoins et attentes des enseignants dans une perspective de transposition didactique externe.

1.2.4. Le traitement des données

L'ensemble des entretiens ont été transcrits verbatim et rassemblés dans un dossier qui constitue le corpus analysé (Cf. Annexe 7). Pour traiter ces données nous avons choisi d'utiliser le logiciel ALCESTE qui repose sur un découpage lexicographique du corpus. Le logiciel propose un traitement statistique des données à partir d'une classification hiérarchique descendante et d'une analyse factorielle des correspondances. L'ensemble permet d'identifier des univers de pensée ou d'opinions et d'établir des classes d'énoncés significatifs en fonction de la distribution du vocabulaire. Le logiciel ALCESTE⁵³ permet aussi de vérifier leur dépendance mutuelle tout en identifiant le vocabulaire dominant (Cf. Annexe 8 : Rapport de synthèse d'ALCESTE).

Pour conclure, les méthodes mises en œuvre dans ces deux études, ont permis d'une part d'effectuer certains choix transpositifs au niveau de la conception du *serious game*, d'autre part, de disposer d'informations auxquelles est confronté le deuxième temps de cette recherche transpositive, celui des études en classe. Venons en maintenant à la description des méthodes utilisées dans ces études.

⁵² Académies de Bordeaux, de Clermont-Ferrand et de Toulouse.

⁵³ ALCESTE : « Analyse des Lexèmes Concurrents dans les Énoncés Simplifiés d'un Texte » est un logiciel d'analyse textuelle

2. Méthodes mises en œuvre pour la contribution au programme didactique

Dans cette section nous présentons les méthodes mises en œuvre pour la contribution au programme didactique. C'est-à-dire celles qui nous ont permis d'analyser les usages didactiques de l'artefact Mecagenius par les professeurs dans leurs classes. Les méthodes utilisées relèvent d'une approche ascendante de la transposition didactique. Elles ont pour but de produire des informations sur les phénomènes de transposition didactique interne.

2.1. Contexte de l'étude

Rappelons le contexte de l'étude et la nature du projet car il justifie en partie la méthodologie que nous avons conçue. L'ensemble des professeurs a eu à disposition 8 mini-jeux qui constituaient, au moment du recueil des données, le prototype Mecagenius, au début de l'année scolaire 2011.

Mini-jeux proposés	Enoncés correspondants
• "Toucher pièce"	<i>Utilise la machine-outil et palpe la face avant de la pièce à 0,2 mm près en un minimum de coups.</i>
• "Le roi de la pref"	<i>Palpe la face avant de la pièce à 10 microns près en un minimum de coups. Calcule la prise de référence.</i>
• "Circuit de Mini F1"	<i>Sois le plus rapide pour garer la mini F1 au stand en utilisant l'interface d'une machine-outil.</i>
• "Les porte-outils"	<i>Associe l'image du porte-outil à son nom.</i>
• "Les équipements"	<i>Découvre les équipements : outils, porte-outils, porte-pièces.</i>
• "Procédés d'usinage"	<i>Classe les outils et les pièces en fonction du protocole d'usinage.</i>
• "L'armoire des porte-outils"	<i>Aide à ranger chaque porte-outil à sa place.</i>
• "L'as de la fab"	<i>Sois le plus rapide pour usiner le plus de pièces possible.</i>

Tableau 6 : Mini-jeux proposés aux enseignants

Nous avons attribué à chacun des enseignants impliqués dans cette recherche un *login* et un mot de passe afin qu'ils puissent découvrir et utiliser à leur guise Mecagenius. Ensuite, nous leur avons demandé de programmer dans l'année scolaire une ou plusieurs séances avec Mecagenius, c'est-à-dire de choisir des activités utilisant les mini-jeux à leur disposition et une plage de temps durant laquelle ils seront proposés aux élèves. Ce libre choix laissé aux enseignants a induit des temps d'utilisation très courts, de l'ordre d'une à deux séances, sauf dans un cas que nous verrons plus tard. Nous ne disposons donc pas de cycle « longs » permettant une étude diachronique sur plusieurs séances. Les données recueillies portent le plus souvent sur une seule séance voire deux séances dont la première est une séance de découverte et de test. Ce constat a eu pour conséquence des adaptations méthodologiques que nous décrivons ci-après.

2.2. Le recours à une méthodologie d'observation du didactique ordinaire

Le fait de proposer aux enseignants d'utiliser Mecagenius sous leur propre responsabilité a créé les conditions expérimentales dont Leutenegger (2003) montre tout l'intérêt lorsqu'il s'agit de mener des comparaisons inter-sites, ce qui est le cas dans notre recherche. Dans le contexte particulier que constitue l'utilisation de Mecagenius en classe, où l'action conjointe du professeur et des élèves peut être sporadique lorsque les élèves jouent en autonomie, observer le didactique pose des problèmes particuliers. Nous nous sommes donc inspiré du protocole dit « clinique expérimentale » décrit par cet auteur, mais compte tenu du contexte d'utilisation du *serious game* proposé par les enseignants (en autonomie partielle ou totale, en présentiel) nous avons dû adapter la manière de mener l'analyse clinique du système observé. Quels sont ces aménagements ?

2.2.1. Les sites d'observation

Le tableau ci-dessous présente l'ensemble des séances qui se sont déroulées dans trois sites : au lycée, à l'IUT et à l'université. Il indique également, en fonction de ces sites, le nombre d'élèves qui ont utilisé Mecagenius ainsi que les enseignants correspondants.

Sites	Profs	Nombre d'élèves
Lycée	E1	12
Lycée	E2	13
IUT	E1	14
IUT	E2	20
Université L3	E1	Groupe A : 8 ; Groupe B : 9 ; Groupe C : 8 ; Groupe D : 10
Université L3	E2	Groupe E : 8 Groupe F : 11
Université L3	E2	Groupe G : 12 Groupe H : 10

Tableau 7 : Différents sites d'observation et les acteurs impliqués

2.2.2. Modalités de recueil des données

Le protocole méthodologique inspiré des principes développés par Leutenegger (2003) a été adapté à la spécificité de la recherche. Ce protocole, dont la fonction est d'accéder à la dynamique du fonctionnement didactique, se décline en différentes étapes que nous développons ci-dessous : un entretien avec l'enseignant avant chaque séance (entretien *ante* séance) puis une observation de l'activité telle que réalisée en classe (enregistrement audio et vidéo) accompagné de films « au vol » de l'enseignant. Enfin un entretien a posteriori (entretien *post* séance) est mené avec l'enseignant à l'issue de chaque séance.

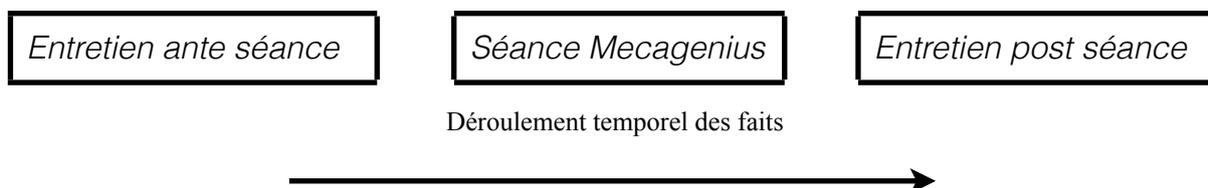


Figure 4 : Schéma du recueil des données adapté de Schubauer-Leoni et Leutenegger (2002)

2.2.2.1. Entretien *ante* séance

Avant chaque séance d'utilisation de Mecagenius nous avons conduit un entretien avec les enseignants concernés. Cet entretien semi-directif (Cf. Annexes 9 à 19) permet de caractériser les apprentissages visés, les intentions didactiques des professeurs. Une des finalités est aussi d'essayer de comprendre la nature du projet de l'enseignant, la manière dont il pense organiser la séance à venir et comment il compte mettre en œuvre Mecagenius avec ses élèves. D'autre part, cet entretien *ante* séance permet de caractériser les apprentissages visés et leur

adéquation avec les mini-jeux choisis. Enfin, il est demandé aux enseignants de désigner deux élèves contrastés rendant compte de deux positions représentatives du niveau d'excellence dans la classe : le premier est déclaré « *sensé suivre sans problèmes* » par son enseignant et le deuxième élève est déclaré « *avoir des difficultés en génie mécanique* » (Schubauer-Leoni et Leutenegger, 2002). Ce « carottage » selon l'expression de ces auteurs permet d'accéder à certains aspects du fonctionnement du système didactique que nous exploiterons de façon plus approfondie dans la troisième étude empirique.

2.2.2.2. Déroulement des observations

Les observations *in situ* de la manière dont les enseignants utilisent Mecagenius permet d'observer le fonctionnement du système didactique aux prises avec l'artefact. La figure ci-après présente les modalités de saisie des données vidéo et audio.

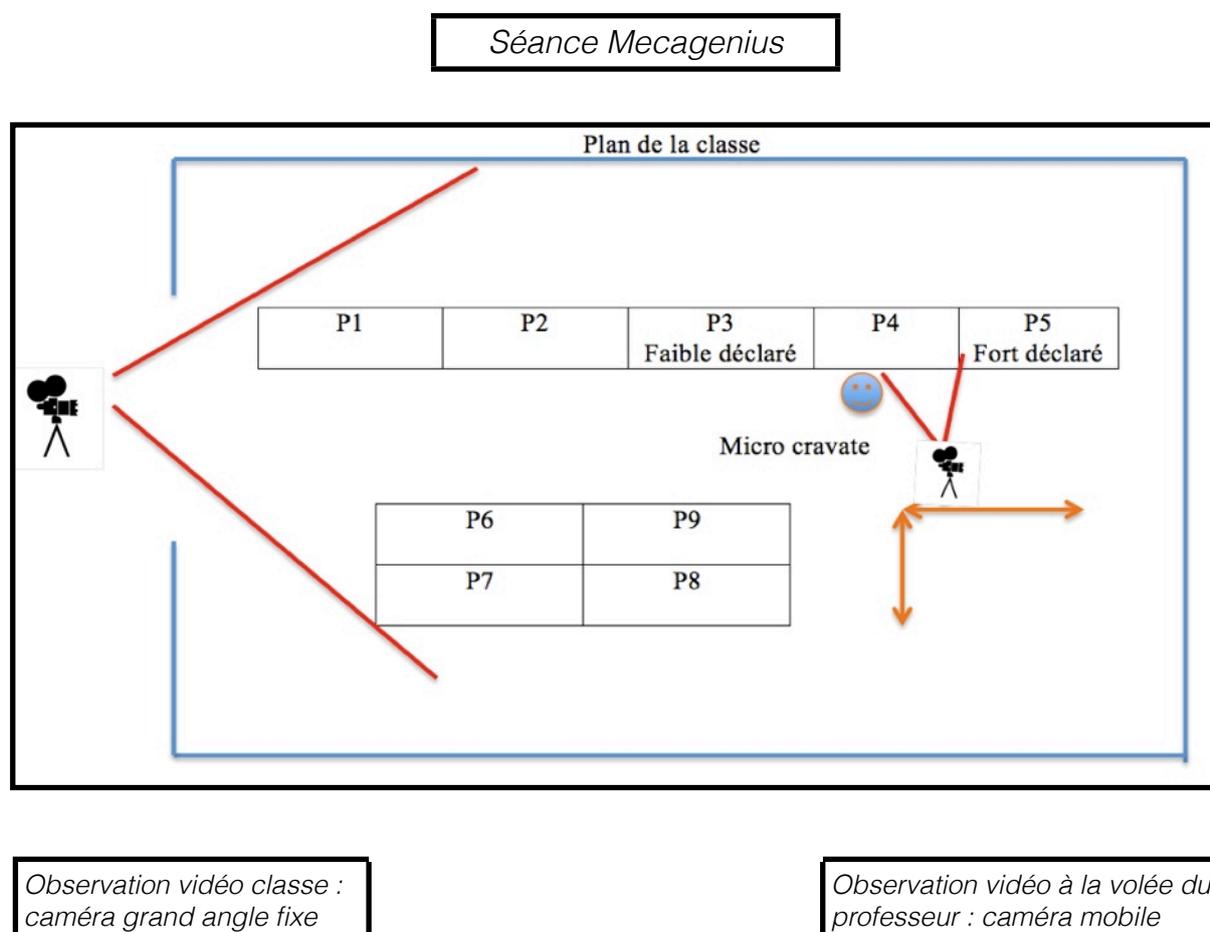


Figure 5 : Schéma des séances observées

Dans les utilisations de Mecagenius auxquelles nous nous intéressons ici, l'élève travaille en classe individuellement sur un poste informatique et sur des séances programmées. Selon la consigne du professeur, l'élève est amené à utiliser un ou plusieurs mini-jeux chacun étant caractérisé par un titre et un énoncé correspondant (Cf. Tableau 6). Nous avons observé et filmé des enseignants utilisant Mecagenius dans ces différentes institutions (lycée, IUT et Université) selon un même dispositif. Une caméra grand angle permettait de filmer la classe entière, cette dernière était reliée à un micro HF qui était porté par le professeur. Une caméra mobile enregistrait « au vol » les faits et gestes du professeur. Concernant les différents entretiens que nous avons effectués, ces derniers étaient enregistrés par un dictaphone.

2.2.2.3. Entretien *post* séance

A la fin de la séance nous avons conduit un entretien « à chaud » avec le professeur, c'est-à-dire dans un laps de temps après chaque séance n'excédant pas la journée (Cf. Annexes 20 à 28). La fonction de cet entretien est de connaître les réactions du professeur à propos de l'activité didactique. Grâce à cet entretien, nous avons souhaité accéder à ce que le professeur a pensé de cette séance et accéder à son rapport au savoir lié à son expérience avec Mecagenius. Les données recueillies nous permettent d'essayer de comprendre au regard des activités didactiques proposées la mise en œuvre et l'utilisation de Mecagenius en classe.

2.3. Traitement des données d'observation

Le traitement des données a été mené à deux niveaux : une analyse macroscopique et une analyse microdidactique que nous décrivons dans ce qui suit.

2.3.1. L'analyse macroscopique des observations

C'est à partir d'une analyse macroscopique que nous avons entrepris de comprendre l'étude du fonctionnement du système didactique aux prises avec l'artefact Mecagenius. Nous rappelons que notre objectif consiste à décrire et comprendre, à partir d'une analyse *in situ* de l'uti-

lisation de Mecagenius en contexte d'enseignement, les actions du professeur et des élèves au regard des enjeux épistémiques de savoir visés par Mecagenius. Nous avons donc besoin de rendre compte de l'inventivité que les enseignants déploient lorsqu'ils intègrent Mecagenius dans leur activité didactique. Nous nous attachons à montrer comment ils explorent, utilisent et transforment à la fois l'environnement technique et organisationnel. L'analyse macroscopique nous permet de pointer comment Mecagenius a été utilisé au lycée, à l'IUT ainsi qu'à l'université. Les grains de descriptions retenus sont : le contexte de l'activité didactique, la séance réalisée par l'enseignant, la structuration des contenus d'enseignement et le style d'intervention de l'enseignant. Ainsi cette analyse macroscopique nous permet d'examiner successivement les contenus d'enseignement relatifs à chaque mini-jeu et aux objets de savoir de génie mécanique, de rendre compte du style didactique et pédagogique (Lesne, 1977 ; Altet, 1990) des enseignants observés.

Le premier temps de l'analyse macroscopique est réalisé à partir d'une analyse flottante des vidéo pour dégager un certain nombre d'hypothèses, d'interprétations. Ces dernières seront ensuite confirmées par une triangulation de moments très brefs de ces vidéo suivant les différents sites (lycée, IUT ou université) avec des données issues des entretiens *ante* et *post* séances ce qui sera l'analyse microdidactique (Cf. Section suivante).

Cette analyse macroscopique a permis de relever certaines tendances dans les trois institutions, mais à cette étape de la recherche, ces tendances n'ont qu'un statut d'hypothèses interprétatives. Pour approfondir les hypothèses interprétatives des usages de l'artefact par les professeurs issus de cette analyse macroscopique, nous sommes descendu à une analyse microdidactique, dont nous décrivons la mise en œuvre dans la section suivante.

2.3.2. L'analyse microdidactique de courts épisodes et d'évènements significatifs

Dans cette section, nous présentons l'analyse microdidactique qui prend le relais de l'analyse macroscopique. Nous n'avons pas pu, compte tenu de la spécificité liée à la composante expérimentale que constitue le *serious game*, mettre œuvre les techniques d'analyse préconisées par Leutenegger (2003, 2009). Dans notre cas, c'est-à-dire lors de l'utilisation de Mecagenius en classe, nous sommes en présence d'interactions verbales et non-verbales trop peu nom-

breuses pour permettre d'identifier des séquences révélatrices d'une gestion collective de la classe en continu. Nous avons donc retenu la notion d'évènements significatifs que propose cet auteur, et qui relève de moments particuliers (courts épisodes) permettant d'identifier certains modes d'interactions qui nous semblent rendre compte des usages professoraux. Nous avons ainsi repéré, dans chaque séance filmée, les moments où le professeur, dans chacun des trois sites, interagit verbalement avec les élèves relativement à certains mini-jeux, ce que nous considérons être des signes significatifs. Ces événements sont analysés en lien avec les enjeux épistémiques de chacun des mini-jeux. Dans cette analyse microdidactique, nous présentons les résultats en repérant les actions du professeur (définir, réguler, dévoluer, institutionnaliser) et leurs effets sur l'évolution du contrat et du milieu didactique. Nous confrontons ces indices avec ceux issus de la transcription des entretiens *ante* et *post* séances présentés en annexes (Cf. Annexes 9 à 28). Pour retenir les courts épisodes et les événements qui seront analysés nous avons auparavant construit un synopsis⁵⁴ rendant compte du déroulement temporel de la séance, minute après minute.

2.3.3. Les synopsis des séances observées

Le synopsis condense les différentes étapes de la séance à partir des enregistrements des séances filmées. Nous présentons le déroulement temporel de la séance, minute après minute à partir du découpage correspondant aux tâches mises en place et aux modalités de travail instaurées. Nous indiquons également les principales consignes données par l'enseignant dans la colonne la plus à droite. Nous détaillons aussi le type de mini-jeu choisi. Le discours de l'enseignant est en italique dans le tableau. Seule son intervention est positionnée en raison de la spécificité de cette relation « dissymétrique » entre les élèves et l'enseignant. Lorsque les élèves utilisent Mecagenius, l'enseignant s'adresse à la classe occupée à jouer à Mecagenius sans qu'il y ait forcément des retours.

⁵⁴ Du grec « *sunoptikos* » qui signifie « qui embrasse d'un coup d'oeil ».

Temps	Découpage du protocole selon les tâches proposées	Découpage selon les élèves auxquels il s'adresse	Consignes et contenu visé par le professeur
1'	Lancement de Mecagenius <ul style="list-style-type: none"> • Login et mot de passe • Lecture des mini-jeux • choix du deuxième mini-jeu : Mini F1 • choix du niveau : débutant Les élèves jouent	Groupe classe	Vous allez vous « loguer » Présentation des mini-jeux Choix du premier mini-jeu Temps de manipulation (10 mn) « On ne va pas les faire tous, on va commencer par le circuit mini-F1, vous allez faire au moins trois tentatives et pour cela je vous laisse 10 mn. Dans ces 10 mn vous pouvez modifier le niveau. Je vous rappelle que vous choisissez normalement le niveau débutant »
6'	Remarque : Après avoir réalisé un tour de classe, l'enseignant va à son bureau et joue au mini-jeu Régulation : « Vous avez un incrément d'un mètre peut-être qu'il est intéressant de l'utiliser ...». Effet Topaze : « Vous n'êtes pas obligés de prendre le plus grand incrément dès le départ. Comme sur la MOCN, l'incrément le plus grand est dangereux,...». E: C'est quoi un incrément ? Institutionnalisation : « Un incrément c'est les distances de déplacement obtenues par clics,...».		

Extrait de synopsis d'une séance

2.3.4. Le repérage des courts épisodes ou événements remarquables

Afin de déterminer les épisodes et les événements didactiques à analyser, nous avons examiné dans un premier temps les synopsis de la séance observée selon les modalités préconisées par Leutenegger (2001, 2001). Sur la base de ces synopsis nous avons identifié certains moments plus particulièrement significatifs, selon nous, des usages que font les professeurs observés des mini-jeux constituant le prototype Mecagenius que nous leur avons proposé. Il s'agit de courts moments où l'enseignant indique explicitement ce qu'il attend des élèves au regard des enjeux de savoirs du génie mécanique. Les interactions verbales du professeur portent sur tel ou tel mini-jeu, le plus souvent celui utilisé par les élèves de la classe. Nous avons donné à ces moments le statut de courts épisodes ou d'événements significatifs, qui ont fait l'objet d'une analyse détaillée. Pour ce faire nous avons transcrit les échanges entre le professeur et les élèves ou les énoncés professoraux. Les transcriptions sont réalisées à partir des films vidéo. Ce sont ces extraits qui ont fait l'objet de l'analyse microdidactique ci-après décrite. Dans un souci de triangulation des données, nous utilisons aussi pour nos interprétations les données des transcriptions des entretiens *ante* et *post* séances. Nous rappelons enfin que le *serious game* constitue la composante expérimentale de notre protocole ayant pour fonctions de : i) créer les conditions d'une comparaison des pratiques didactiques dans les trois sites et ii) révéler, par l'analyse des transformations des tâches, les connaissances mobilisées dont nous souhaitons examiner les effets.

2.3.5. L'analyse des épisodes et des évènements remarquables

Pour mener l'analyse micro didactique, et après avoir extrait des synopsis précédemment décrits les moments significatifs qui, selon nous, permettent de rendre compte des usages du *serious game* par les enseignants dans l'échange avec leurs élèves, nous mobilisons les descripteurs de l'action du professeur tels qu'établis par la TACD ainsi que ceux relatifs au triplet des genèses. Cette analyse a été menée au regard des enjeux de savoir cristallisés dans les différents mini-jeux, ce qui nous permet de décrire le type de contrat didactique à l'œuvre, ainsi que les modifications introduites lors de l'utilisation des milieux initiaux que sont les mini-jeux. Nous nous appuyons pour ce faire sur les types de contrats didactiques décrit par Brousseau (1996). Par ailleurs dans les analyses, nous convoquons certains résultats de l'enquête menée avec les enseignants notamment lorsqu'ils permettent d'expliquer, eu égard aux difficultés détectées, certaines des actions observées. Examinons maintenant les méthodes de recherche mises en œuvre pour la troisième étude.

3. Méthodes mises en œuvre pour la contribution au programme cognitif

Dans cette section, nous décrivons la méthodologie mise en œuvre pour la contribution au programme cognitif. Nous cherchons à repérer, à partir des traces informatiques implémentées dans le *serious game*, quels sont les échecs et les stratégies mises en œuvre par les élèves lorsqu'ils utilisent Mecagenius. Pour cela, nous avons créé pour chaque mini-jeu un programme informatique permettant d'accéder aux actions de jeu dans le but d'identifier les stratégies d'études individualisées mises en œuvre par les élèves lorsqu'ils utilisent Mecagenius en classe.

3.1. Fondement théorique de la méthode utilisée

Il s'agit dans cette dernière étape de rendre compte du parcours des élèves aux prises avec Mecagenius. En nous appuyant sur les préconisations de Leutenegger (2003) nous avons choisi d'étudier les conduites de deux élèves contrastés désignés par les enseignants lors de l'entretien *ante* : le premier "éF"⁵⁵ est déclaré « *sensé suivre sans problèmes* » par son enseignant et le deuxième élève "éf" est déclaré « *avoir des difficultés en génie mécanique* ». Comme nous l'avons mentionné précédemment, nous considérons à la suite de Leutenegger (2003) que ces deux élèves contrastés par leur position d'excellence dans la classe peuvent s'avérer des « révélateurs » du fonctionnement du système didactique observé.

3.2. Description de la méthode mise en œuvre

Les questions que nous nous sommes posées sont relatives au dispositif à concevoir pour repérer les conduites des élèves. Comme précisé dans les sections présentant la phase de conception de Mecagenius, un programme informatique qui permet de tracer temporellement⁵⁶ toutes les actions effectuées par les joueurs a été implémenté dans le *serious game*. Un marqueur temporel des actions réalisées par les élèves lors de l'utilisation de Mecagenius (clics, frappes, temps d'attente, valeurs sélectionnées, ...) est ainsi enregistré sous forme d'une liste⁵⁷. L'enregistrement chronologique des actions précises des joueurs (appelées "traces") permet d'analyser les stratégies individuelles des élèves puisque toutes les actions effectuées lors d'une session de travail avec Mecagenius sont mémorisées. L'édition à partir de la base de données des listes, auxquelles nous donnons à la suite de Mercier (1992) et de Verscheure (2005) le statut de « chroniques d'actions d'élèves » constitue le matériau à partir duquel seront menées les analyses. Ce dispositif de recueil de traces a été modélisé à partir de l'analyse

⁵⁵ Pour faciliter la lecture des résultats nous codons « éF » (Forts) les élèves qui sont déclarés suivre sans problèmes par leurs enseignants, et « éf » (faibles) les élèves qui sont déclarés avoir des difficultés en génie mécanique.

⁵⁶ Voir chapitre 3 de la première partie, section 1.2.3 « La boîte noire : enregistrement du parcours de jeu »

⁵⁷ Avec l'aide de Catherine Lelardeux.

des savoirs professionnels issus de l'analyse des activités d'un opérateur expert sur MOCN⁵⁸ étudiés dans les travaux de recherche de Becerril Ortega (2008) comme indiqué dans la présentation du cadre conceptuel de cette recherche. Nous avons ainsi déterminé des indicateurs rendant compte de cette modélisation que nous avons implémenté dans le *serious game*. Ces indicateurs sont aussi en liaison avec ce que les élèves doivent mobiliser pour gagner au jeu. Nous considérons que ces traces documentent le rapport qu'entretiennent les élèves aux savoirs et aux compétences impliquées dans les mini-jeux. En tant que “*outpout*” informatique ces traces permettent d'analyser les actions des élèves et de documenter leurs échecs ou leurs réussites.

3.2.1. L'analyse des traces informatiques

Pour sceller ce socle méthodologique et poursuivre notre réflexion sur la pertinence du sens des traces recueillies nous sommes appuyé sur l'approche proposée par Jaillet (2009). En effet, selon Jaillet (2009) il existe six phases distinctes permettant l'organisation et le traitement des données. La première phase est de recueillir et de stocker les données informatiques. La seconde phase consiste à accéder aux données et à essayer de les rendre intelligibles afin qu'elles soient compréhensibles. La troisième phase est relative à l'organisation des données, c'est-à-dire un classement, une hiérarchisation, une structuration des données comme nous le présentons dans la section suivante. La quatrième phase vise à modéliser les données au regard de l'approche recherchée. La cinquième phase est relative à la vérification des données informatiques et leur pertinence au regard de la modélisation retenue. Enfin, selon Jaillet (2009), la sixième phase consiste en « une généralisation et une stabilisation du mode de traitement des données pour en assurer une reproductibilité » (p. 29). Ainsi, nous avons analysé « *à la main* » les traces recueillies relatives aux élèves en procédant d'abord à un découpage et une réorganisation des traces brutes. Trois types de données ont été analysées :

- Le premier type de données est relatif à la structure générale de l'utilisation de Mecagenius, c'est-à-dire lorsque les joueurs parcourent l'ensemble des mini-jeux. Les

⁵⁸ Cf. section 4.1.1 « Filiation avec la recherche antérieure *Mouv* » du chapitre 2

données recueillies relèvent des critères suivants : jeux et niveau de jeu choisis, nombre de parties jouées, score correspondant aux trois niveaux de jeu {débutant - confirmé - expert}. Nous avons appelé ce type d'analyse : "analyse globale".

- Le deuxième type de données est lié à chacun des mini-jeux, il permet de recueillir des données relevant des critères suivants : niveau de jeu choisi par l'élève {débutant - confirmé - expert}, scores correspondants, types d'erreurs, réussites. Nous considérons qu'il s'agit de données de type « gros grain » (Cf. Annexe 36).
- Enfin, le troisième type rend compte chronologiquement du détail des actions effectuées par chacun des joueurs dans chaque mini-jeu (Cf. Annexes 37 à 39). Ces critères correspondent aux valeurs précises sélectionnées par les élèves, aux temps correspondants pour effectuer une opération, mais aussi à l'absence d'actions. Ainsi, ce troisième type de données ou « chroniques d'action dans le jeu » permet de mener une analyse très détaillée que nous pouvons qualifier de didactique parce qu'elles décrivent les actions en lien avec les savoirs cristallisés dans chaque mini-jeu. Ce type de données est qualifié de « petit grain ». Ces données que nous avons implémentées en fonction de l'analyse des activités d'un opérateur expert⁵⁹ constituent les indices nous permettant d'interpréter au regard des compétences visées et des savoirs qui y sont sous-jacents les actions réalisées, ayant conduit aux erreurs repérées au niveau « gros grain » (les temps de réglage, le nombre de coups effectués). Les interprétations réalisées à propos des données « petit grain » doivent être effectuées à la lumière de ce qui est appelé dans les méthodes d'observation des didacticiens « les analyses *a priori* ». Nous y reviendrons après avoir, dans la section suivante, expliqué comment nous avons segmenté le corpus des “*output*” informatiques.

3.2.1.1. Segmentation du corpus

Les “*output*” informatiques rendent compte des actions des élèves au fil du temps lors de l'utilisation des mini-jeux. Leur étude nous a conduit à produire un tableau synthétique qui tente de mettre au jour leurs stratégies selon les parties et les coups joués. Il s'agit pour per-

⁵⁹ Travail mené en didactique professionnelle pour l'étude du simulateur *Mouv* (Becerril Ortega, 2008)

mettre au lecteur de se repérer à l'intérieur de ce corpus, de proposer un guide faisant rapidement le point sur les différentes stratégies des élèves. Ainsi pour familiariser progressivement le lecteur avec l'usage de ce tableau, nous allons procéder à la description de ce dernier à partir du tableau 8 qui expose le début d'un tableau synthétique. Ce tableau présente les deux élèves contrastés "éF" et "éF". Pour chaque élève, la première colonne est relative aux parties jouées (P1, P2, Px). Dans chaque série de parties nous avons une colonne qui détaille les chroniques d'actions des élèves. Rappelons que ces dernières correspondent aux indicateurs relatifs aux savoirs visés dans les mini-jeux. Ces chroniques d'actions d'élèves permettent d'accéder aux détails des actions effectuées par les élèves (paramètres choisis et valeurs correspondantes) pour rendre compte de leurs parcours lors de l'utilisation du mini-jeu. Chaque chronique d'actions des élèves se termine lorsque ce dernier a, soit réussi une opération (cellule grisée, tableau 4) soit, lorsqu'il arrive à la fin du jeu en raison des contraintes ludiques (trop de coups, trop de temps, trop d'erreurs successives). Cette présentation synthétique sous forme de tableau aide à l'analyse qui portera en raison de la grande quantité de données recueillies, sur certaines chroniques d'actions d'élèves. Nous présentons en annexe une partie des ces données (Cf. Annexes 36 à 47).

Elève (éF-E1)				Elève (éF-E1)			
Parties	Chroniques d'actions	Paramètres	Valeurs - Résultats	Paramètres	Valeurs - Résultats	Chroniques d'actions	Parties
P1	C1	Etape 1	réglage	Etape 1	réglage	C1	P1
		Nbre coups sur Z	3	Nbre coups sur X	3		
		Sélect Axe	X	Sélect Axe	Z		
		Incrément	3	Incrément	2		
		Nbre coups sur X	8	Incrément	3		
		Sélect Axe	Z	Incrément	2		
		Incrément	2	Nbre coups sur Z	9		
	Réglage	Réussie	Sélect Axe	X			

Tableau 8 : Présentation d'un extrait de tableau d'analyse « petit grain »

Ainsi, à partir de ce tableau synthétique nous pouvons comptabiliser, catégoriser et analyser les différentes actions, et les durées entre deux actions effectuées. L'ensemble de ces données rendent compte des interactions de l'élève ou de l'étudiant avec les mini-jeux et permettent de suivre « à la trace » son activité de joueur. L'étude de ces traces est effectuée au regard du contexte des séances observées qui nous le verrons diffèrent selon les trois sites (lycée, IUT et

université). Les conditions de recueil des traces informatiques, pour cette troisième étude nous ont conduit à traiter des stratégies des élèves au regard des savoirs visés dans deux mini-jeux : « *le roi de la pref* » et « *l'as de la fab* » qui ont été plus particulièrement utilisés par les enseignants observés dans les trois sites et qui correspondent, par ailleurs, aux compétences critiques requises d'une formation en génie mécanique.

3.2.2. Description des mini-jeux : analyse *a priori*

Pour mener l'étude du programme cognitif, nous devons pointer les savoirs cristallisés dans les deux mini-jeux retenus. Ces savoirs de l'usinage sont essentiels dans les acquisitions de fin de lycée, à l'IUT et à l'université ; ils ont été décrits à travers l'ERTé *Mouv* et l'analyse des besoins des enseignants (Cf. Chapitre 2). Nous allons décrire les mini-jeux « *le roi de la pref* » et « *l'as de la fab* » ainsi que l'analyse *a priori*.

3.2.2.1. Les indices d'usinage retenus

Comme nous l'avons développé précédemment, c'est sur la base des travaux de Becerril Ortega (2008) relatifs à l'étude des situations professionnelles via la didactique professionnelle et sur l'expertise des ingénieurs et formateurs de génie mécanique de l'équipe de Mecagenius, que nous avons déterminé les critères à tracer dans deux mini-jeux « *le roi de la pref* » et « *l'as de la fab* ». Ils correspondent aux données que nous avons qualifiées de «petit grain ». Nous allons justifier dans un premier temps les choix des indicateurs retenus pour ces deux mini-jeux et dire pourquoi l'équipe de Mecagenius les a sélectionnés. Les travaux de Becerril Ortega sur l'analyse de l'activité d'un opérateur expert a permis de comprendre les aspects liés à l'organisation sociale du travail et la construction de la structure conceptuelle de la situation d'usinage, plus exactement de conduite de MOCN. Ce travail se traduit par une identification des classes de situations et des indicateurs permettant à l'opérateur de s'adapter aux différentes situations, il a aussi permis d'accéder aux savoirs pratiques, savoirs issus de la production industrielle. De l'étude des situations d'usinage et des entretiens avec les opérateurs (Becerril Ortega, 2008), nous avons retenu des éléments

importants que nous avons décidé par la suite de « tracer ». Le programme informatique implémenté dans Mecagenius va enregistrer chronologiquement les actions précises des joueurs qui correspondent aux valeurs de ces éléments comme nous en donnons un exemple ci-après au travers de la description de deux mini-jeux. En ce qui concerne la qualité, de la pièce un indicateur est l'état de surface qui est un repère important. En effet, c'est en fonction de ce paramètre que le professionnel va prendre des décisions pour modifier son action et changer d'outil, par exemple, afin d'améliorer l'état de surface de la pièce usinée. Un autre paramètre est le bruit ; en effet, l'opérateur en fonction du bruit et des vibrations va modifier son action pour obtenir un fonctionnement optimum de la MOCN. Un dernier paramètre est relatif au choix de positionnement de la pièce qui permet d'associer une surface, la broche de la machine pour l'usinage et le nombre de déplacements de la MOCN qui doit être le plus faible possible. En guise de synthèse, nous retenons deux éléments clés de l'activité des opérateurs sur MOCN, la mise en fonctionnement et le réglage d'une MOCN, et la qualité de la pièce et son positionnement initial. Pour les deux mini-jeux relatifs à ces situations professionnelles nous avons repris ces données pour programmer les indices correspondants aux éléments décrits. Les traces recueillies permettront le repérage des actions effectuées par le joueur au regard des savoirs implémentés dans le mini-jeu (savoirs issus des situations professionnelles).

3.2.2.2. Le mini-jeu « *le roi de la pref* »

La figure 6 ci-dessous représente l'interface graphique d'un des mini-jeux de Mecagenius intitulé « *le roi de la pref* ». La compétence visée dans ce mini-jeu est la suivante : « *Procéder à des réglages (Pref⁶⁰ et Dec⁶¹)* ». Ce mini-jeu comporte trois niveaux de difficulté {débutant - confirmé - expert} établis à partir de l'analyse des référentiels scolaires et professionnelle en génie mécanique (Cf. Chapitre 4 : Méthodes de recherche mises en œuvre) (Galaup & al, 2010).

⁶⁰ Pref : Prise de Référence.

⁶¹ Dec : Décalage.

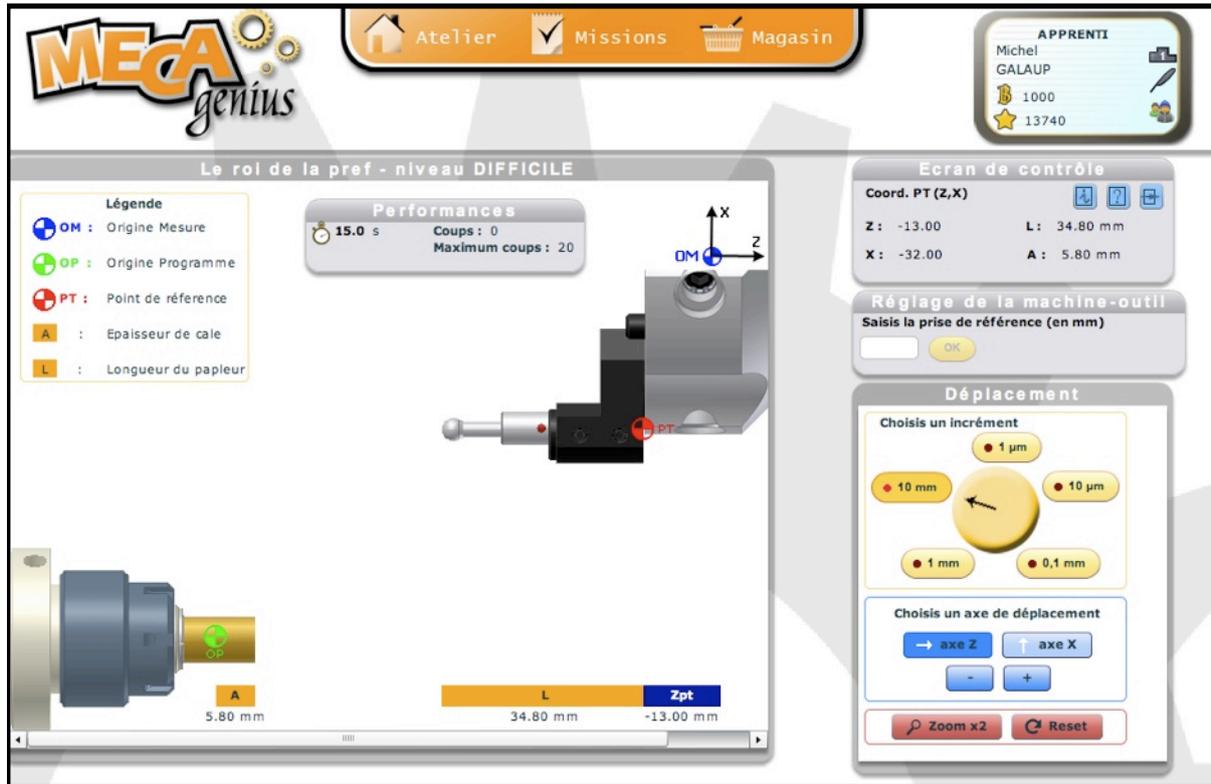


Figure 6 : Interface du mini-jeu « le roi de la pref »

- **Analyse *a priori* des savoirs implémentés dans « le roi de la pref »**

Ce mini-jeu vise l'acquisition de savoirs de génie mécanique constitutifs de la compétence de réglage préalable à l'usinage d'une pièce. Il s'agit de palper la face avant d'une pièce à 10 microns près en un minimum de coups et le plus rapidement possible. La compression admissible sur le palpeur est de 8/10^{ème}. Ainsi, pour réussir au jeu, le joueur doit déplacer la tourelle de la Machine-Outil à Commande Numérique (MOCN) jusqu'à la pièce à usiner en utilisant les diverses commandes : axes de déplacement (X ; Z) ; sens (- ; +). Le joueur a aussi la possibilité de modifier l'incrément afin de faire varier la distance de déplacement et pouvoir ainsi diminuer le nombre de coups. Il est également demandé un calcul vectoriel relatif à « la prise de référence ». Des contraintes ludiques (limite de temps et limite du nombre de coups) permettent de proposer graduellement des difficultés pour contraindre le joueur à optimiser ses réglages. D'autres fonctions sont disponibles comme le zoom qui permet d'agrandir la fenêtre afin de pouvoir affiner le réglage ainsi qu'une aide au joueur (compagnonnage) et un rappel de la consigne « *Palpe la face avant de la pièce à 10 microns*

près en un minimum de coups. Calcule la prise de référence. Compression admissible sur le palpeur : $8/10^{\text{ème}}$ ». Dans ce mini-jeu qui permet de travailler notamment la mise en fonctionnement et le réglage d'une MOCN, nous avons inféré, au regard de l'analyse des activités d'un opérateur expert, plusieurs paramètres à tracer. Comme un des paramètres est le nombre de déplacement de la MOCN qui doit être le plus faible possible, nous avons retenu le nombre de coups effectués et les temps de réglage correspondants. Dans le même esprit, les actions réalisées ayant conduit aux erreurs repérées ainsi que les choix des axes de déplacement, de sens, d'incréments permettant la mise en fonctionnement et le réglage de la MOCN ont été aussi tracés parce qu'ils constituent les variables de commande de la situation didactique que constitue le mini-jeu.

3.2.2.3. Le mini-jeu « l'as de la fab »

La figure 7 ci-après représente l'interface graphique du mini-jeu nommé « l'as de la fab ». La consigne donnée dans ce mini-jeu est la suivante : « Sois le plus rapide pour usiner le plus de pièces possible ». Comme les autres mini-jeux, ce mini-jeu comporte trois niveaux de difficulté {débutant - confirmé - expert}.

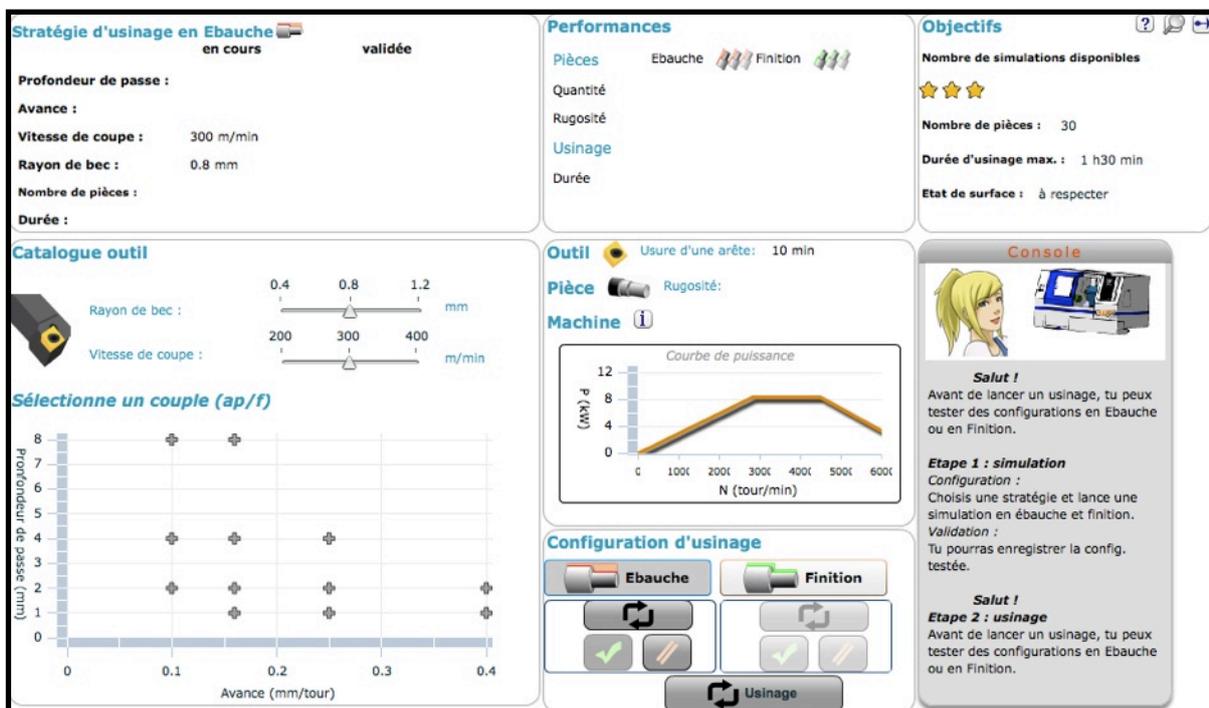


Figure 7 : Interface du mini-jeu « l'as de la fab »

- **Analyse *a priori* des savoirs implémentés dans « *l'as de la fab* »**

Ce mini-jeu vise l'acquisition de savoirs de génie mécanique constitutifs de la compétence du choix des conditions de coupe pour l'usinage d'une pièce. Il s'agit de réaliser un maximum de pièces dans un temps donné. Deux étapes distinctes sont présentes dans ce mini-jeu : l'ébauche et la finition. Le joueur pour réussir au jeu, doit agir sur quatre paramètres :

- La profondeur de passe « Ap »
- La vitesse de coupe « Vc »
- La vitesse d'avance « f »
- Le rayon de bec de l'outil « R bec »

Pour réussir l'étape d'ébauche, il faut enlever un maximum de matière en un minimum de temps. Le joueur doit trouver les bons paramètres pour exploiter la MOCN au maximum de ses possibilités, ainsi il doit prendre la plus grosse profondeur de passe « Ap » et la plus grande vitesse d'avance « f ». Le joueur doit aussi choisir le grand rayon de bec « R bec » et une vitesse de coupe « Vc » faible.

En ce qui concerne la finition, la problématique est différente. Pour la réussir, il faut obtenir un bon état de surface. Le joueur doit choisir un petit rayon de bec d'outils « R bec » en raison de sa forme relativement pointue, et une vitesse d'avance « f » assez faible pour garantir le respect de l'état de surface. Il doit également prendre une vitesse de coupe « Vc » relativement élevée. Les erreurs sont affichées lors des échecs des étudiants comme par exemple « outil usé ; blocage, etc. ». Enfin, les résultats sont affichés informant le joueur des valeurs finales relatives aux choix des quatre paramètres {rayons de bec d'outils « R bec » - vitesse de coupe « Vc » - profondeur de passe « Ap » - vitesse d'avance « f »} en ébauche et en finition.

Pour ce mini-jeu « *l'as de la fab* », nous avons retenu des critères à tracer qui correspondent aux quatre paramètres précédemment présentés pour chaque opération d'usinage (ébauche et finition). En effet, comme le mini-jeu « *le roi de la pref* », ces paramètres à tracer au regard de l'importance liée à la qualité de la pièce et à la productivité relèvent des variables de commande de la situation adidactique que constitue le mini-jeu. Ainsi, nous avons retenu les indices interdépendants que sont : {rayons de bec d'outils - vitesse de coupe - profondeur de passe - vitesse d'avance} en ébauche et en finition. Les actions réalisées ayant conduit aux erreurs repérées sont aussi tracées.

3.3. Inférer des stratégies de jeu à partir des traces informatiques : Traitement des données

Au regard des savoirs implémentés dans ces deux mini-jeux que nous venons de décrire, l'analyse des « chroniques d'actions » de chaque élève “éF” et “éf” s'appuie sur les indicateurs rendant compte de leurs stratégies de jeu (et par conséquence d'étude). L'analyse des traces informatiques permet de dessiner les différents parcours des élèves dans leurs usages de Mecagenius. L'inscription théorique de la recherche en didactique nous amène à analyser la manière dont chaque élève ou chaque étudiant fait usage du mini-jeu pour identifier quelles sont les difficultés ou les obstacles d'apprentissage rencontrés, au regard des objets de savoir et des compétences visées. Nous identifions quelles sont les stratégies de jeu gagnantes mises en œuvre et comment l'élève ou l'étudiant s'ajuste ou s'adapte au milieu didactique qui lui est proposé à travers deux mini-jeux pensés au niveau de la conception de Mecagenius comme un milieu a priori adidactique au sens de Brousseau (1988) et Sanchez (2012).

- Les stratégies de jeu

Nous nous intéressons aux stratégies de jeu⁶² utilisées par deux élèves contrastés dans chacune des classes observées, celles de l'élève fort “éF”, celles de l'élève faible “éf”. Les stratégies qui correspondent à la réussite du mini-jeu peuvent être considérées comme des indicateurs de compétences. L'étude menée permet de pointer : les manières efficaces d'agir en situation, la mobilisation des savoirs et des savoirs-faire dans le contexte du jeu qui signale l'atteinte ou non des compétences visées par chaque mini-jeu.

- Les difficultés et obstacles d'apprentissages

Nous procéderons à l'analyse des difficultés et obstacles d'apprentissages que rencontrent les élèves contrastés par rapport aux savoirs cristallisés dans les deux mini-jeux. Nous identifierons les situations dans lesquelles ils les ont rencontrés, nous analyserons également quelle est la nature de ces obstacles et de ces difficultés que nous mettrons en relation avec l'analyse a priori des deux mini-jeux notamment sur les variables de commande et le cas échéant avec les résultats des deux premières études.

⁶² Dans le cadre théorique qui est le nôtre, la TACD, il s'agit bien d'identifier des stratégies de jeu et non des stratégies d'apprentissage au sens psychologique de ce terme.

4. Conclusion sur les méthodes de recherche mises en œuvre

De la même manière que lors des sections conclusives du cadre conceptuel de la problématique et questions de recherche, nous synthétisons par un schéma les méthodes de recherche mises en œuvre relatives aux trois études. Cette présentation permettra d'appréhender pour chacune d'elle les méthodes spécifiques mises en œuvre lors des deux phases Mecagenius (phase de conception, phase d'évaluation des usages en situation d'enseignement).

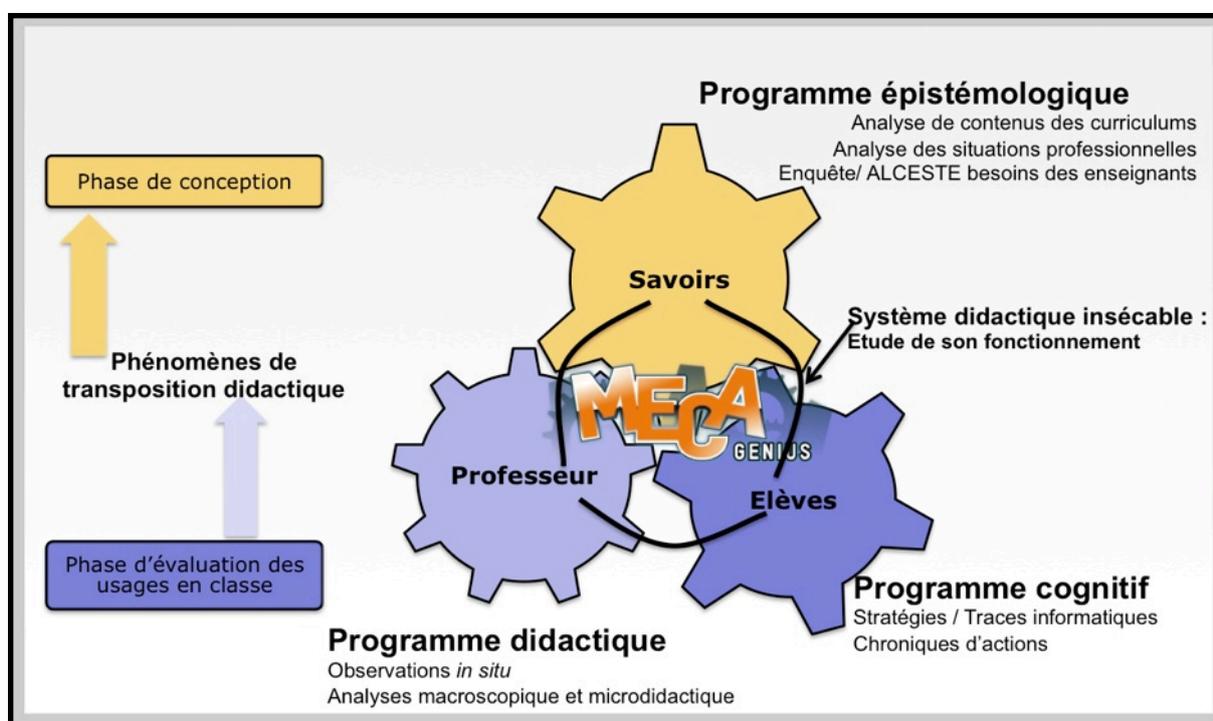


Figure 8 : Méthodes de recherche spécifiques mises en œuvre

Au terme de cette première partie, ayant posé les différents cadres orientant la recherche, nous sommes en mesure d'examiner maintenant les résultats relatifs à chacune de ces trois études empiriques.

DEUXIEME PARTIE :

Résultats

Dans cette section qui se découpe en trois chapitres, nous présentons les résultats de notre recherche. Le chapitre 1 expose les résultats relatifs à l'analyse épistémologique et technologique des savoirs de Mecagenius. Le chapitre 2 étudie le fonctionnement du système didactique aux prises avec l'artefact Mecagenius. Enfin, le chapitre 3 examine l'étude des stratégies des élèves confrontés à deux mini-jeux.

Chapitre 1 : Analyse épistémologique et technologique des savoirs de Mecagenius

(contribution à la conception d'un serious game)

Les résultats de ce premier plan d'analyse sont relatifs à notre contribution au programme épistémologique. Nous rappelons qu'ils contribuent à la conception et par la suite à la réalisation de Mecagenius dans le cadre de la recherche développement de ce *serious game*. Dans un premier temps nous présentons les outils d'analyse des référentiels scolaires et professionnels à la base de Mecagenius. Ensuite, nous examinons les besoins des enseignants en vue de l'élaboration des mini-jeux. Nous concluons sur les apports et les perspectives de cette analyse épistémologique et technologique des savoirs de Mecagenius.

1. La prise en compte des référentiels scolaires et professionnels

En nous référant à Lebeaume (2011) et les travaux menés sur la technologie au lycée (Hamon et Lebeaume, 2013) il apparaît clairement que l'analyse des « configurations curriculaires » permet de « prendre en compte les spécificités des contenus et les cohésions à la fois horizontales et verticales considérées à l'échelle des plans d'études dans leur développement temporel au fil de la scolarité » (p. 234). Dans ce chapitre des résultats nous montrons en quoi Mecagenius prend en compte les différents éléments clés d'un enseignement ou d'une formation permettant de développer les compétences identifiées comme essentielles pour les voies professionnelles et technologiques du lycée à l'université. Rappelons que nous nous sommes appuyés sur les programmes scolaires et les référentiels en vigueur au moment de la conception du *serious game*. Les auteurs précédemment cités discutent, dans une approche de didactique curriculaire, la variabilité des contenus technologiques d'un point de vue historique et selon les segments du système éducatif. A la suite de ces travaux et conscient de cette problématique large et ouverte, nous avons recherché dans les différents référentiels de formation, du lycée à l'université, les registres communs de compétences à développer en génie mécanique, afin de les inclure dans le *serious game*. Par ailleurs, nous rejoignons Lebeaume (2011) lorsqu'il discute les perspectives curriculaires au regard des défis éducatifs, sociaux et économiques contemporains, à savoir le nécessaire « contrôle de l'assiette connaissances-compétences-expériences (...) afin d'éviter la restriction caractérisée par la disciplinarisation de l'éducation technologique » (p. 16). Un des indices de cette évolution est la disparition, dans les nouveaux programmes de 2011 de la voie technologique STI2D, des travaux d'usage et de réalisation d'objets ou d'ouvrages (Hamon, 2012). D'une certaine manière en s'appuyant sur les référentiels antérieurs à cette réforme, la conception de Mecagenius évite la déspecialisation et la déprofessionnalisation des enseignements technologiques au lycée⁶³ regrettées par ces didacticiens de la technologie.

⁶³ Telles que promues par le groupe STI de l'inspection générale de l'Éducation nationale (Perrot, 2010)

Tout en cherchant à maintenir vif le rapport aux références professionnelles, un des objectifs de Mecagenius est la construction d'un jeu sérieux qui privilégie la qualité pédagogique tout en maintenant l'aspect vidéo ludique. Dans la première partie nous rappelons comment nous avons sélectionné les savoirs à enseigner sous-jacents aux compétences de génie mécanique à développer (Le boterf, 1995) pour les intégrer dans le jeu. Ensuite, dans la deuxième partie, nous montrons comment nous avons pris en compte cette sélection pour pouvoir l'inclure dans le jeu. Dans les sections qui suivent le « nous » renvoie aux différents partenaires de l'équipe de Mecagenius (ingénieurs et formateurs de génie mécanique : Olivier Baptista et Pierre Lagarrigue) ayant collaboré à la conception du prototype didactique Mecagenius. Pour des raisons de confidentialité les figures présentes dans cette section ne sont pas affichées de manière explicite car elles appartiennent à des documents validés par l'ensemble des partenaires.

Nous allons dans la section qui suit présenter les résultats d'analyse relatifs à l'étude des référentiels scolaires et professionnels qui représente la première partie de notre contribution au programme épistémologique.

1.1. Contribution d'analyse à la construction des mini-jeux

Nous rappelons que la recension relative au domaine du génie mécanique et des compétences à acquérir que nous avons effectuée concerne trois institutions : le lycée, les Instituts Universitaires de Technologie et l'enseignement supérieur. Les différents supports sur les lesquels nous nous sommes appuyé sont les programmes des lycées, les référentiels des IUT et leur déclinaison académique, les fiches du Répertoire National des Certifications Professionnelles concernant les formations universitaires et les différentes compétences acquises à l'issue des formations les écoles d'ingénieurs.

Institutions	Programmes	Références
Lycée Seconde	ISP : Informatique et Système de Production	B.O N° 6 du 31 août 2000 Hors-Série
Lycée Première & Terminale	STI : Sciences et Technologies Industrielles GM Prod	BO du 1er août 1992 Programmes des lycées STI GM

Institutions	Programmes	Références
BTS	CIM : Conception et Industrialisation en Microtechniques	B.O N° 9 du 9 octobre 2003
BTS	IPM : Industrialisation des produits mécaniques	B.O N° 6 du 17 février 2005
DUT	GMP : Génie Mécanique et Productive	Programme Pédagogique National du DUT Génie mécanique et productive
MASTER Professionnel	CFAérO : Conception et Fabrication en Aéronautique	Filière Génie Mécanique Département Sciences Appliquées. Fiches RNCP
Ecole d'ingénieur	Programme Partiel Ecole Ingénieur	Formations proposées dans les différentes écoles d'ingénieur : INSA ; ENI ; E.I.C
AFPA	Programme Partiel AFPA	Formations proposées sur le site de l'AFPA

Tableau 9 : Liste des curriculums étudiés

Par ailleurs, comme nous l'avons mentionné dans la méthodologie, nous avons aussi recensé les fiches de certificats de qualification paritaire de la métallurgie (CQPM) validées nationalement par les experts métiers des domaines.

Institutions	Programmes	Références
UIMM	Formations et fiches métiers	Fiches de certificats de qualification paritaires de la métallurgie
<i>Europolytec project</i>	<i>Proposal Mechatronic Competence Framework 1.0</i>	<i>WP2 : Development of the Skills referential in Mechatronics</i>

Tableau 10 : Liste des documents de professionnels étudiés

Suite à ce travail, avons constaté que tous ces référentiels fournissent un large panel de compétences à acquérir de manière macroscopique. Ces référentiels recensant les formations du domaine du génie mécanique sont multiples et face à la multitude de contenus en jeu dans ces curriculums, une sélection a due être effectuée. En premier lieu, les contenus sélectionnés concernent exclusivement les processus de conception et de fabrication, base de Mecagenius. La présence d'un contenu dans plusieurs curriculums n'a pas constitué un critère préférentiel de choix. Par contre la notion de niveau d'élève a servi de guide pour déterminer les connaissances antérieures et pour décomposer les contenus. Ce travail a été effectué en collaboration

avec des enseignants de génie mécanique qui ont apporté leur expertise à cette sélection. Ainsi, à travers une lecture et une analyse des référentiels scolaires et professionnels, les contenus et les savoirs de génie mécanique susceptibles d'être enseignés au travers de Mecagenius ont été sélectionnés (Cf. Annexe 4 : Livrable des compétences, savoir et savoir faire du rôle « apprenti »). Ensuite, un classement des pièces de compétences à développer dans Mecagenius a été réalisé. Pour structurer ce classement, nous avons repris les principes mis en œuvre dans le curriculum du DUT Génie Mécanique (Programme Pédagogique National) qui est construit nationalement par des enseignants chercheurs et des industriels. Les savoirs et les compétences identifiées sont regroupés dans cinq ensembles nommés « module » : {méthodes - adaptation - production - produits et ses spécifications - métrologie}. Nous avons ensuite effectué un tri topologique qui débouche sur un graphe de compétences mettant en évidence la nécessité de concevoir un ou plusieurs mini-jeux qui permettent le développement par ordre d'importance des compétences décrites dans le tableau ci-dessous réalisé avec Olivier Baptista.

REF	Module	Intitulé	PR1	PR2	PR3	PR4	PR5	PR6	PR7	PR8	PR9	PR10	Niveau
A1	Adaptation	Identifier les surfaces et les volumes											1
A2	Adaptation	Identifier les matériaux											1
P1	Produit	Analyser la morphologie du produit	A1										2
P2	Produit	Décoder les spécifications du produit	A1	A2									2
M1	Méthodes	Connaitre les mouvements générateurs	M4										2
M2	Méthodes	Connaitre les opérations d'usinage	M1										3
M3	Méthodes	Connaitre les équipements (outils, porte-outils, pièce, porte-pièce)											1
M4	Méthodes	Connaitre les MOCN (architecture, axes, puissance, ...)											1
M5	Méthodes	Comprendre les différentes étapes de transformation d'un produit.	M2										4
M6	Méthodes	Établir un processus d'usinage permettant d'obtenir une pièce simple.	P1	M1	M2	M3	M4						4
M7	Méthodes	Choisir des paramètres de coupe. (calculs N, Vf, Kc, Pc, Tc)	M1	M2	M3	M4							4
M8	Méthodes	Optimiser une production (coût, temps)	A2	P2	M1	M2	M7						5
F1	Production	Préparer les équipements nécessaires à la réalisation d'une série de pièces sur MOCN	M3	M4									2
F2	Production	Mettre en service une MOCN	M4										2
F3	Production	Se déplacer en manuel sur une MOCN	F2										3
F4	Production	Démonter, monter des éléments sur la machine-outil	M3	M4	F3								4
F5	Production	Procéder à des réglages (PREF -DEC - dégauchissage)	M3	M4	F3	F4							5
F6	Production	Assurer la production dans le respect des objectifs impartis	P2	F2	F5								6
F7	Production	Contrôler la qualité de sa production	F6	C1	C2	C3							7
C1	Métrologie	Analyser une ou des spécifications (définition de l'écart acceptable)	M2	M3									4
C2	Métrologie	Choisir des moyens de contrôle	A1	P1									3
C3	Métrologie	Mettre en œuvre un contrôle	A1	P2	C1								5

Tableau 11 : Tableau du tri topologique des compétences⁶⁴

Dans ce tableau, chaque module est composé par l'ensemble des compétences pouvant relever de la sensibilisation (niveau apprenti) ou de la maîtrise (niveau expert) du champ concerné par le module. Le graphe des compétences ci-dessous montre les articulations entre connaissances antérieures, savoirs et savoir-faire et compétences visées.

⁶⁴ Pour des raisons de confidentialité liées au contrat Mecagenius ce tableau présente la synthèse resserrée des compétences validées par l'ensemble des partenaires.

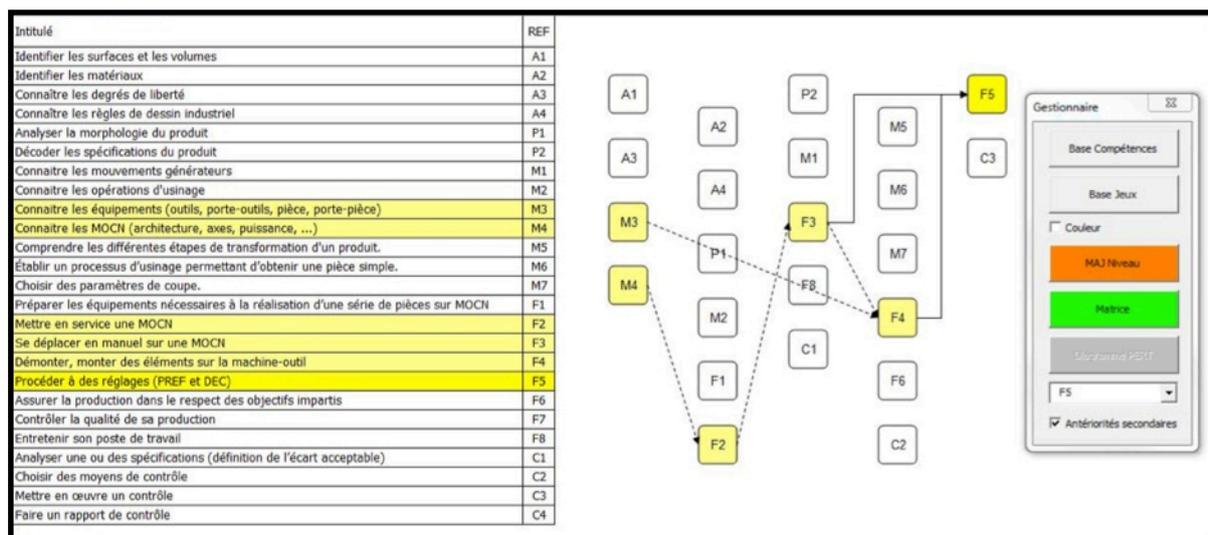


Figure 9 : Graphe des compétences réalisé par Baptista Olivier

Dans ce graphe⁶⁵ la compétence F5 « procéder à des réglages » comporte deux connaissances antérieures primaires F3 « se déplacer en manuel sur une machine-outil à commandes numériques » et F4 « monter démonter des éléments sur la machine-outil » et trois connaissances antérieures secondaires : M3, M4 et F2. Le tri topologique illustré par ce graphe nous permet de voir qu'avant d'arriver à la compétence F5 il est nécessaire d'avoir les compétences F3 et F4 et que ces dernières sont fonction des compétences M3, M4 et F2 (Cf. exemple annexe 4 : Groupement des compétences pour le rôle « apprenti »). Ce travail de tri, effectué sur l'ensemble des compétences visées par Mecagenius, a débouché sur leur hiérarchisation en vue de la conception des mini-jeux. Un premier développement du logiciel de tri effectué par Olivier Baptista nous a permis d'identifier rapidement les dépendances et les relations existantes entre les compétences (Galaup & al., 2010) et de proposer le panel de compétences pour la construction des différents mini-jeux. Ce dernier s'appuie sur un référentiel de compétences établi à la fois à partir de référentiels académiques et de référentiels industriels. Par la suite, nous discuterons de cette « élémentarisation » des savoirs.

⁶⁵ Pour des raisons de confidentialité, tableau 11 ne présente pas de manière explicite le graphe des compétences validé par l'ensemble des partenaires.

1.2. Conclusion

La conception de Mecagenius s'est appuyée sur une analyse fine des savoirs qui a permis de construire les différents mini-jeux. Mais l'articulation des mini-jeux entre eux a nécessité une importante réflexion d'équipe sur la progression de l'avancement des objets de savoir au cours du temps (chronogenèse) afin de garantir un fonctionnement du système didactique aux prises avec Mecagenius. L'analyse épistémologique et technologique des savoirs a permis une contribution à la conception de Mecagenius. A la suite des travaux relatifs à la contribution de la didactique du curriculum de Hamon (2012), nous pensons que « la disciplinarisation de la technologie est un processus dynamique d'interactions cumulatives particulièrement complexe » (p. 452) et qu'il est nécessaire d'avoir une vigilance épistémologique sur cette discipline. Les logiciels permettant une meilleure visibilité des différents paramètres des mini-jeux ont donné naissance à plusieurs projets de gestion des compétences à partir des curriculums et des activités référentes. La phase de conception du *serious game* Mecagenius a permis ainsi de créer des artefacts de conception permettant à partir du triplet {connaissances - activité - connaissances antérieures} d'identifier les différentes possibilités d'antériorité ainsi que le taux de recouvrement des compétences. Cet instrument est actuellement l'objet d'une recherche-développement à travers le projet "*Simugame*".

2. L'étude des besoins des enseignants

Les résultats que nous présentons dans cette section sont relatifs à la prise en compte de la composante enseignant du système didactique. L'objectif de cette étude est d'identifier les besoins exprimés par les enseignants afin de concevoir un jeu sérieux adapté à leurs attentes. Pour les repérer, nous avons retenu la technique de l'entretien semi-directif. Ce travail d'analyse approfondie a permis d'identifier les points critiques et les principales difficultés rencontrés par les enseignants de génie mécanique dans leur pratique ordinaire. Cette étude a aussi pris en compte les points de vue des enseignants de génie mécanique ainsi que leurs

attentes. Nous rappelons qu'à partir de la grille d'entretien que nous avons construite (Cf. Annexe 6), nous avons effectué un entretien semi-directif auprès de neuf enseignants de génie mécanique issus de toutes les formations auxquelles Mecagenius est susceptible de s'adresser : lycée, IUT, Université, INSA et ENI (Tarbes) (Cf. Annexe 7 : Transcriptions). Rappelons que la méthodologie choisie repose sur le découpage du corpus lexicographique des entretiens via le logiciel ALCESTE⁶⁶ qui offre une aide à la lecture du discours de ces enseignants. A partir d'une classification hiérarchique descendante et d'une analyse factorielle des correspondances, sont identifiées les classes de discours tenues par les interviewés. Le tableau ci-dessous présente les spécificités du corpus issues du rapport de synthèse (Cf. Annexe 8 : Rapport de synthèse ALCESTE).

Spécificités du corpus	Données
Nombre d'individus	9
Nombre de variables	0
Nombre de mots analysés	452
Nombre de mots supplémentaires	230
Unités textuelles classées	503
Indice de pertinence (IP)	70 %
Taille du corpus	147 Ko
Nombre de mots distincts	2547
Nombre total de mots	25339

Tableau 12 : Synthèse des spécificités du corpus

Comme l'indique la figure 10 issue du rapport de synthèse (Cf. Annexe 8), 70 % des unités textuelles du corpus ont été classées ce qui constitue un indice de pertinence. Le logiciel ALCESTE découpe le corpus en unité de contexte pour effectuer une classification qui est fonction du vocabulaire. Ainsi, l'analyse du corpus fait apparaître, comme le montre le graphique de la figure 10, trois classes stables de discours qui s'organisent en une classe mère (classe 1) et deux autres classes (classes 2 et 3). La classe 1 représente seulement 16 % des unités de contexte élémentaires (u.c.e) classées soit 11 % du corpus initial. Elle a certes une plus grande homogénéité interne du point de vue du lexique mobilisé. La classe 2 représente pour sa part 38 % des u.c.e classées soit 27 % du corpus initial et la classe 3 représente quant

⁶⁶ Le logiciel de données textuelles Alceste a été développé par Max Reinert (1987).

à elle 46 % des u.c.e classées soit 32 % du corpus initial. Nous allons décrire dans un premier temps ces trois classes de discours. Dans un deuxième temps, à partir de ce travail nous commenterons ces résultats.

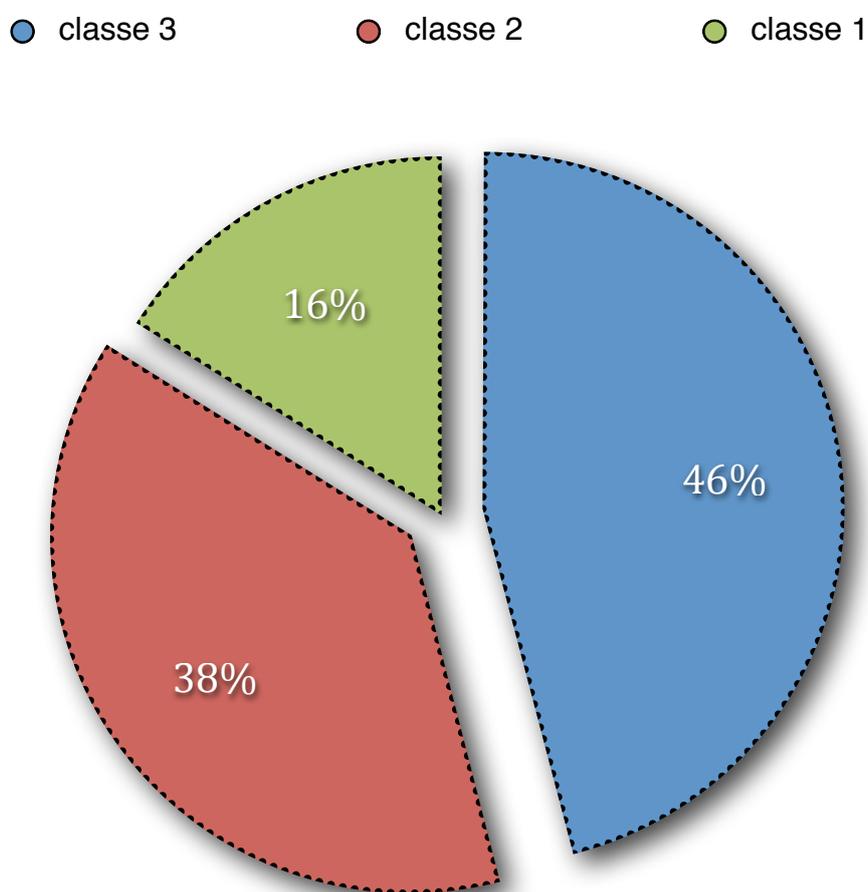


Figure 10 : Répartition des u.c.e classées

2.1. Analyse des classes de discours des enseignants de génie mécanique

Nous examinons dans ce qui suit les classes de discours des enseignants de génie mécanique. Nous étudierons d'abord les classes 3 et 2 qui présentent des données intéressantes sur les besoins des enseignants et dont nous avons vu qu'elles correspondaient respectivement 46 % et 38 % des u.c.e classés. Nous examinerons ensuite le contenu du discours de la classe 1 et sa particularité.

2.1.1. Classe 3 : Enjeux disciplinaires, culture technique et difficultés des élèves

Cette classe 3 est constituée de 230 unités textuelles, soit 46 % des unités classées (soit 32 % du corpus initial), c'est la classe la plus importante. Cette classe est riche au regard de l'analyse des besoins des enseignants. De cette classe de discours relative aux attentes des enseignants de génie mécanique émergent des mots significatifs comme : « *problème ; technique ; culture ; objectifs* ». Les verbes sont tournés vers l'activité de l'apprentissage : « *acquérir, savoir, réaliser, apprendre* ». A partir de ces mots et des unités textuelles de cette classe 3, nous pouvons en déduire que les discours s'orientent vers le réel, le concret et les problèmes techniques qui y sont liés en lien avec l'enseignement du génie mécanique. Le couple {problème-solution}, ainsi que les verbes associés comme : « *acquérir, réaliser, apprécier, pouvoir, etc.* » pointent l'importance accordée à la résolution de problèmes techniques. Les multiples mots comme « *compétent, capable, etc.* » illustrent les objectifs de cette résolution de problèmes techniques au sein de l'enseignement du génie mécanique. Le discours de cette classe nous permet de prendre conscience de l'importance du vocabulaire technique et de la communication au sein de la culture de cette discipline comme le montrent les unités textuelles de cette classe (Cf. Annexe 8 : Rapport de synthèse ALCESTE). Les marqueurs du discours de cette classe 3 sont relatifs à la culture technique comme nous pouvons le voir avec les mots significatifs comme : « *culture, culture technologique, culture générale, vocabulaire, connaissances, ...* » et aux différentes attentes des enseignants, attentes qui sont dictées par des demandes industrielles mais aussi institutionnelles : « *les industriels nous demandent essentiellement de développer chez eux une culture technique qui leur permettra d'être capable d'analyser et d'avoir une valeur ajoutée sur les problèmes rencontrés ...* ». Cette interprétation est confirmée par l'extrait du graphe de similitude de la figure 10 ci-dessous (Cf. Annexe 8 : Rapport de synthèse ALCESTE) qui exprime les liens les plus forts entre les mots les plus fortement associés à ce discours. L'épaisseur du trait et la distance rend compte de ces liens.

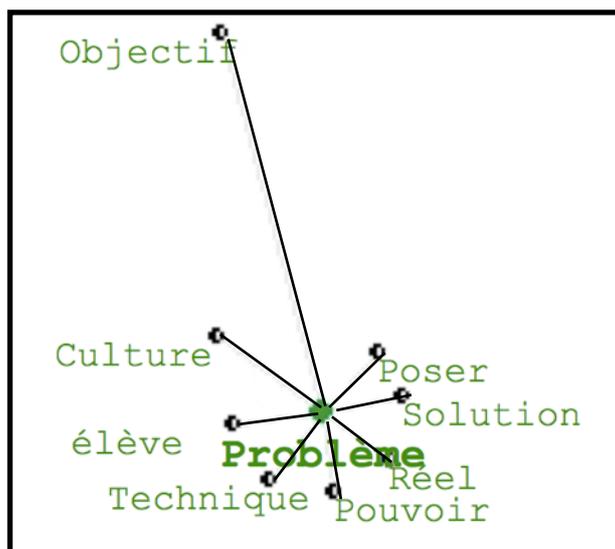


Figure 11 : Graphe de similitude de la classe 3

Nous présentons en exemple les résultats des u.c.i associées de l'analyse textuelle ALCESTE relatifs à cette classe 3. La lecture du tableau 13 ci-dessous nous conduit à mieux cerner les attentes des enseignants de génie mécanique avec une description qualitative de l'activité des élèves, de verbes d'état et d'action et des difficultés qu'ils peuvent rencontrer. Ce tableau issu du rapport ALCESTE reprend les u.c.e caractéristiques de cette classe, les ordres d'importance Phi⁶⁷ dans la classe ainsi que les u.c.i (unités de contexte initiales) associées. La lecture des u.c.i associées permet de prendre en compte des éléments importants pour la conception de Mecagenius. A titre d'exemple, les remarques de l'u.c.e n° 30, « ... *Le réel problème, c'est à nouveau j'y reviens dessus c'est la connaissance technique qui permet de choisir l'ordre des opérations, de choisir les outillages, ...* » ont donné lieu à la création de mini-jeux qui prennent en compte ces demandes. En effet, un mini-jeu (PF 6) vise précisément l'acquisition de savoirs de génie mécanique constitutifs de la compétence de choix de l'ordre d'usinage d'une pièce. De même, la compétence développée par le mini-jeu (DEA 1) concerne le choix des outillages ou encore le mini-jeu DEA 0 est relatif à la connaissance du vocabulaire technique. Ainsi, cette classe 3 nous a permis de prendre en compte les nombreuses attentes des enseignants de génie mécanique. Enfin, nous pouvons observer dans le rapport de synthèse ALCESTE (Cf. Annexe 8) que les mots étoilés spécifiques de cette classe de discours sont portés essentiellement par des enseignants certifiés qui exercent au lycée ou à l'IUT.

⁶⁷ La valeur du coefficient Phi exprime la force du lien entre les mots et la classe.

u.c.e caractéristiques de la classe 3	Ordre d'importance (Phi) dans la classe	u.c.i associées
u.c.e n° 178	Phi = 0,05	« alors les difficultés qu'ils ont à comprendre sont des difficultés d'ordre d'abord de commande qu'ils ont du mal à passer, qu'on les forme de plus-en-plus avec des outils de FAO donc pour eux ils voient des outils qui bougent autour de pièces très visuel ça marche bien, ils ont beaucoup du mal à comprendre voir la machine ce qu'elle fait »
u.c.e n° 421	Phi = 0,05	« c'est d'éviter de rester trop théorique, de passer des heures en salle ou devant un écran de programmation. C'est indispensable d'être aux pieds de la machine de temps en temps et de la faire fonctionner ne serait ce que comme une récompense. »
u.c.e n° 508	Phi = 0,05	« Dans l'état actuel de l'enseignement, la mise-en-œuvre d'une machine-outil c'est le choix des outils, le positionnement du programme par rapport à la pièce, et puis la modification des côtes obtenues par l'intervention sur les jauges outils »
u.c.e n° 444	Phi = 0,05	« sur une vraie machine, il y a un risque quand même. C'est-à-dire il y a un risque pas tellement pour l'étudiant mais pour le matériel, on va casser un outil, on ne va casser une pièce on va éventuellement abimer la machine. »

Tableau 13 : Extrait des unités textuelles (u.c.e) caractéristiques de la classe 3

2.1.2. Classe 2 : Les difficultés d'utilisation des MOCN

La classe 2 représente 38 % des unités textuelles classées (soit 27 % du corpus initial), ses mots significatifs sont « *machine-outil, utiliser, temps, etc.* ». Cette classe 2 aborde l'enseignement du génie mécanique mais avec un discours plus orienté vers l'utilisation des MOCN comme l'illustrent les mots représentatifs « *machine, outil, utilisation* ». Tout comme la classe 3 que nous venons d'examiner, cette classe de discours est dense au regard de l'analyse des besoins des enseignants. Nous repérons à la lecture du graphe de similitude de la figure 11 ci-dessous une centration qu'autour du mot "machine" émergent des mots significatifs les plus proches comme : « *outil, aller, utiliser, passer, temps, programmer* ». La richesse relative des

mots associés comme le graphe de proximité des mots le laisse apparaître, met en avant des mots importants comme "temps" (de préparation, d'utilisation), "passer" sur les MOCN. Les verbes sont tournés vers l'apprentissage de savoir-faire nécessaires à la conduite d'une machine : « *utiliser, programmer, jauger, aller* ». C'est pour cela que nous proposons de nommer cette classe de discours « Les difficultés d'utilisation des MOCN ». Contrairement à la classe 3 qui rend compte de difficultés plutôt conceptuelles et en lien avec l'acquisition d'une culture technique, les difficultés de cette classe 2 sont des difficultés matérielles et de savoir-faire.

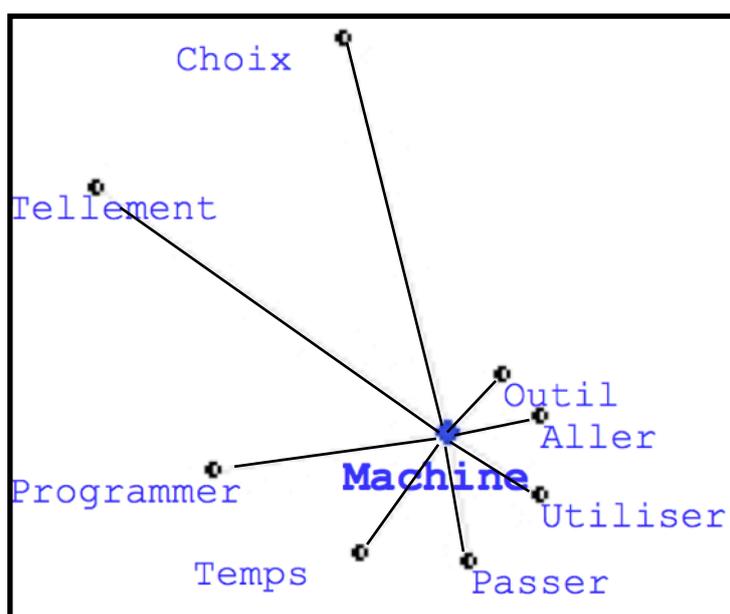


Figure 12 : Graphe de similitude de la classe 2

Comme nous l'avons fait pour la classe 3 nous faisons un pas de plus dans l'analyse en présentant les u.c.i les plus fortement associées à cette classe pour repérer les significations. Nous voyons bien donc que cette classe 2 est sur les difficultés rencontrées dans l'enseignement du génie mécanique. En effet, la lecture du tableau 14, (u.c.e n° 421) nous informe de l'importance accordée au réel et notamment l'importance de manipuler une MOCN. Un autre point à souligner (u.c.e n° 508) dans le discours des enseignants concerne les choix que doivent effectuer les élèves (d'outils, de conditions de coupe, de références, etc.) ce qui rejoint une partie des attentes des enseignants comme nous avons pu le voir avec l'étude de la classe 3. Enfin, la dernière ligne du tableau 14 (u.c.e n° 444) nous renseigne sur

les risques (matériels et corporels) que peuvent rencontrer les élèves lors de la manipulation des MOCN. L'ensemble de ces résultats semblent offrir une bonne compréhension des problématiques liées à l'utilisation des MOCN.

u.c.e caractéristiques de la classe 3	Ordre d'importance (Phi) dans la classe	u.c.i associées
u.c.e n° 620	Phi = 0,06	<i>« les qualités indispensables, les compétences indispensables fondamentalement c'est compliqué, des problèmes simples ; mettre en place une analyse, une réflexion et aboutir à un résultat »</i>
u.c.e n° 24	Phi = 0,06	<i>« les objectifs CN, les élèves doivent être capables de générer des programmes d'usinage correct la FAO ne leur pose pas trop de souci, ce qui leur pose souci c'est à nouveau les problématiques techniques. »</i>
u.c.e n° 135	Phi = 0,05	<i>« dans les compétences fondamentales, c'est la capacité d'analyse, d'observation, de critique et de curiosité par rapport au sujet qu'on va leur demander »</i>
u.c.e n° 30	Phi = 0,05	<i>« au départ ils ont un peu de mal à conceptualiser les différentes chaînes vectorielles, mais bon après, ça c'est assez vite résolu. Le réel problème, c'est à nouveau j'y reviens dessus c'est la connaissance technique qui permet de choisir l'ordre des opérations, de choisir les outillages, les prises de pièces et de choisir les cotes fabriquées à obtenir. »</i>

Tableau 14 : Graphe de proximité des mots de la classe 2

L'analyse de ces deux classes (2 et 3) de discours qui se centrent sur des problèmes pédagogiques et didactiques de l'enseignement du génie mécanique contribue au programme épistémologique dans la mesure où nous prendrons en compte ces difficultés énoncées par les enseignants dans la construction des mini-jeux de Mecagenius. Ces informations ont participé directement à la création de mini-jeux répondant spécifiquement à ce point comme nous avons pu le voir dans l'analyse de la classe 3. Les mots étoilés spécifiques de cette classe 2 comme ceux de la classe 3, montrent que cette classe de discours est portée essentiellement par des enseignants certifiés qui exercent au lycée ou à l'IUT.

2.1.3. Classe 1 : L'organisation de l'enseignement du génie mécanique à l'université

Comme nous le soulignons ci-dessus, la classe 1 est la plus spécifique, c'est la première à s'être démarquée dans l'arbre de classification, son vocabulaire est le plus homogène, elle représente 16 % des unités de contexte élémentaires (u.c.e) classées (soit 11 % du corpus initial) et se caractérise par des mots tels que « *licence, master, pro, responsa, cours* ». Nous pouvons ainsi observer les mots significatifs sont : « *fabrication, métrologie, qualité, cours, master, etc.* ». Les unités textuelles de cette classe 1 (Cf. Annexe 8) définissent un premier contexte que nous pouvons appeler « l'organisation de l'enseignement du génie mécanique à l'université ». Les principaux mots significatifs de cette classe 1 repérable dans le graphe de similitude ci-dessous relèvent du vocabulaire spécifique relatif à l'enseignement supérieur universitaire (*master, licence, pro, cours*) et des différentes disciplines qui y sont présentes (*métrologie, qualité, fabrication*).

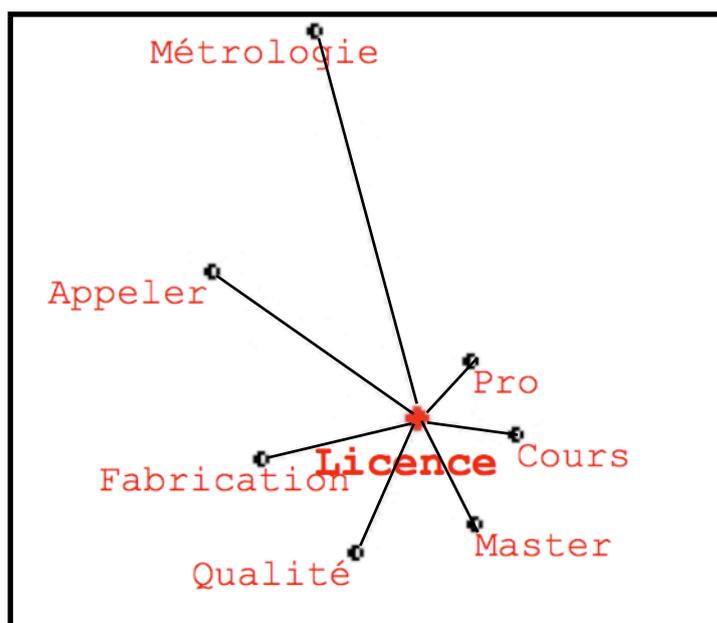


Figure 13 : Graphe de proximité des mots de la classe 1

Nous poursuivons comme nous l'avons fait pour les classes 2 et 3 en étudiant les u.c.i les plus fortement associées à cette classe pour en repérer les significations. L'analyse de ces u.c.i les plus fortement associées (Cf. tableau n° 15) apporte des informations supplémentaires notamment sur les rapports entre l'enseignement du génie mécanique et le monde industriel. Quelles sont ces informations ?

u.c.e caractéristiques de la classe 3	Ordre d'importance (Phi) dans la classe	u.c.i associées
u.c.e n° 241	Phi = 0,07	« de la conception, donc gestion de production, simulation de flux, qu'est-ce-que je dirai encore, je dirais obtention de brut, métrologie, contrôle qualité, FAO, montage d'usinage, conception donc en première année, en licence ça m'est arrivé aussi »
u.c.e n° 365	Phi = 0,07	« plusieurs disciplines en génie mécanique : usinage, métrologie, qualité, contrôle non destructif, qualité et voilà »
u.c.e n° 69	Phi = 0,06	« pour le génie mécanique, on a 3 branches distinctes, au niveau L3 il y a une voie conception fabrication et une autre voie conception calcul et après ça veut dire que ça se sépare et au niveau Master après on s'oriente soit plutôt conception mais vraiment fabrication soit une autre »
u.c.e n° 527	Phi = 0,07	« effectivement au niveau licence pro il y a effectivement des intervenants industriels qui viennent sous forme de séminaires faire de la formation chez nous. C'est d'ailleurs une obligation dans le diplôme c'est également une obligation au niveau du génie mécanique... »

Tableau 15 : Extrait des unités textuelles (u.c.e) caractéristiques de la classe 1

En effet, les u.c.i dévoilent la place importante des intervenants extérieurs dans la formation des étudiants. Comme le montre le tableau 15 (u.c.e n° 527) cette classe nous informe sur les rapports entre l'enseignement du génie mécanique et le monde industriel. Les u.c.e n° 365 et n° 69 confirment des problématiques d'organisation de l'enseignement spécifiques de l'université ce qui est en relation avec le titre que nous avons donné à cette classe 1 « L'organisation de l'enseignement du génie mécanique à l'université ». Ces u.c.e pointent des problèmes organisationnels d'articulations et de cohabitation de différents intervenants de différents champs disciplinaires, cette problématique-là est bien spécifique à l'université. D'ailleurs, nous pouvons voir à la lecture du tableau 15 (u.c.e n° 241) le panel des enseignements délivrés à l'université (*obtention de brut, métrologie, contrôle qualité, FAO, montage d'usinage, conception, etc.*). Nous pouvons voir aussi dans les lignes suivantes de ce tableau (u.c.e n° 365 et n° 69) le nombre de disciplines enseignées (*usinage, métrologie, qualité, contrôle non*

destructif, qualité) ainsi que les orientations possibles et les articulations entre les disciplines. Il convient aussi de noter que les mots étoilés spécifiques de cette classe 1 montrent que cette classe de discours est portée essentiellement par des enseignants qui exercent dans l'enseignement supérieur (L3, M1 et M2).

Pour clore l'examen de cette classe, nous soulignons que le fait que cette classe 1 se démarque des deux autres classes peut laisser penser qu'une utilisation de Mecagenius pourrait y être différente. Nous ne pouvons pas répondre pour le moment, mais l'étude des usages de Mecagenius viendra confirmer ou infirmer cette hypothèse.

2.2. Commentaires sur les discours des enseignants

La description de ces trois classes de discours permet de mettre en évidence les grands axes du corpus analysé et la prise en compte des besoins des enseignants pour la conception de Mecagenius. Ces trois classes nous permettent de relever des éléments importants du discours des enseignants comme l'illustre le dendrogramme ci-dessous (Cf. Figure 14). La classe 1 est relative à l'enseignement supérieur, comme nous l'avons vu précédemment, cette classe pointe l'importance des différents enseignements du génie mécanique et des contenus associés, nous rappelons que cette classe a été nommée « L'organisation de l'enseignement du génie mécanique ». Nous avons mentionné que cette classe se démarque des autres classes, ce qui laisse penser des utilisations différentes de Mecagenius. Comme nous l'avons vu précédemment, l'étude des usages de Mecagenius à l'université viendra valider ou invalider cette hypothèse interprétative. Aux antipodes de cette classe 1 se situent les classes 2 et 3, sur le dendrogramme, nous avons appelé cette opposition : « Difficultés didactiques rencontrées dans l'enseignement du génie mécanique ». Ces difficultés sont de deux niveaux, le premier niveau est relatif à la classe 2 et concerne les difficultés matérielles et de savoir-faire liés à l'utilisation des machines. En effet, la classe 2, comme nous l'avons vu, traite de l'utilisation des MOCN, les discours sont tenus par des enseignants de lycée. Les contraintes de temps sont omniprésentes dans ces discours que ce soit les temps de préparation, les temps d'utilisation, les temps de cours. Les enseignants doivent faire face à une gestion difficile des groupes lors du passage sur les MOCN. Ceci s'explique par des temps d'utilisation des MOCN relativement courts couramment admis. Ainsi, des préparations plus conséquentes sont requises,

des organisations plus précises et une vigilance plus accrue en raison des risques potentiels. Le deuxième niveau de difficulté est d'ordre conceptuel lié à une culture technique, il est relatif à la classe 3. En effet, le discours des enseignants de la classe 3 nous renseigne sur l'importance de la résolution de problèmes techniques au sein de l'enseignement du génie mécanique. Le réel, le concret sont des mots importants dans le discours des enseignants. L'autre point renvoie aux problématiques d'accès à une culture technique, il n'est pas sans liens avec les questions abordées dans la récente modification des filières technologiques.

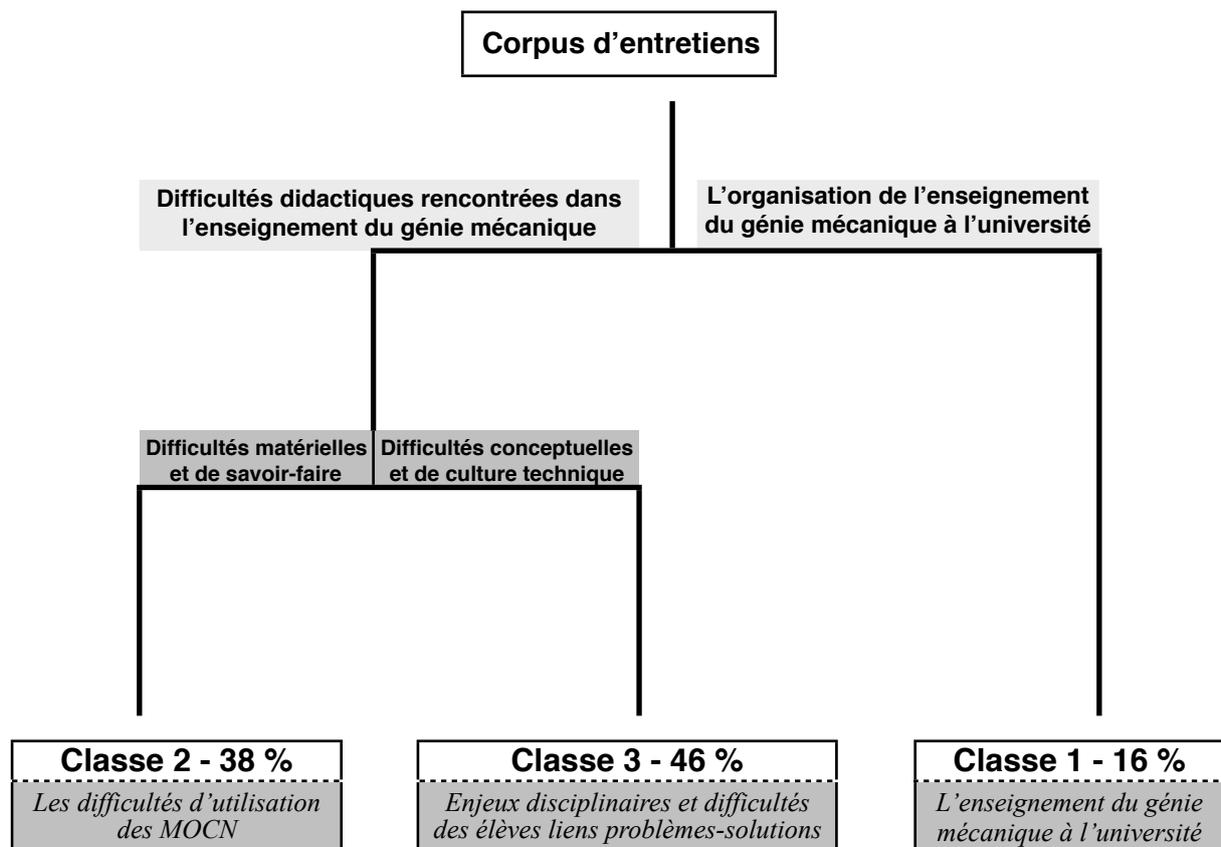


Figure 14 : Dendrogramme des classes étudiées

3. Contribution de ces deux études à la réalisation de Mecagenius

Dans le cadre de cette étude des besoins des enseignants, le logiciel ALCESTE a été utilisé comme un outil permettant l'analyse des discours des enseignants de génie mécanique afin de

prendre en compte leurs besoins dans la conception de Mecagenius. Ceci dit, nous avons effectué des retours aux transcriptions originales, cela nous a permis de stabiliser la méthode exploratoire et d'éviter certains biais liés à l'utilisation de ce logiciel d'analyse textuelle.

Cette étude des besoins des enseignants, à partir d'une analyse avec le logiciel ALCESTE et des transcriptions originales, a permis de circonscrire ce qu'ils considèrent important et ce qu'il faut enseigner. Pour ce faire, nous synthétisons ci-dessous les données issues des discours des enseignants précédemment analysées. Dans une visée de conception de Mecagenius mais aussi de mise au point et d'évaluation future, nous retiendrons à la suite de l'analyse de ces neuf cas des éléments essentiels qui nous semblent avoir contribué à la conception de Mecagenius :

- Différents contenus d'enseignement sont à inclure dans le jeu. Les enseignants, futurs utilisateurs potentiels de Mecagenius, ont repéré de multiples compétences et différents contenus du génie mécanique (notamment dans l'enseignement supérieur). En effet, les modules de métrologie, fabrication, qualité, etc. sont souvent cités comme l'illustrent les résultats de la classe 1. Cela se traduira par la création de différents mini-jeux (« *l'as de la fab* » ; « *les porte-outils* » ; « *fabrication de pièces* » ; ...).
- La culture technique-technologique est une dimension à prendre en compte si l'on considère que le *serious game* puisse garder un lien fort avec les pratiques socio-techniques prises en référence. La connaissance du vocabulaire et des problèmes spécifiques de l'industrie occupe une place centrale dans le discours des enseignants. Le rapport au réel, au concret, à la spécificité des situations sont des traits saillants qui émergent parfois. Le respect des contextes et de l'environnement industriel est important. Les différents scénarios des mini-jeux ont tenté de prendre en compte ce lien avec les pratiques sociales de référence (Martinand, 1989).
- L'ensemble des contraintes relatives à l'utilisation des MOCN apparaît dans les données recueillies auprès des enseignants. Nous retrouvons des contraintes de temps dans ces discours que ce soit au niveau des préparations, d'utilisation, de cours. Les mini-jeux « *le roi de la pref* » et « *la contre-pointe* » relèvent de situation d'apprentissage de type « *simulateur* ».
- Une classe de discours concernant l'enseignement supérieur se démarque des autres classes laissant entrevoir une utilisation de Mecagenius différente.

✓ Vers la construction du méta-jeu

L'identification des compétences nécessaires à la construction des différents mini-jeux a permis de les hiérarchiser. L'analyse des besoins des enseignants a permis d'identifier des difficultés et des obstacles à l'enseignement du génie mécanique. L'ensemble nous a permis de penser l'économie globale du méta-jeu. Les contraintes de dépendances de ces compétences ont imposé une première progression permettant d'établir le scénario au niveau du méta-jeu. Le graphe des relations et dépendances multidimensionnelles des mini-jeux dans l'univers de Mecagenius ci-dessous permet de visualiser les dépendances des mini-jeux les uns par rapport aux autres et d'organiser la chronogenèse. A titre d'exemple nous présentons la modélisation⁶⁸ ci-après qui illustre les différents itinéraires de jeu possibles pour un joueur. Les logiciels utilisés pour cette étape permettent de visualiser les différents paramètres d'influence positionnés sur les mini-jeux et de vérifier qu'il n'y a pas d'incohérence entre les différentes contraintes de dépendance des compétences et compétences antérieures.

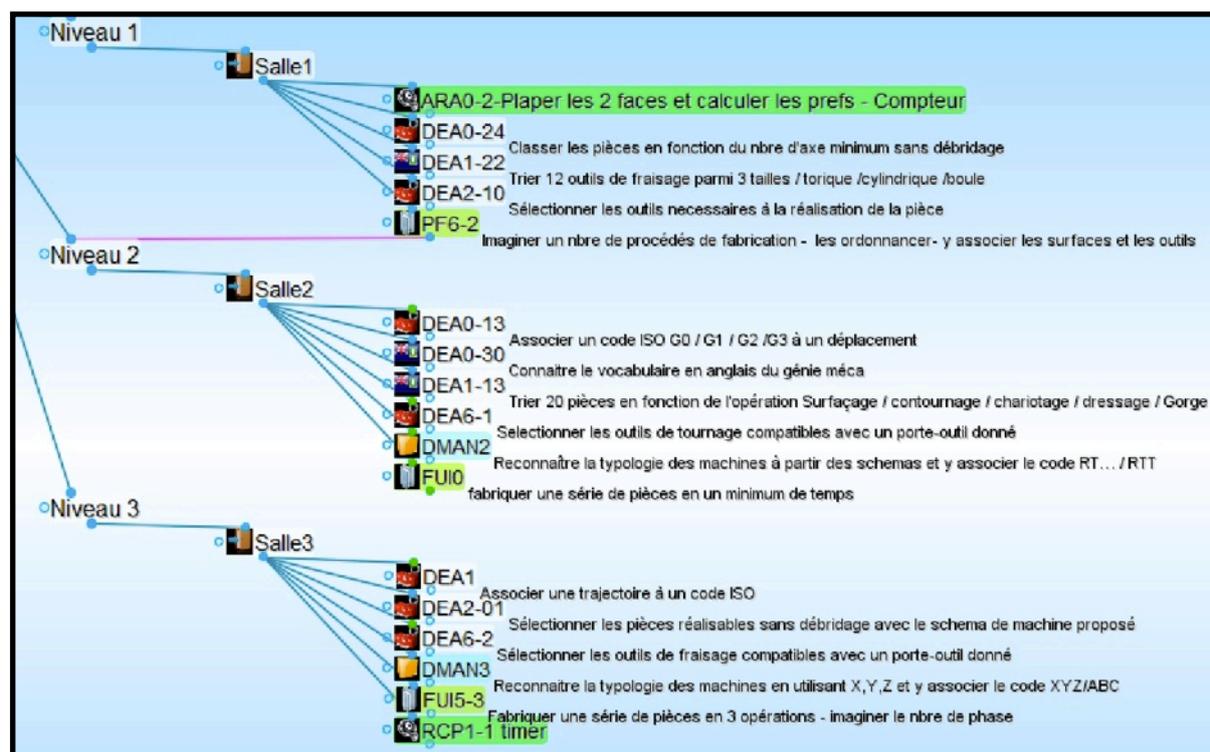


Figure 15 : Extrait des relations et dépendances multidimensionnelles des mini-jeux dans l'univers de Mecagenius

⁶⁸ Pour les mêmes raisons de confidentialité, la figure 15 ne présente pas de manière exhaustive les relations et dépendances multidimensionnelles validées par l'ensemble des partenaires.

Comme évoqué précédemment, dans la conception de Mecagenius, nous avons à l'aide de ces outils créé une progression de l'avancement des objets de savoir au cours du temps et du temps didactique qui est la chronogenèse du *serious game*. Ainsi pour chaque niveau {apprenti - confirmé - expert} et pour chaque salle {1 - 2 - 3} nous avons agencé les différents mini-jeux pour les articuler entre eux dans un scénario narratif global.

4. Conclusion de l'analyse épistémologique et technologique des savoirs de Mecagenius

4.1. Synthèse du travail effectué

Les résultats des différents travaux que nous avons menés au sein de ce projet⁶⁹ ont participé à la réalisation de Mecagenius (Cf. Annexe 3 : Rapport final de l'UMR EFTS). Les données issues des entretiens avec les neuf enseignants ainsi que l'analyse des référentiels scolaires et professionnels ont permis de contribuer à des niveaux différents à la conception des mini-jeux et du méta-jeu. Cette double prise en compte constitue l'objet de notre travail d'ingénieur-didacticien pour la réalisation de Mecagenius dans le cadre de la recherche développement de ce jeu sérieux. Elle complète le programme épistémologique prenant sa source de l'activité d'usinage développée par Becerril Ortega (2008) en prenant en compte deux études empiriques. Ainsi, nous avons, d'une part, déterminé les besoins émanant des professionnels de l'enseignement du génie mécanique issus de différentes formations pour identifier les savoirs qu'ils déclarent enseigner et les difficultés qu'ils rencontrent dans leurs pratiques. Et d'autre part, nous avons élaboré un repérage des compétences, que Mecagenius permet de développer, grâce à une analyse des curriculums et référentiels existants. Ce double étude a permis aux acteurs de ce projet de prendre connaissance des contenus d'enseignement à mettre en œuvre dans le jeu et a facilité la construction des mini-jeux. Par ailleurs, ce travail et plus précisément le repérage des compétences a participé à la construction des indicateurs pour l'étude des stratégies des élèves que nous verrons dans le chapitre 3.

⁶⁹ Sous-projet SP 3 - Accompagnement et démarches de conception des contenus - recueil des connaissances [Lot 3.1] et conception pédagogique et ingénierie didactique [Lot 3.2]

4.2. Retour sur la conception : contraintes de l'artefact et problèmes transpositifs

4.2.1. Retours sur les choix lors de la conception des mini-jeux

Au terme de ces résultats liés à la conception de Mecagenius, il convient de développer et de discuter quelles sont les contraintes que nous avons rencontrées lors de la conception. Nous mettons en évidence comment les modifications de l'artefact ont été dictées par les contraintes que nous avons rencontrées en étayant notre analyse sur deux des mini-jeux les plus centraux de Mecagenius. Nous illustrons à titre d'exemple les contraintes rencontrées lors du programme épistémologique à travers deux mini-jeux qui sont d'une part, ceux qui concentrent les difficultés énoncées par les enseignants en termes de culture technique et problèmes rencontrés sur les MOCN et d'autre part, ceux qui seront utilisés dans les deux empiriques qui suivent, à savoir l'étude des usages du *serious game* par les enseignants et les élèves aux prises avec Mecagenius.

Mecagenius comprend aujourd'hui plus de 60 mini-jeux. Afin d'illustrer ces contraintes, nous allons dans ce qui suit reprendre un des mini-jeux pour revenir sur la conception de ce dernier et mieux comprendre la problématique liée à son élaboration. Le mini-jeu nommé « *l'as de la fab* » vise l'acquisition de savoirs de génie mécanique constitutifs de la compétence du choix des conditions de coupe pour l'usinage d'une pièce. Nous rappelons ici brièvement qu'il s'agit de réaliser un maximum de pièces dans un temps donné. Pour cela, deux étapes distinctes sont présentes dans ce mini-jeu ; l'ébauche et la finition. Le joueur pour réussir ce mini-jeu, doit agir sur quatre paramètres {profondeur de passe « A_p » - vitesse de coupe « V_c » - vitesse d'avance « f » - rayon de bec de l'outil « R_{bec} »}. Pour réaliser l'étape d'ébauche, il faut enlever un maximum de matière en un minimum de temps ; pour la finition, la problématique est différente il faut obtenir un bon état de surface. Nous revenons maintenant sur les choix transpositifs pour en comprendre la conception de ce mini-jeu. Rappelons que dans le chapitre intitulé « La poursuite d'un travail de didactique professionnelle », nous avons montré comment les recherches de Becerril Ortega (2008) ont permis d'accéder aux savoirs pratiques suite à l'étude des situations professionnelles via la didactique professionnelle. Nous re-

tenons de ces travaux que deux indicateurs prélevés du réel ont été pointés, ils permettent d'évaluer la stratégie de l'opérateur : l'état de surface de la pièce (repère de la qualité) et le bruit, (relatif aux conditions de coupe). Ainsi l'opérateur en fonction du bruit et des vibrations va modifier son action pour obtenir un fonctionnement optimum de la MOCN⁷⁰. Pour concevoir le mini-jeu « *l'as de la fab* », a été retenu le premier indicateur (issu des situations professionnelles) relatif à l'état de surface de la pièce que nous avons modélisé dans le mini-jeu. Mais, nous n'avons pas pu, par exemple, intégrer le deuxième indicateur relatif au bruit et aux vibrations qui permet à l'opérateur de modifier son action pour obtenir un fonctionnement optimum de la MOCN en raison des contraintes de l'artefact Mecagenius. En effet, pour des raisons techniques mais aussi économiques nous n'avons pas pu fournir à l'utilisateur de Mecagenius les paramètres (bruit, vibration, chaleur) du réel. Ainsi, nous avons été contraint d'opérer des choix transpositifs qui, dans ce cas-là, concernent des situations professionnelles. Nous pouvons suivre ici l'analyse que fait Pastré (2001) au sujet de la construction des compétences professionnelles. En effet, la conception de Mecagenius s'appuie dans ce cas présent sur une transposition de la situation professionnelle de référence permettant aux utilisateurs de Mecagenius d'entrer progressivement dans la complexité de cette situation. Nous constatons dans les faits que ce mini-jeu « *l'as de la fab* » est certes nécessaire pour maîtriser une partie des savoirs pratiques issus des situations professionnelles relatifs à l'état de surface de la pièce usinée. Néanmoins, comme nous l'avons montré, l'utilisateur ne peut prendre en compte la totalité des dimensions de la situation professionnelle de référence. Ainsi, les enseignants utilisant Mecagenius devront avoir conscience de ces problèmes transpositifs dans les situations didactiques qu'ils vont proposer, nous discuterons de ce point dans la dernière partie de cette thèse. Ainsi, nous avons été contraint d'opérer des choix transpositifs qui, dans ce cas-là, concernent des situations professionnelles de références intégrées dans Mecagenius. Nous ne pouvons en quelques lignes présenter la totalité des choix transpositifs qui ont fait l'objet de questionnement dans le cadre de la conception de Mecagenius en raison du trop grand nombre de mini-jeux développés et de contraintes rencontrées.

⁷⁰ Nous rappelons brièvement ces indicateurs importants pour la suite de notre analyse, ils ont été pointés dans la partie relative aux points d'appuis de la recherche *Mouv* (Cf. 4.1.1.2. Les points d'appuis sur la recherche *Mouv* : analyse des activités des opérateurs)

4.2.2. Regards sur la conception de l'ensemble des mini-jeux

Dans cette section nous allons avoir un regard sur les choix effectués lors de la conception de l'ensemble des mini-jeux. Nous rappelons que deux études complémentaires ont été effectuées en vue de l'élaboration des mini-jeux (l'analyse des référentiels scolaires et professionnels et la conception des enseignants). La réalisation de Mecagenius a pris appui sur une certaine élémentarisation des savoirs. En effet, en prenant un peu de distance par rapport à la conception, la construction des mini-jeux repose sur un découpage en une série d'éléments issus des référentiels scolaires et professionnels. Cette ontologie cartésienne nous a conduit à une parcellarisation des savoirs permettant d'élaborer des mini-jeux ayant une certaine autonomie. En effet, les contraintes industrielles (temporelles, économiques, techniques, informatiques, ...) ainsi que les contraintes d'équipe pluridisciplinaire et notamment les diverses références disciplinaires nous ont conduit vers ces choix. Compte tenu de l'ensemble de ces contraintes et du fonctionnement de cette recherche industrielle, l'étape d'une problématique de constitution des jeux en terme d'activité n'a pas été toujours possible. Nous avons été parfois contraint d'opérer des choix transpositifs, qui dans ce cas-là concernent le découpage en savoirs élémentaires. En revanche, les deux mini-jeux « *le roi de la pref* » et « *l'as de la fab* » centrés sur des compétences critiques mises en évidence dans une recherche antérieure (Becerril Ortega, 2008), relèvent sans doute d'une approche mettant au cœur du milieu didactique les compétences socio techniques et les savoirs constitutifs analysés. Ceci dit, il nous semble important de rappeler que l'analyse des référentiels scolaires et professionnels a permis de classer, d'ordonner et de regrouper les compétences. Nous soulignons aussi que l'identification des compétences issues de ces curriculum a permis de réaliser la construction du méta-jeu et d'établir le scénario assurant ainsi une progressivité des apprentissages en lien avec les difficultés récurrentes citées par les enseignants interviewés.

Chapitre 2 : Le fonctionnement du système didactique aux prises avec l'artefact Mecagenius (usages didactiques du *serious game*)

Dans ce chapitre, nous décrivons les résultats relatifs à la méthodologie d'observation mise en œuvre pour l'étude du fonctionnement du système didactique aux prises avec l'artefact Mecagenius.

Nous rappelons que notre objectif consiste à décrire et comprendre, à partir d'une analyse *in situ* de l'utilisation de Mecagenius en contexte d'enseignement, comment les professeurs, en interaction avec leurs élèves, utilisent ce *serious game* au regard des objets de savoir du génie mécanique. Nous avons donc besoin d'abord de rendre compte de l'inventivité que les enseignants déploient pour insérer Mecagenius dans leur activité. Pour cela, nous nous attachons à montrer comment ils explorent, utilisent et transforment à la fois l'environnement technique et organisationnel. Les résultats seront présentés en deux grandes parties, la première concerne l'analyse macroscopique et la deuxième grande partie est l'analyse microdidactique. Comme Mecagenius a été utilisé au lycée, à l'IUT ainsi qu'à l'université, nous présentons les résultats selon ces trois niveaux et dans cet ordre-là. Pour l'analyse macroscopique, les grains de descriptions retenus sont :

- Le contexte de l'activité didactique,
- La séance réalisée par l'enseignant,
- La structuration des contenus d'enseignement,
- Le style d'intervention de l'enseignant.

Dans la deuxième grande partie relative à l'analyse microdidactique, nous analysons des épisodes et des événements remarquables prélevés lors du déroulement temporel de la séance. Nous les décrivons en mettant l'accent sur les savoirs du génie mécanique réellement mis à l'étude par les professeurs (lors des interactions didactiques) au regard de l'analyse a priori des mini-jeux et des données issues des entretiens *ante* et *post* séances. Nous concluons sur le fonctionnement du système didactique aux prises avec l'artefact Mecagenius et les perspectives de cette analyse. C'est dans le troisième et dernier chapitre que nous nous intéresserons aux stratégies des élèves au regard des objets de savoir visés par Mecagenius afin d'essayer de déterminer quels sont les effets de ce *serious game* sur leurs trajectoires d'apprentissage.

1. Brève présentation des observations effectuées

Nous présentons dans le tableau ci-dessous l'ensemble des données recueillies permettant de caractériser l'action didactique *in situ* des enseignants des différentes institutions {lycée - IUT - Université}.

Nombre de Séances	Lieu	Profs	Nombre d'élèves	Durée de la séance au regard de l'utilisation de Mecagenius
•Séance n° 1 le 22/3	Lycée	E1	12	33 min
•Séance n° 2 le 29/3				45 min
•Séance n° 3 le 5/4				43 min
•Séance n° 4 le 12/4				45 min
•Séance n° 1 le 29/3	Lycée	E2	13	44 min
•Séance n° 2 le 19/4				42 min
•Séance n° 1 le 9 /3	IUT	E1	14	33 min
•Séance n° 1 le 24/3 (TP en autonomie)	IUT	E2	20	60 min
•Séance n° 2 le 1/4 (cours)				50 min
•Séance n° 1 le 6 /4 (TP en autonomie)	Université L3	E1	Groupe A : 8	240 min
•Séance n° 2 le 13 /4 (TP en autonomie)			Groupe B : 9	240 min
•Séance n° 3 le 20 /4 (TP en autonomie)			Groupe C : 8	240 min
•Séance n° 4 le 27 /4 (TP en autonomie)			Groupe D : 10	240 min
•Séance n° 1 le 8 /4 (TP en autonomie)	Université L3	E2	Groupe E : 8	240 min
•Séance n° 2 le 22 /4 (TP en autonomie)			Groupe F : 11	240 min
•Séance n° 1 le 7 /4 (TP en autonomie)	Université L3	E2	Groupe G : 12	240 min
•Séance n° 2 le 21 /4 (TP en autonomie)			Groupe H : 10	240 min

Tableau 16 : Données recueillies selon les différents sites

La lecture de ce tableau nous permet de repérer que suivant les sites nous avons une hétérogénéité des données en termes de temps passé, de séances observées, de nombre de groupes, d'élèves, etc. Dans la suite de ce chapitre 2 nous pouvons considérer qu'il s'agit donc d'une analyse multi cas, le cas de l'utilisation en lycée, le cas de l'utilisation à l'IUT et le cas de l'utilisation à l'université. Compte tenu du petit nombre d'enseignants observés, nous n'avons pas l'ambition de généraliser les résultats que nous décrivons ci-après à l'ensemble des utilisateurs potentiels de Mecagenius en tant qu'enseignant. Bien évidemment, les analyses que nous ferons doivent être contextualisées à la fois au contexte de l'établissement observé et aux

caractéristiques de l'enseignant. Néanmoins, la visée de ce chapitre à travers ces études de cas est de discuter des usages potentiels de l'artefact Mecagenius. Nous rappelons que cette recherche est exploratoire, elle consiste à participer à une meilleure description, compréhension et explication des processus mis en œuvre lors de l'utilisation de Mecagenius en classe. Enfin, il convient de souligner que les enseignants qui ont accepté d'utiliser Mecagenius et de l'insérer dans leur pratique ordinaire l'ont fait sans avoir été formés à son utilisation.

2. L'analyse macroscopique

L'analyse macroscopique a pour visée la description des usages globaux de Mecagenius dans trois sites différents {lycée - IUT - Université}. Il s'agit ici d'examiner successivement la trame du cycle prévu par chacun des enseignants, la structuration des contenus d'enseignement relatif aux savoirs cristallisés dans le *serious game* et enfin le style didactique et pédagogique.

2.1. Les enseignants de lycée

Les deux enseignants de lycée qui ont accepté d'utiliser Mecagenius dans leurs enseignements ont respectivement 30 et 36 ans d'expérience dans l'enseignement du génie mécanique. Ces deux enseignants appartiennent à un lycée de Toulouse, ils ont en charge les mêmes classes. Les enseignants que nous avons observés n'avaient pas de fiche de préparation ou autre support.

2.1.1. L'enseignant E1 de lycée

1. Le contexte de l'activité didactique

Quatre séances ont été consacrées à l'utilisation de Mecagenius. Ces quatre séances constituent la séquence que nous allons analyser au point de vue macroscopique. Cette séquence s'est déroulée dans une classe de première STI (âge 15-16 ans) avec un fonctionnement par groupe (12 élèves). La durée de chaque séance est de 45 mn, à l'exception de la dernière

séance qui a duré une demi-heure. Le cours a eu lieu dans une salle informatique située à l'intérieur de l'atelier, les élèves étaient répartis individuellement sur les postes informatiques. Nous allons décrire dans ce qui suit les quatre séances que l'enseignant E1 a effectué.

2. Séances réalisées par l'enseignant

N° de séance	Objectif de la séance	Mini-jeux choisis
1	Découverte libre des mini-jeux	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Toucher pièce</i> • <i>Le roi de la pref</i> • <i>Mini F1</i> • <i>Les porte-outils</i> • <i>Les équipements</i> • <i>L'as de la fab</i>
2	Choix d'utiliser quatre mini-jeux	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Le roi de la pref</i> • <i>Les porte-outils</i> • <i>Les équipements</i> • <i>L'as de la fab</i>
3	Utilisation d'un mini-jeu au regard d'objectifs pédagogiques ciblés.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>L'as de la fab</i>
4	Pratique de quatre jeux dans un temps déterminé pour faire un bilan/évaluation.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Le roi de la pref</i> • <i>Les porte-outils</i> • <i>Les équipements</i> • <i>L'as de la fab</i>

Tableau 17 : Organisation des activités de l'enseignant E1 du lycée

3. Structuration des contenus d'enseignement

N° de séance	Contenus d'enseignement
1	Découverte de Mecagenius. Introduction de connaissances du génie mécanique de façon ludique.
2	Connaissance des outils, porte-outils, équipements. Connaissance du repère machine et des signes des coordonnées dans le repère machine.
3	Connaissance des paramètres de coupe. Analyse de l'influence de la vitesse d'avance et du choix de la profondeur de passe en ébauche et en finition.
4	Bilan/évaluation des connaissances correspondantes aux outils, porte-outils, méthodes, paramètres de coupe.

Tableau 18 : Programmation des apprentissages de l'enseignant E1 du lycée

Lors de cette séquence, nous pouvons observer que l'enseignant E1 a une intention de progression de l'apprentissage. Cette évolution dans le type de tâches proposées aux élèves semble relever d'une stratégie d'enseignement assumée impliquant progressivement les élèves dans Mecagenius, à la fois dans son usage matériel et moteur mais aussi dans son usage cognitif conduisant à l'apprentissage. Dans un premier temps lors de la première séance, cet enseignant met en place une situation dont l'enjeu est la simple découverte des possibilités de Mecagenius. L'objectif de cette première séance est une première imprégnation des élèves à Mecagenius. Lors de cette séance de découverte, les contenus d'enseignement ne sont pas clairement identifiés.

Nous avons observé une différenciation progressive des exigences de l'enseignant qui, dès la deuxième séance cible des enjeux de savoir de plus en plus précis en introduisant des utilisations ciblées. Quatre mini-jeux sont ainsi retenus {« *le roi de la pref* » - « *les porte-outils* » - « *les équipements* » - « *l'as de la fab* »} :

- Le mini-jeu « *le roi de la pref* » est relatif à la connaissance des axes de déplacement (X ; Z), le sens (- ; +) et l'incrément d'une MOCN. Ces apprentissages sont aussi cristallisés dans le mini-jeu « *le mini-FI* » et sont constitutifs de la compétence de réglage préalable à l'usinage d'une pièce.
- Les mini-jeux « *les porte-outils* » et « *les équipements* » visent à maîtriser les connaissances relatives aux différentes pièces mécaniques qui sont des supports d'outils permettant d'usiner des pièces.
- L'autre type d'apprentissage concerne l'utilisation du mini-jeu « *l'as de la fab* » qui véhicule des savoirs spécifiques de génie mécanique constitutifs de la compétence du choix des conditions de coupe pour l'usinage d'une pièce. Nous rappelons brièvement que ce mini-jeu « *l'as de la fab* » a pour objectif de réaliser un maximum de pièces dans un temps donné. Deux étapes distinctes sont proposées dans ce mini-jeu : l'ébauche et la finition. Le joueur, pour réussir ce mini-jeu, doit agir sur quatre paramètres {rayons de bec d'outils - vitesse de coupe - profondeur de passe - vitesse d'avance}.

Nous repérons ici un usage du *serious game* selon une logique cumulative, notamment lors de la séance n° 3 durant laquelle l'enseignant E1 reprend l'utilisation du mini-jeu « *l'as de la fab* ». Lors de cette séance (n° 3) qui gravite autour d'un seul mini-jeu, l'enseignant cible des savoir-faire précis pour que les élèves prennent conscience des influences des paramètres de coupe. Ce choix n'est pas étranger aux référentiels scolaires et s'inscrit parfaitement dans la

continuité des enseignements effectués comme le montre l'entretien *ante* séance n° 3 (Cf. Annexe 11).

Enfin, lors de la dernière séance, l'enseignant propose une évaluation lui permettant de déterminer les indicateurs pour une possible ultérieure régulation de l'apprentissage mais aussi pour mesurer les apprentissages acquis lors de l'utilisation de Mecagenius. L'analyse fine des bandes-vidéo met en évidence que lors de cette dernière séance l'enseignant s'est limité à l'observation sans faire aucune régulation.

4. Style d'intervention de l'enseignant

Il s'agit ici de repérer de façon globale à partir des propositions de Lesne (1977) et Altet (1990) le style pédagogique et didactique de l'enseignant. Selon Altet (1990), le style pédagogique, c'est la manière dominante personnelle d'être, d'entrer en relation et de faire de l'enseignement. Cette auteure pointe trois dimensions constructives, interdépendantes et étroitement liées entre elles du style pédagogique :

- La manière dominante personnelle d'être de l'enseignant, liée à sa personnalité cognitive nommée « style personnel ».
- La manière dominante personnelle d'entrer en relation avec les élèves appelée « style relationnel, interactionnelle ».
- La manière dominante personnelle de faire, d'organiser la situation pédagogique, en référence aux stratégies et modalités choisies par l'enseignant, qui est le « style didactique ».

De même, les travaux de Lesne (1977) relatifs aux modes de travail pédagogique (MTP) ont permis de circonscrire trois types de travail pédagogique :

- Le mode de travail pédagogique de type transmissif à orientation normative (MTP 1)
- Le mode de travail pédagogique de type incitatif à orientation personnelle (MTP 2)
- Le mode de travail pédagogique de type appropriatif centré sur l'insertion sociale (MTP 3)

En nous appuyant sur les propositions de ces deux auteurs nous pouvons décrire la logique d'action de l'enseignant lorsqu'il utilise Mecagenius. Ainsi, l'analyse globale des intentions

didactiques de cet enseignant de lycée (E1) met en évidence l'utilisation du style d'enseignement incitatif (MTP 2) et transmissif (MTP 1) de la part de cet enseignant. La bande-vidéo montre que l'enseignant E1 est intervenu à de nombreuses reprises auprès de ses élèves pour mettre en évidence certaines erreurs à éviter et aussi pour expliquer les conséquences de certaines actions. Ce style est progressivement associé à un style appropriatif (MTP 3), impliquant les élèves dans l'analyse de leurs actions et de leurs résultats. L'analyse de la bande-vidéo montre que systématiquement l'enseignant se déplace (dans le dos des élèves) pour observer leurs stratégies ; il en profite pour donner quelques conseils à la volée. L'analyse de type microdidactique permettra d'affiner ce point-là en repérant le type de transmission, les régulations faites lors des différentes séances observées au regard des savoirs cristallisés dans les différents mini-jeux de Mecagenius.

2.1.2. L'enseignant E2 de lycée

1. Le contexte de l'activité didactique

Tout comme l'enseignant E1, la séquence s'est déroulée dans une classe de première STI (âge 15-16 ans) avec un fonctionnement par groupe (10 élèves). Cette séquence a été mise en place sur deux séances, la durée de chaque séance est de 45 mn. Le cours s'est déroulé dans la même salle informatique que l'enseignant E1 située à l'intérieur de l'atelier, les élèves étaient répartis individuellement sur les postes informatiques. Nous décrivons les deux séances prévues par l'enseignant E2 dans ce qui suit.

2. Séances prévues par l'enseignant

N° de séance	Objectif de la séance	Mini-jeux choisis
1	Découverte libre des mini-jeux	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Toucher pièce</i> • <i>Le roi de la pref</i> • <i>Mini F1</i> • <i>Les porte-outils</i> • <i>Les équipements</i> • <i>Procédés d'usinage</i> • <i>L'armoire des porte-outils</i> • <i>L'as de la fab</i>
2	Utilisation d'un mini-jeu au regard d'objectifs pédagogiques ciblés.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>L'as de la fab</i>

Tableau 19 : Organisation des activités de l'enseignant E2 du lycée

3. Structuration des contenus d'enseignement

N° de séance	Contenus d'enseignement
1	Introduire une connaissance du génie mécanique de façon ludique. Lors de cette séance de découverte, les contenus d'enseignement n'étaient pas clairement identifiés.
2	Connaissance des paramètres de coupe. Analyse de l'influence de la vitesse d'avance et du choix de la profondeur de passe en ébauche et en finition.

Tableau 20 : Programmation des apprentissages de l'enseignant E2 du lycée

Nous retrouvons ici des similitudes avec l'enseignant E1. En effet, lors de cette séquence l'enseignant propose tout d'abord une situation dont l'enjeu est la simple découverte des possibilités de Mecagenius. Durant la première séance, l'enseignant de Lycée E2 propose une manipulation libre de Mecagenius afin de découvrir et d'exploiter toutes les possibilités de ce *serious game*. Il a d'ailleurs précisé lors de l'entretien *post* séance que : « *J'ai essayé de voir comment ils s'y prenaient et qu'est-ce que c'est qui les intéressaient* ». Lors de la deuxième séance l'enseignant E2 cerne des enjeux de savoir plus précis en introduisant des tâches ciblées à propos du mini-jeu « *l'as de la fab* ». Les tâches proposées semblent relever d'une stratégie d'enseignement assumée impliquant progressivement les élèves dans une activité motrice et cognitive conduisant à deux types d'apprentissages relatifs aux savoir-faire concernant l'influence de la vitesse d'avance et du choix de la profondeur de passe en ébauche et en finition (voir section précédente relative à la structuration des contenus d'enseignement de l'enseignant E1 à propos de ce mini-jeu).

Il est à noter qu'il n'y a pas de séance de bilan/évaluation prévue par cet enseignant E2.

4. Style d'intervention de l'enseignant

Tout comme l'enseignant E1, l'analyse des communications didactiques met en évidence l'utilisation du style d'enseignement incitatif (MTP 2) et transmissif (MTP 1). Les bandes audio vidéo montrent que l'enseignant passe auprès des élèves et leur demande de commenter ce qu'ils font. Tantôt cet enseignant communique les consignes qui sont relatives aux différents mini-jeux utilisés par les élèves. Comme nous l'avons vu pour l'enseignant E1, l'enseignant E2 se déplace (dans le dos des élèves) pour observer leurs stratégies. Ce style est progressivement associé à un style appropriatif (MTP 3) impliquant les élèves dans l'analyse de leurs actions et de leurs résultats. Les bandes-vidéo montrent aussi que E2 demande aux élèves

d'intervenir sur des critères bien définis que nous précisons lors de l'analyse de type microdidactique. Nous observons aussi sur la bande-vidéo que lorsque l'enseignant E2 s'adresse alternativement à la classe ou à un élève c'est pour donner quelques conseils à la volée et aussi pour les guider dans les mini-jeux.

2.1.3. Conclusions pour les enseignants de lycée

Pour conclure sur les modalités d'utilisation de Mecagenius relatifs aux enseignants de lycée, nous pouvons dire que l'analyse macroscopique de l'enseignement au lycée a permis de relever certaines façons d'utiliser cet artefact que nous affinerons grâce à l'analyse microdidactique. D'une façon globale, il apparaît beaucoup de similitudes. Les deux enseignants proposent une même situation de départ avec une découverte « libre » des mini-jeux. Lors de cette première séance, ils offrent l'occasion aux élèves de découvrir et d'exploiter toutes les possibilités de Mecagenius. Les bandes-vidéo pointent que cette approche offrant une certaine liberté accordée aux élèves dans le déroulement des tâches ne pose aucun problème (gestion de groupes, compréhension, échec, dysfonctionnements quelconques).

Les deux enseignants de lycée (E1 et E2) effectuent ensuite lors des séances suivantes un choix précis d'un des mini-jeux. Ce choix est validé par des objets de savoir précis qui répondent à des difficultés rencontrées lors des manipulations des MOCN. Lors des séances qui ont précédées l'utilisation de Mecagenius, les élèves ont dû modifier sur les MOCN les paramètres de coupe en ébauche et en finition. Au cours de l'entretien *ante* séance n° 3 l'enseignant E1 déclare à propos de la séance précédente : « *On a réalisé un corrigé de FAO fraisage où effectivement ils avaient à modifier les paramètres de coupe dans FAO avec des valeurs différentes notamment en ébauche et en finition* ». L'enseignant E2 rejoint tout à fait le point de vue de son collègue. Ces deux avis nous permettent de penser que Mecagenius s'insère parfaitement dans la progression des apprentissages des deux enseignants (E1 et E2) de lycée et répond parfaitement aux attentes des enseignants. Ainsi, après avoir effectué une phase de découverte, ces deux enseignants ont repéré le même mini-jeu « *l'as de la fab* » pour lequel ils ont consacré une séance complète. Il paraît intéressant de noter que ce mini-jeu répond à la fois au référentiel, aux difficultés et aux besoins de ces deux enseignants.

2.2. Les enseignants de l'IUT

Les deux enseignants de l'IUT qui ont accepté d'utiliser Mecagenius dans leurs enseignements ont respectivement 18 et 20 ans d'expérience dans l'enseignement du génie mécanique. Ces deux enseignants (E1 et E2) interviennent au département de génie mécanique de IUT de Toulouse. Ils ont en charge les mêmes classes à savoir des deuxièmes années d'IUT. Ces deux enseignants se différencient puisque le premier E1 est formateur à l'IUFM de Midi-Pyrénées, et a participé, lorsqu'existait encore le CAPET de génie mécanique, à la formation des futurs enseignants. Les deux enseignants que nous avons observé ne produisent pas de fiche de préparation ni n'utilisent d'autres types de supports.

2.2.1. L'enseignant E1 de l'IUT

1. Le contexte de l'activité didactique

La séquence s'est déroulée dans une classe de deuxième année d'IUT (âge 19-21 ans) avec un fonctionnement par groupe. La durée de chaque séance est d'une heure. Le cours s'est déroulé dans une salle informatique, les élèves étaient répartis individuellement sur les postes informatiques. L'enseignant n'a prévu qu'une séance.

2. Séance prévue par l'enseignant

Contrairement aux enseignants de lycée qui proposent notamment une situation de découverte de plusieurs mini-jeux, nous sommes ici en présence d'un usage de Mecagenius par réduction d'un enjeu de savoir particulier (Cf. analyse épistémologique) où dès le départ l'enseignant ne retient qu'un seul mini-jeu « *l'as de la fab* ».

N° de séance	Objectif de la séance	Mini-jeu choisi
1	Utilisation d'un mini-jeu au regard d'objectifs pédagogiques ciblés.	• « <i>L'as de la fab</i> »

Tableau 21 : Organisation des activités de l'enseignant E1 de l'IUT

3. Structuration des contenus d'enseignement

N° de séance	Contenus d'enseignement
1	Connaissance des paramètres de coupe. Analyse de l'influence de la vitesse d'avance et du choix de la profondeur de passe en ébauche et en finition.

Tableau 22 : Programmation des apprentissages de l'enseignant E1 de l'IUT

Lors de cette séance, l'enseignant met en place une situation dont l'enjeu est la simple découverte libre des possibilités d'un mini-jeu de Mecagenius appelé « *l'as de la fab* ». L'objet de savoir est relatif à des questions liées au choix de conditions de coupe comme nous l'avons décrit dans le chapitre du cadre théorique dans lequel, nous évoquions les liens entre le projet Mecagenius et l'analyse de l'activité d'un conducteur de machine-outil réalisée par Becerril Ortega (2008). Nous pensons que cet enseignant E1 a parfaitement ciblé l'enjeu de savoir particulier qui était intégré dans ce mini-jeu et les similitudes qu'il pouvait représenter avec les situations professionnelles de référence. Nous pensons aussi que le choix de ce mini-jeu est bien en phase avec son projet d'enseignement et qu'il a une certaine utilité pour cet enseignant. D'ailleurs, l'utilisation de ce mini-jeu a pour objectif de développer lors de la prochaine séance une politique de projets. Ainsi, il espère (Cf. Entretien *ante*) que lors de la présentation des projets les étudiants s'appuient sur ce mini-jeu « *l'as de la fab* » pour exposer des savoirs relatifs aux conditions de coupe en ébauche et en finition.

4. Style d'intervention de l'enseignant

Après avoir donné la consigne relative au choix du mini-jeu « *l'as de la fab* », l'enseignant invite les étudiants à explorer ce dernier. Après 10 mn de manipulation, l'enseignant propose un petit défi qui est une compétition entre les étudiants qui consiste à réaliser le meilleur score en un temps donné. L'enseignant fixe des contraintes de niveau de jeu, de temps et d'opérations à effectuer. Lors de cette phase-là, l'enseignant est sur mode de travail pédagogique de type incitatif à orientation personnelle (MTP 2) (Lesne, 1977). A la fin de ce défi, l'enseignant fait une synthèse, une institutionnalisation au regard des enjeux de savoirs relatifs au mini-jeu « *l'as de la fab* », il va légitimer les connaissances produites dans la classe suite à l'utilisation de Mecagenius. Sur un mode de travail pédagogique de type transmissif à orientation norma-

tive (MTP 1), l'enseignant va énoncer les savoirs⁷¹ constitutifs de la compétence d'usage d'une pièce implémentés dans ce mini-jeu (Lesne, 1977). Le style pédagogique et didactique de l'enseignant est selon Altet (1990) « un style didactique », c'est-à-dire que l'enseignant met en œuvre une manière dominante personnelle de faire et d'organiser la situation pédagogique en référence aux stratégies et modalités qu'il a choisi. Ces modalités sont celles issues de l'utilisation du mini-jeu « *l'as de la fab* » et des savoirs cristallisés dans ce mini-jeu, nous y reviendrons de façon plus détaillée lors de l'analyse microdidactique.

2.2.2. L'enseignant E2 de l'IUT

1. Le contexte de l'activité didactique

La séance s'est déroulée avec une classe de deuxième année (âge 19-21 ans) et un fonctionnement par groupe (24 étudiants). La durée de la séance est d'une heure. Le cours s'est déroulé dans une salle informatique, les élèves étaient répartis individuellement sur les postes informatiques. L'enseignant a prévu qu'une seule séance.

2. Séance prévue par l'enseignant

Tout comme l'enseignant E1 de l'IUT, nous sommes aussi face à un usage de Mecagenius par réduction d'un enjeu de savoir particulier (Cf. analyse épistémologique).

N° de séance	Objectif de la séance	Mini-jeu choisi
1	Utilisation d'un mini-jeu au regard d'objectifs pédagogiques ciblés.	• « <i>L'as de la fab</i> »

Tableau 23 : Organisation des activités de l'enseignant E2 de l'IUT

⁷¹ Nous rappelons ici les quatre paramètres {rayons de bec d'outils « R bec » - vitesse de coupe « Vc » - profondeur de passe « Ap » - vitesse d'avance « f »} en ébauche et en finition qui sont nécessaires à la réussite de ce mini-jeu.

3. Structuration des contenus d'enseignement

N° de séance	Contenus d'enseignement
1	<ul style="list-style-type: none"> • Connaissance des paramètres de coupe. Analyse de l'influence de la vitesse d'avance et du choix de la profondeur de passe en ébauche et en finition.

Tableau 24 : Programmation des apprentissages de l'enseignant E2 de l'IUT

Lors de cette séance l'enseignant met en place une situation dont l'enjeu est la découverte en autonomie des possibilités du mini-jeu de Mecagenius appelé « *l'as de la fab* ». L'objet de savoir est relatif à des questions liées au choix de conditions de coupe. La séance d'utilisation de Mecagenius prend place après deux séances de deux heures de préparation dont l'objectif était la rédaction du contrat de phase⁷² (Cf. Annexe 4). Le mini-jeu « *l'as de la fab* » est utilisé par les étudiants en autonomie totale, c'est-à-dire sans la présence de l'enseignant. L'objectif visé est qu'ils puissent acquérir les connaissances sur le choix des conditions de coupe. Ensuite, dans la séance suivante l'enseignant institutionnalise pendant un quart d'heure en signifiant aux élèves quels étaient les enjeux d'apprentissage du mini-jeu nommé « *l'as de la fab* ».

4. Style d'intervention de l'enseignant

A propos du style d'enseignement de cet enseignant, nous pouvons dire qu'il considère le mini-jeu « *l'as de la fab* » comme un complément de cours. Cette dévolution « complète » en autonomie est proposée par E2 aux étudiants afin qu'ils repèrent des indices auxquels l'enseignant reviendra par la suite. En effet, lors de cette séance nous remarquons que le professeur propose à ses élèves d'assumer totalement la responsabilité de leur apprentissage (dévolution) Dans la séance qui a suivi (cours en classe entière sans Mecagenius à laquelle nous avons toutefois assisté) l'enseignant revient brièvement sur les usages qu'ont fait les élèves du mini-jeu « *l'as de la fab* » lors du TP, en leur signifiant quels sont les enjeux de l'apprentissage attendu ainsi que les savoirs qui y sont associés. Selon Altet (1990), la manière dominante personnelle de faire de cet enseignant E2 de l'IUT, est un « style

⁷² Pour fabriquer chacune des pièces d'un produit, le bureau des méthodes rédige un document (contrat de phase) qui regroupe les gammes de fabrication et d'assemblage et le processus de fabrication du produit. (Cf. Annexe 4 Livrable des compétences, savoir et savoir faire du rôle « apprenti »).

didactique ». En effet, ce dernier organise la situation pédagogique, en référence aux stratégies et modalités d'utilisation de Mecagenius par ses étudiants pour asseoir son rôle transmissif (MTP1).

En conclusion l'usage de Mecagenius qui se dégage de cette analyse montre une juxtaposition d'ateliers dans lesquels les étudiants sont laissés à eux-mêmes face à Mecagenius. Nous y reviendrons au cours de l'étude macroscopique des deux enseignants de l'université.

2.2.3. Conclusions pour les enseignants de l'IUT

En conclusion de cette étude macroscopique de ces deux enseignants de l'IUT, nous pouvons dire que les données sont hétérogènes. En effet, selon les enseignants, l'intentionnalité didactique varie autour de l'utilisation d'un même mini-jeu (« *l'as de la fab* »). Nous pouvons observer d'une part un enseignement avec Mecagenius en présence de l'enseignant pour E1 ou d'autre part sans la présence de l'enseignant (E2). Dans le premier cas, l'enseignant E1 propose une situation de découverte « libre » d'un mini-jeu puis progressivement, il s'appuie sur Mecagenius pour conduire le cours qu'il est habitué à donner dans le cadre de son enseignement classique de l'IUT. Dans le deuxième cas, Mecagenius est une activité « satellite », nous entendons par là qu'elle gravite autour des enseignements prévus par l'enseignant. Ce dernier y fera référence dans la séance de cours suivante, le citant comme exemple afin d'institutionnaliser.

2.3. Les enseignants de l'université

Les deux enseignants E1 et E2 de l'Université qui ont accepté d'utiliser Mecagenius dans leurs enseignements ont respectivement 14 et 20 ans d'expérience dans l'enseignement du génie mécanique. Ces deux enseignants appartiennent à une université de Toulouse, ils ont en charge les mêmes classes à savoir des licences professionnelles de génie mécanique. Ces deux enseignants E1 et E2 que nous avons observés n'avaient pas de fiche de préparation ou autre support.

2.3.1. L'enseignant E1 de l'université

1. Le contexte de l'activité didactique

La séquence s'est déroulée avec une classe de L3 professionnelle de troisième année universitaire (âge des étudiants 20-23 ans), avec un fonctionnement par groupe en travaux pratiques (TP). La durée de chaque séance est de quatre heures. Le cours s'est déroulé dans une salle informatique qui est située dans l'atelier où se situent les MOCN, les élèves étaient répartis individuellement sur les postes informatiques. L'enseignant n'a prévu qu'une séance qu'il reconduira avec d'autres groupes de L3.

2. Séance prévue par l'enseignant

Comme les enseignants de l'IUT l'usage de Mecagenius est effectué par réduction autour d'un enjeu de savoir particulier (Cf. analyse épistémologique) et un seul mini-jeu est retenu : « *le roi de la pref* ».

N° de séance	Objectif de la séance	Mini-jeu choisi
1	Utilisation d'un mini-jeu au regard d'objectifs pédagogiques ciblés (rappelons les enjeux de savoir)	• « <i>le roi de la pref</i> »

Tableau 25 : Organisation des activités de l'enseignant E1 de l'université

3. Structuration des contenus d'enseignement

N° de séance	Contenus d'enseignement
1	Connaissance du repère machine et des signes des coordonnées dans le repère machine.

Tableau 26 : Programmation des apprentissages de l'enseignant E1 de l'université

Lors de cette séance l'enseignant met en place une situation dont l'enjeu est la matérialisation ou la simulation d'une machine-outil à commande numérique. Le mini-jeu retenu, ici « *le roi de la pref* » est perçu comme « *un complément d'enseignement sur la mise en œuvre des* »

MOCN ». L'objet de savoir est relatif à la méthodologie de mise en œuvre d'une MOCN comme nous l'avons décrit dans le cadre théorique. Le caractère ludique est perçu comme une variable pédagogique permettant d'aborder les méthodes de réglage sans risque eu égard de la MOCN tout en mobilisant les étudiants. C'est un usage « satellite » qui est prévu mais qui reste en articulation avec les travaux pratiques sur les MOCN.

4. Style d'intervention de l'enseignant

Après avoir donné la consigne relative au choix du mini-jeu « *le roi de la pref* », l'enseignant invite les étudiants à explorer ce dernier. Ensuite, cet enseignant prend les autres groupes pour aller dans l'atelier faire son TP sur les MOCN. Les étudiants utilisant Mecagenius sont en autonomie complète. Après un temps de manipulation, qui est fonction de l'utilisation des MOCN et de la gestion des autres groupes, l'enseignant invite les étudiants ayant pratiqué Mecagenius à le rejoindre. Les étudiants qui sont passés sur la MOCN prennent place devant les ordinateurs pour utiliser Mecagenius et ainsi de suite. Enfin, cet enseignant lors des travaux pratiques fait quelques brèves références à Mecagenius mais sans forcément développer les savoirs relatifs au mini-jeu que les étudiants viennent de découvrir. Le style de cet enseignant est presque dans le « laisser faire » où il reste en retrait face aux demandes du groupe. Son rôle est de surveiller « de loin » les activités sans intervenir dans le groupe.

2.3.2. L'enseignant E2 de l'université

1. Le contexte de l'activité didactique

Tout comme l'enseignant E1, la séquence s'est déroulée avec des L3 professionnelle (âge 20-23 ans), avec un fonctionnement par groupe en travaux pratiques (TP), dans les mêmes conditions de durée et de lieu (salle informatique située dans l'atelier où sont installés les MOCN). Les élèves étaient répartis individuellement sur les postes informatiques. L'enseignant n'a prévu qu'une séance.

2. Séance prévue par l'enseignant

N° de séance	Objectif de la séance	Mini-jeu choisi
1	Utilisation d'un mini-jeu au regard d'objectifs pédagogiques ciblés.	• « <i>Le roi de la pref</i> »

Tableau 27 : Organisation des activités de l'enseignant E2 de l'université

3. Structuration des contenus d'enseignement

N° de séance	Contenus d'enseignement
1	Connaissance du repère machine et des signes des coordonnées dans le repère machine.

Tableau 28 : Programmation des apprentissages de l'enseignant E2 de l'université

Lors de cette séance l'enseignant met en place une situation dont l'enjeu est la matérialisation ou la simulation d'une machine-outil à commande numérique. Le mini-jeu, ici « *le roi de la pref* » est un support permettant de faire le lien entre les cours et les travaux pratiques. L'objet de savoir est relatif ici aussi à la méthodologie de mise en œuvre d'une MOCN. Le fonctionnement est identique à celui l'enseignant E1.

4. Style d'intervention de l'enseignant

Après avoir donné la consigne relative au choix du mini-jeu, cet enseignant invite les étudiants à explorer ce dernier. Ensuite, E2 prend les autres groupes pour aller dans l'atelier faire ses travaux pratiques sur les différentes MOCN. Les étudiants sont en autonomie complète. A la fin de la séance, ils remplacent un autre groupe et ainsi de suite. Le fonctionnement de cet enseignant est identique à celui de son collègue.

2.3.3. Conclusions pour les enseignants de l'université

Les observations relatives aux enseignants de l'université, montrent que les données sont homogènes. En effet, pour ces deux enseignants (E1 et E2), l'intentionnalité didactique est la même. Nous pouvons observer d'une part que Mecagenius n'est absolument pas intégré au processus didactique, l'usage de ce *serious game* est une juxtaposition d'ateliers de travail dans lesquels les étudiants sont laissés en autonomie. Dans les deux cas, les enseignants proposent une même situation avec une découverte « libre » du mini-jeu « *le roi de la pref* » puis après avoir défini l'organisation de l'alternance entre les travaux pratiques sur les MOCN et le mini-jeu « *le roi de la pref* », les deux enseignants E1 et E2 de l'université prennent les autres groupes sur les MOCN. Ces derniers feront quelques brèves références lors du TP en citant des similitudes entre le mini-jeu « *le roi de la pref* » et la MOCN. Nous pensons que cela montre que le choix de ce mini-jeu est bien en phase avec leur projet d'enseignement et qu'il a une certaine utilité pour ces deux enseignants. Rajoutons aussi que ce choix est également dicté par des enjeux de savoir denses au regard de l'utilisation de la MOCN. En effet, le mini-jeu « *le roi de la pref* » prend en compte la totalité des dimensions de la situation professionnelle de référence et propose une reproduction assez fidèle de la situation de travail et de l'activité de l'opérateur. Mais, comme nous l'avons mentionné lors de l'étude des filiations avec la recherche antérieure *Mouv*, le travail de Becerril Ortega (2008) a permis d'identifier un obstacle épistémologique lié au passage des machines-outils conventionnelles aux machines-outils numériques dans les années 1980. Il est à rappeler que les opérateurs ont rencontré une difficulté dans le calcul des vecteurs appliqués dans la position relative des parties de la machine « Pref ». Ainsi, le mini-jeu « *le roi de la pref* » en appui sur cet obstacle intègre notamment un calcul vectoriel relatif à « la prise de référence » pour prendre en compte les compétences demandées aux opérateurs sur machines conventionnelles. Nous pensons que les enseignants de l'université ont parfaitement ciblé l'enjeu de savoir particulier qui était intégré dans ce mini-jeu ainsi que les similitudes qu'il pouvait représenter avec les ces situations professionnelles de référence. Pour ces enseignants, ce mini-jeu « *le roi de la pref* » permet également de garantir le transfert dans une nouvelle activité avec les machines-outils numériques qui, rappelons-le, est l'objet d'enseignement des travaux pratiques qu'ils réalisent en parallèle avec l'utilisation de Mecagenius.

Le fait que l'intentionnalité didactique des deux enseignants de l'université soit différente des autres enseignants (du lycée et de l'IUT) n'est pas un hasard. En effet, nous rappelons que lors de l'étude des besoins des enseignants (Cf. chapitre 1.2 L'étude des besoins des enseignants), nous avons relevé que la classe 1 que nous avons nommée « L'organisation de l'enseignement du génie mécanique à l'université » se démarquait des deux autres classes de discours. Ceci nous avait conduit à penser qu'une utilisation de Mecagenius serait différente à l'université. Cette étude des usages de Mecagenius confirme effectivement que, dans l'enseignement supérieur, l'utilisation de ce *serious game* est bien différente de l'utilisation dans les autres institutions. Mais cet usage pédagogique d'occupation des étudiants avec cette utilisation du « laisser faire » au sens de Kurt Lewin⁷³ (1968) où l'enseignant reste en retrait et dans notre cas absent du groupe d'étudiants qui utilisent Mecagenius nous conduit vers l'impossibilité de mener une analyse microdidactique dans ce site. En effet, puisque nous n'avons jamais observé de moments où ces deux enseignants universitaires interagissaient avec leurs étudiants aux prises avec le mini-jeu « *le roi de la pref* » nous ne pouvons pas identifier des éléments significatifs de l'action conjointe du professeur avec les étudiants. Ceci est aussi valable pour l'enseignant E2 de l'IUT qui opère de la même façon que ces deux enseignants de l'université.

2.4. Conclusion générale de l'analyse macroscopique

Les résultats de cette analyse nous ont permis de dégager différents usages par les enseignants de l'artefact Mecagenius à des fins d'enseignement selon trois institutions {lycée - IUT - Université}. Le premier constat est que nous sommes face à une hétérogénéité qui est fonction des différents sites et des différents enseignants. Dans cette section, nous allons caractériser les types d'usages de Mecagenius selon l'approche macroscopique que nous avons effectuée. Au lycée, nous sommes en présence d'un usage qui consiste à intégrer l'artefact à une intentionnalité didactique spécifique au savoir du génie mécanique. A l'IUT, nous observons un

⁷³ Les recherches de Kurt Lewin sur les implications différentes des animateurs sur trois groupes (« directif », « participatif » et « laissez-faire ») ont montré que le type de *leadership* pouvait avoir une influence sur le travail produit et sur la satisfaction des élèves.

usage de l'artefact pour développer une politique de projets dont les objectifs s'éloignent de l'utilisation de Mecagenius initialement prévue. Un troisième usage que nous retrouvons à la fois à l'IUT (pour l'enseignant E2) et à l'université (pour les enseignants E1 et E2) qui est un usage de délégation, Mecagenius est utilisé plutôt comme palliatif des problèmes d'ordre pédagogique, notamment matériels. Néanmoins cette délégation se fait sur le mini-jeu le plus ciblé sur les compétences d'utilisation des MOCN.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, ces résultats font écho avec l'étude des besoins des enseignants où, la classe 1 relative à l'enseignement supérieur se démarquait des autres classes. Nous sommes en présence d'un usage mixte de Mecagenius, nous entendons par là, un usage dans des séances d'enseignement en présentiel et une utilisation à distance. Ces deux modalités d'utilisation de Mecagenius {présentiel - à distance} laissent entrevoir des possibilités de formations mixtes "*blended learning*" (Thorne, 2003) qui pourraient alterner ces deux modes d'usage de cet artefact. Cette analyse macroscopique a permis de pointer certaines utilisations dans trois institutions différentes, mais à cette étape de la recherche, ces tendances n'ont qu'un statut d'hypothèses interprétatives. Pour corroborer ces hypothèses interprétatives des usages de Mecagenius par les professeurs, nous allons descendre à une analyse micro didactique. Notre objectif sera d'approfondir les traits mis en évidence afin d'en tirer des conclusions plus générales sur les usages de l'artefact.

3. L'analyse microdidactique

Ayant, dans le précédent chapitre mis en évidence la façon dont les enseignants aux prises avec Mecagenius, *in situ*, conduisent leur enseignement, nous affinons maintenant l'étude des actions didactiques de ces enseignants. Dans cette section, nous présentons les résultats de l'analyse microdidactique qui prend, comme nous l'avons mentionné précédemment, le relais de l'analyse macroscopique. Nous avons ainsi repéré dans chaque séance filmée les moments où le professeur, dans chacune des institutions, interagit avec un ou plusieurs élèves lors de l'utilisation de Mecagenius afin d'identifier des éléments significatifs sur l'action conjointe. Ce repérage correspond à des épisodes de quelques minutes ou de micros événements (Cf. chapitre relatif aux méthodes mises en œuvre pour la contribution au programme didactique) qui, selon les lieux d'observation prendront un sens particulier. L'analyse microdidactique, s'appuie sur les synopsis des séances filmées ainsi que sur les entretiens *ante* et *post* séances. Le synopsis présente le déroulement temporel de la séance, minute après minute à partir du découpage correspondant aux tâches mises en place et aux modalités de travail instaurées. Il indique également les principales consignes données par l'enseignant dans la colonne la plus à droite. Le discours de l'enseignant est repéré en italique dans le tableau, son intervention est ainsi positionnée en raison de la spécificité de cette relation dissymétrique entre les élèves et l'enseignant. Dans ces synopsis, nous soulignons en gris clair les épisodes rendant compte d'une action du professeur en direction des élèves. Pour éviter d'alourdir le propos, nous nous limitons à une présentation de l'analyse, la totalité étant disponible en annexe (Cf. Annexe 36 à 42)

Lorsque les élèves utilisent Mecagenius, l'enseignant s'adresse parfois à la classe toute entière sans qu'il y ait forcément des interactions verbales en retour de la part des élèves occupés à jouer. Parfois, l'enseignant régule au plus près d'un ou de plusieurs élèves aux prises avec le mini-jeu utilisé. C'est pourquoi dans le cadre de cette étude microdidactique, nous nous sommes appuyé sur la théorie de l'action conjointe en didactique tout en privilégiant les indicateurs et les descripteurs⁷⁴ de l'action du professeur tels que définis par Sensevy (2001, 2007) et Sensevy Mercier et Schubauer-Leoni, (2000). Rappelons que l'utilisation de Mecagenius dans la classe reste sous la responsabilité des professeurs qui utilisent tel ou tel

⁷⁴ La définition, la dévolution, la régulation et l'institutionnalisation

mini-jeu(x) qu'ils proposent à leurs élèves. Pour chaque mini-jeu nous disposons d'une analyse didactique des enjeux de savoir qui y sont cristallisés (Cf. Section 3.2.2. Description des deux mini-jeux utilisés dans le cadre de l'expérience). Si nécessaire nous développons une analyse didactique des autres mini-jeux utilisés.

Dans le tableau ci-dessous, nous synthétisons l'ensemble des analyses de type microdidactique que nous avons effectuées.

Analyse microdidactique des séances	Lieu	Profs	Remarques
•Séance n° 1, le 22 /3	Lycée	E1	Conduite de toute la classe Utilisation du <i>serious game</i> sous contrôle de l'enseignant
•Séance n° 2, le 29 /3			
•Séance n° 3, le 5 /4			
•Séance n° 4, le 12 /4			
•Séance n° 1, le 29 /3	Lycée	E2	Conduite de toute la classe Utilisation du <i>serious game</i> sous contrôle de l'enseignant
•Séance n° 2, le 19 /4			
•Séance n° 1, le 9 /3	IUT	E1	Utilisation du <i>serious game</i> sous régime de TP informatique

Tableau 29 : Synthèse des analyses microdidactiques effectuées

Il ressort de ce tableau que le site de l'enseignant en lycée permet de mener une analyse microdidactique sur un ensemble de quatre séances consécutives. En revanche, les modalités d'utilisation du *serious game* dans les deux autres sites (E2 de lycée et E1 de l'IUT) sont sur des durées plus courtes.

Le tableau ci-après indique quelles sont les séances pour lesquelles nous n'avons pas pu mener ce type d'analyse en raison de l'utilisation de Mecagenius en totale autonomie par les élèves sans la présence de l'enseignant.

Séances non analysées	Lieu	Profs	Remarques
•Séance n° 1, le 24 /3	IUT	E2	•TP en autonomie sans la présence de l'enseignant
•Séance n° 2, le 1 /4 (cours)			
•Séance n° 1, le 6 /4	Université L3	E1	•TP en autonomie sans la présence de l'enseignant
•Séance n° 2, le 13 /4			
•Séance n° 3, le 20 /4			
•Séance n° 4, le 27 /4			
•Séance n° 1, le 8 /4	Université L3	E2	•TP en autonomie sans la présence de l'enseignant
•Séance n° 2, le 22 /4			
•Séance n° 1, le 7 /4	Université L3	E2	•TP en autonomie sans la présence de l'enseignant
•Séance n° 2, le 21 /4			

Tableau 29 bis : Séances filmées non-analysées

3.1. Les enseignants de lycée

Afin de contextualiser les analyses microdidactiques, nous indiquons à partir de l'analyse des référentiels scolaires et professionnels que nous avons réalisés, (Cf. Chapitre 1 des résultats) que les éléments du programme⁷⁵ en vigueur, au moment de l'étude, sont relatifs à la « fonction réalisation » et notamment la partie concernant les « procédés d'usinage - Machines et outillages associés ». Nous verrons au fur et à mesure de l'analyse que ces points ne sont pas sans liens avec les mini-jeux utilisés par les deux enseignants observés. Dans la suite du texte, l'analyse débute pour chaque séance par la présentation de quelques extraits de l'entretien *ante*, permettant de souligner quelle est l'intention didactique des enseignants. Elle se poursuit par l'étude du synopsis et des épisodes ou des évènements remarquables.

3.1.1. L'enseignant E1 de lycée

L'enseignant E1 a programmé quatre séances avec ses élèves de première STI, cette séquence s'est déroulée par groupe (12 élèves) comme nous avons pu le détailler lors de l'analyse macroscopique. La lecture du tableau ci-dessous montre que cet enseignant a programmé une séquence de quatre séances en adaptant progressivement les contenus ciblés par les mini-jeux de Mecagenius. Dans un premier temps, nous avons vu que E1 retient cet artefact matériel de façon très approximative et cerne l'enjeu ludique offert par Mecagenius. Il vise ainsi une première approche, un premier contact avec ce *serious game*. Dans un deuxième temps, il fait le choix plus ciblé de quelques mini-jeux (« *mini-F1* », « *le roi de la pref* », « *l'as de la fab* ») s'orientant aussi vers des savoirs spécifiques du génie mécanique en lien avec les difficultés que rencontrent les élèves sur les MOCN. E1 déclare lors de l'entretien *ante* séance n° 1 qu'il s'agit d'un contexte « *plus proche de ce qu'ils ont l'habitude de voir sur les machines* » (Cf. Parties grisées du tableau 30).

⁷⁵ Lycée Première & Terminale STI : Sciences et Technologies Industrielles Génie Mécanique et Productive - BO du 1 août 1992 Programmes des lycées STI GM.
Rappelons que le programme de la série : Sciences et technologies de l'industrie et du développement durable (STI2D) n'est entré en application à la rentrée de l'année scolaire 2011 - 12 (Voir BO n° 3 du 17 mars 2011).

- **L'entretien *ante* séance n° 1**

Extraits significatifs du discours du professeur lors de l'entretien <i>ante</i> séance n° 1
<p>« On va tout d'abord détendre un petit peu les élèves par une activité nouvelle, une présentation nouvelle, ils vont donc débiter par un petit amusement d'une dizaine de minutes ; un amusement avec le « circuit mini-F1 » et le « roi de la pref ».</p> <p>« Totalement, on définit le repère de travail de la machine et donc pour « le mini-F1 » cela permet de rattacher le signe des touches en pratique aux déplacements réels et à ne pas se tromper un plus et en moins et ainsi provoquer des collisions. Ensuite, et bien ils peuvent facilement connaître le repère machine et la position de ce que l'on appelle nous le point courant. Et pour « le roi de la pref », il s'agit quasiment de la même chose avec simplement un contexte d'image plus pratique et plus proche de ce qu'ils ont l'habitude de voir sur les machines ».</p>

Tableau 30 : Extraits de l'entretien *ante* séance n° 1 de l'enseignant E1 du lycée

3.1.1.1. Analyse microdidactique de quelques extraits de la séance n° 1

Afin de déterminer l'action didactique de cet enseignant E1, nous présentons dans un premier temps le synopsis de la séance observée. Nous souhaitons essayer de comprendre à quel(s) jeu(x) jouent le professeur et les élèves et quelles sont les déterminations de ces jeux (Sensevy, 2007). Chaque changement de mini-jeu introduit un nouvel objet de savoir et des stratégies d'utilisation de Mecagenius différentes. Le discours de l'enseignant est transcrit en italique dans le synopsis. Dans les différentes colonnes, nous avons souligné en grisé les moments du discours de l'enseignant concernant les enjeux de savoirs relatifs aux mini-jeux proposés. Nous avons ainsi indiqué les descripteurs qui permettent d'identifier ce que fait l'enseignant mais aussi certains traits relatifs au triplet des genèses ou encore certains effets du contrat didactique afin de voir comment évolue le système didactique observé. Ces descripteurs sont associés (en gras dans le synopsis) à des débuts de phrases qui permettent de prendre en compte l'interaction {professeur - élève} au regard des savoirs qui sont ici cristallisés dans les différents mini-jeux utilisés.

Cette façon de procéder nous permet d'identifier précisément le début de l'épisode qui sera analysé dans les sections suivantes. Nos interprétations sont menées sous couvert de la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) dont nous rappelons les éléments fondamentaux : l'interaction ternaire {professeur - élève - savoir} en lien avec les concepts centraux de milieu et de contrat didactique ; les actions de définition - dévolution - régulation - l'institutionnalisation ; les éléments relatifs au triplet des genèses (chrono, méso, topo).

Dans un second temps, nous reprenons les extraits significatifs de l'action didactique conjointe du professeur et des élèves lors des épisodes ou des événements retenus, la totalité de l'analyse de E1 étant disponible en annexe (Cf. Annexe 36 à 39) Dans cette analyse microdidactique, comme nous l'évoquions dans l'analyse macroscopique, les élèves sont positionnés individuellement devant les écrans des postes informatiques, le dos tourné à l'enseignant qui de temps en temps intervient en direction d'un élève, ou le plus souvent en s'adressant à la classe. Ce point est très important comme nous l'avons précisé précédemment, le professeur intervient sans obligatoirement être entendu par tous les élèves ou sans que ces interventions correspondent au mini-jeu auquel ils sont en train d'utiliser. Nous sommes aussi dans un usage de Mecagenius en présentiel qui, du fait de la prégnance des aspects ludiques dans le *serious game* transforme, que l'enseignant le veuille ou non, le fonctionnement didactique collectif.

• **Le synopsis de la séance N° 1**

Temps	Découpage du protocole selon les tâches proposées	Découpage selon les élèves auxquels il s'adresse	Consignes et contenu visé par le professeur
1'	Lancement de Mecagenius <ul style="list-style-type: none"> • Login et mot de passe • Lecture des mini-jeux • choix du deuxième mini-jeu : <i>Mini FI</i> • choix du niveau : débutant Les élèves jouent	Groupe classe	Vous allez vous « <i>loguer</i> » Présentation des mini-jeux Choix du premier mini-jeu Temps de manipulation (10 mn) « <i>On ne va pas les faire tous, on va commencer par le circuit mini-FI, vous allez faire au moins trois tentatives et pour cela je vous laisse 10 mn. Dans ces 10 mn vous pouvez modifier le niveau. Je vous rappelle que vous choisissez normalement le niveau débutant</i> »
6'	Remarque : Après avoir réalisé un tour de classe, l'enseignant va à son bureau et joue au mini-jeu Régulation : « <i>Vous avez un incrément d'un mètre peut-être qu'il est intéressant de l'utiliser...</i> » Effet Topaze : « <i>Vous n'êtes pas obligé de prendre le plus grand incrément dès le départ. Comme sur la MOCN, l'incrément le plus grand est dangereux,...</i> » E: <i>C'est quoi un incrément ?</i> Institutionnalisation : « <i>Un incrément c'est les distances de déplacement obtenues par clics,...</i> »		
13'	<ul style="list-style-type: none"> • Fermeture du mini-jeu « <i>mini-FI</i> » • choix du deuxième mini-jeu : « <i>le roi de la pref</i> » • choix du niveau : débutant 	Groupe classe Travail individuel	Vous quittez le jeu. Explication de la procédure à suivre. Choix du nouveau mini-jeu « <i>le roi de la pref</i> » Rappel du temps d'utilisation du jeu (10 mn)
17'	« <i>je vous rassure ce jeu ne sera pas pour l'instant évalué, il ne débouchera pas sur une note mais il est possible que dans les séances à venir qu'on refera de la même façon avec le jeu et la caméra il le soit.</i> »		
18'	Définition : « <i>Alors l'objet donc du jeu « le roi de la pref » c'est de tangenter une pièce de longueur connue par rapport à l'origine...</i> » Régulation : « <i>Donc la calculatrice je répète vous permet de faire le calcul du pref que vous rentrez dans la fenêtre saisie de la prise de références et ce calcul vous devez l'effectuer à partir de ce qu'on pourrait appeler...</i> »		

Temps	Découpage du protocole selon les tâches proposées	Découpage selon les élèves auxquels il s'adresse	Consignes et contenu visé par le professeur
21'	Régulation : « donc effectivement c'est un calcul vectoriel, faites attention de bien rentrer le signe de la coordonnée. Donc, aidez-vous de la calculatrice pour faire le calcul et relevez bien les coordonnées du point courant qui change à chaque essai... ».		
24'	<ul style="list-style-type: none"> • Fermeture du mini-jeu « le roi de la pref » • Lancement d'un nouveau mini-jeu • choix du troisième mini-jeu : « outil et porte-outils » • choix du niveau : débutant 	Groupe classe	Vous quittez le jeu « le roi de la pref ». Choix du nouveau mini-jeu Rappel du temps d'utilisation du jeu (10 mn)
27'	Dévolution : « Le jeu suivant donc que vous allez pratiquer c'est le jeu de l'outil et du porte-outil. Vous allez voir, c'est un jeu qui normalement ne doit pas vous poser de problèmes... » Bilan : « je vois qu'il y en a qui font des points » « Je vois que la voiture ce n'est pas facile ; il y en a beaucoup qui sont à 1000 Points Pour avoir de l'argent a priori il ne faut pas casser les pinnules. »		
33'	Fin de séance		

Tableau 31 : Synopsis de la 1^{ère} séance observée de l'enseignant E1 de lycée

Dans cette courte séance (33') où E1 découvre en même temps que ses élèves le *serious game* (voir minute 6), plusieurs mini-jeux sont mis à l'étude (voir analyse macroscopique).

Nous extrayons de ce synopsis trois épisodes significatifs d'une mise à l'étude de savoirs de génie mécanique :

- 1^{er} épisode : Fixer l'incrément « mini F1 »
- 2^{ème} épisode : Tangenter et calculer la « pref »
- 3^{ème} épisode : Dévolution centrée sur des savoirs acquis.

Dans ce qui suit, nous développons ces épisodes extraits⁷⁶ du synopsis (surlignés en gris) pour analyser et comprendre l'action didactique conjointe du professeur et des élèves lors de l'utilisation des mini-jeux. Néanmoins dans ce chapitre des résultats, nous nous focalisons plus particulièrement sur ce que fait le professeur lorsqu'il interagit avec les élèves au regard des usages de l'artefact Mecagenius. C'est dans le prochain chapitre que nous nous intéresserons de façon plus approfondie aux stratégies de jeu des élèves. C'est pourquoi dans les épisodes qui suivent nous appuierons nos analyses essentiellement sur les éléments du discours des professeurs, en pointant à partir des données vidéo, les actions et réactions des élèves lorsqu'elles existent.

⁷⁶Afin de faciliter la lecture des synopsis, la totalité pour chacun des épisodes relatifs à notre découpage de la séance est donné en annexe n° 29 à 35. Les annexes 29 à 32 correspondent à l'enseignant E1 de lycée, les annexes 33 et 34 correspondent à l'enseignant E2 de lycée et l'annexe 35 est celle de l'enseignant E1 de l'IUT.

✓ Premier épisode⁷⁷ : fixer l'incrément « *mini F1* »

Situation dans le synopsis	Énoncés significatifs du discours du professeur
min 6 à min 13 « <i>le mini F1</i> »	<p>Régulation : « Vous avez un incrément d'un mètre peut-être qu'il est intéressant de l'utiliser... ».</p> <p>Effet Topaze : Vous n'êtes pas obligés de prendre le plus grand incrément dès le départ. Comme sur la MOCN, l'incrément le plus grand est dangereux, très dangereux puisqu'il amène généralement à la collision.</p> <p><i>E :</i> C'est quoi un incrément ?</p> <p>Institutionnalisation : Un incrément c'est les distances de déplacement obtenues par clics, vous avez comme incrément possible, 100 m ; 10 m ; 1 m. Je rappelle, chose très importante, de grands incréments de 100 m est dangereux tout comme sur une machine vous avez un maximum d'incrément à utiliser qui est de 10 mm.</p>

Tableau 32 : Extraits du discours⁷⁸ de l'enseignant de lycée E1 pour le mini-jeu « *mini F1* »

Dans cet épisode, les élèves utilisent le mini-jeu « *mini F1* » qui vise la mise à l'étude de savoirs en génie mécanique constitutifs à la définition des axes de déplacement et du référentiel normalisé. Ces savoirs seront réinvestissables lors de la mise en œuvre des MOCN. Ce mini-jeu est présenté sous forme ludique à partir du déplacement d'une voiture de course (Formule 1). Son principe repose sur l'utilisation de l'interface de la MOCN pour déplacer la « *mini F1* » suivant un parcours prédéfini et la positionner à un endroit précis. Pour commander cette « *mini F1* », l'élève devra donc utiliser les diverses commandes : axes de déplacement (X ; Z) ; sens (- ; +). Il a aussi la possibilité de modifier l'incrément afin de faire varier la distance de déplacement et pouvoir ainsi diminuer le nombre de coups. La réussite de ce mini-jeu permettra dans un autre mini-jeu (« *le roi de la pref* ») de déplacer la tourelle de la MOCN jusqu'à la pièce à usiner. Dans la conception du *serious game*, il y a une progressivité entre les mini-jeux « *mini F1* » et « *le roi de la pref* », l'enseignant semble l'avoir repéré. Ce mini-jeu a été choisi par l'enseignant E1 (Cf. entretien *ante*) pour sa dimension ludique et pour sa simplicité d'utilisation. Les interventions de E1 pendant que les élèves jouent sont de deux registres. Le premier registre concerne l'aide apportée par E1 au niveau de la réussite du mini-jeu. En effet, la clé de la réussite (outre le choix des axes et des signes) est dans la définition de la valeur de l'incrément. Or, nous observons que E1 à la sixième minute propose

⁷⁷ Dans la suite de ce chapitre, nous indiquons dans ces tableaux sur quels extraits des productions verbales des enseignants nous nous appuyons pour mener l'analyse. Ces énoncés sont resitués par rapport au synopsis et au mini-jeu utilisés (colonne de gauche). Nous n'indiquons pas leur repérage temporel au sein de l'extrait.

⁷⁸ Nous restituons les extraits du discours du professeur au regard du synopsis mais dans ces tableaux nous ne transcrivons que les énoncés-clés sur lesquels portera l'analyse

la solution à ses élèves (Cf. Tableau 32). Nous sommes ici en présence d'une régulation, c'est-à-dire d'une action professorale ayant pour finalité de faire produire aux élèves la (ou les) stratégie(s) gagnante(s) (Sensevy, Mercier et Schubauer-Leoni, 2000). Cette régulation modifie le milieu et le contrat sous-jacent. Nous interprétons cette régulation en considérant que E1 réduit le milieu initialement proposé dans le mini-jeu en suggérant des possibilités de variation de l'incrément : « *Vous avez un incrément d'un mètre peut-être qu'il est intéressant de l'utiliser !* ». Cet indice Topaze⁷⁹ renvoie à la variable de commande (valeur de l'incrément) qui conditionne la réussite du mini-jeu. En mettant l'accent sur les traits pertinents (Schubauer-Leoni, 2008) : « *Je rappelle, chose très importante* » relatifs à l'enjeu de savoir, notamment la valeur critique de l'incrément, E1 modifie le contrat initialement sous-jacent au mini-jeu puisque la clé de la réussite énoncée change le système d'obligations réciproques implanté dans le mini-jeu. Puisque le savoir rappelé est identique au savoir convoqué, nous pouvons dire à la suite de Brousseau (1996) que nous sommes ici sur un contrat basé sur le rappel et la transformation de savoirs « anciens ». Dans cette régulation nous pointons une série d'effets Topaze (Brousseau, 1986), puisque l'enseignant E1 prend à sa charge sous forme de rappels insistants le résultat et les effets d'un mauvais choix de l'incrément : « *Comme sur la MOCN, l'incrément le plus grand est dangereux, très dangereux puisqu'il amène généralement à la collision* ». Il ressort de cet énoncé la mise en relation entre le mini-jeu actuellement utilisé et la MOCN dans sa dimension réelle et concrète. Les questions de sauvegarde ou l'intégrité de la machine semblent être une préoccupation importante. C'est le rapport à la machine réelle qui se joue ici dans les énoncés de E1. Ainsi, l'erreur et les conséquences qui y sont associées sont supprimées dès le départ. Cette façon de faire limite de ce fait l'activité *proprio motu* des élèves pouvant se trouver en échec. Le guidage « serré » de E1 semble aller à l'encontre des choix didactiques sous-tendant le mini-jeu qui est conçu pour provoquer une activité de tâtonnement permettant de construire la notion d'incrément. L'enseignant par ses régulations ne permet pas aux élèves de se trouver en situation d'échec et d'expérimenter les essais-erreurs prévus au départ par les concepteurs du *serious game*. Il est intéressant de souligner qu'une comparaison avec le réel et notamment les MOCN de l'atelier est effectuée. E1 a parfaitement ciblé les enjeux de savoir cristallisés dans ce mini-jeu et propose de les mettre en relation avec les MOCN ce qui, de notre point de

⁷⁹ L'enseignant prenant à sa charge de façon déterminée la production de la réponse attendue.

vue, rend compte des préoccupations de cet enseignant et de l'utilité qu'il perçoit de l'usage de ce mini-jeu par rapport aux contraintes de son travail en situation réelle à l'atelier de production du lycée. Rappelons qu'un point sensible de l'utilisation des MOCN est lié au fait que les élèves en introduisant des valeurs inadaptées sont susceptibles d'endommager le matériel, ce qui engendre des coûts de réparation importants (Cf. L'étude des besoins des enseignants). Notons que lors de l'utilisation du mini-jeu, E1 revient sur cette question : « *de grands incréments de 100 m est dangereux tout comme sur une machine vous avez un maximum d'incrément à utiliser qui est de 10 mm.* ».

Le deuxième registre relatif à l'intervention de E1 concerne l'institutionnalisation des connaissances produites pendant l'usage du mini-jeu. Cet enseignant signifie aux élèves quels sont les savoirs à retenir, en termes de définition et de valeur de l'incrément. Ces points renvoient aux enjeux de l'apprentissage attendus : « *Un incrément c'est les distances de déplacement obtenues par clics, ...* ». Comme lors de l'intervention précédente, E1 va faire à nouveau un parallèle avec le réel des MOCN : « *tout comme sur une machine vous avez un maximum d'incrément à utiliser* ». Ainsi, progressivement E1 intègre le potentiel du mini-jeu à ses propres objectifs qui sont relatifs à la connaissance des fonctionnalités incrémentales de la commande permettant le déplacement d'une machine-outil (Cf. programmes du lycée Première & Terminale STI). Lors de l'entretien *post* séance (Cf. Tableau 35) il déclare d'ailleurs : « *Et puis, finalement, je m'aperçois que les objectifs peuvent être totalement orientés sur de la pratique pédagogique* ». Au-delà de cet épisode, l'utilisation de ce mini-jeu « *mini F1* » a permis d'aborder la question des axes, ce que nous exploitons dans l'épisode qui suit.

✓ **Deuxième épisode : tangenter et calculer la « *pref* »**

Situation dans le synopsis	Enoncés significatifs du discours du professeur
min 18 à min 24 « <i>le roi de la pref</i> »	<p>Définition : « <i>Alors l'objet donc du jeu « le roi de la pref » c'est de tangenter une pièce de longueur connue par rapport à l'origine porte-pièce de façon à définir les pref en tenant compte des dimensions de la pièce sur laquelle on tangente, de la longueur de la pinnule et de la position de la pinnule au moment ou vous tangentez. Autrement dit, il faut à la fois tangenter en pratique et aussi calculer ce qu'on va appeler le pref. Vous avez une petite calculatrice qui vous permet de calculer ce pref et vous rentrez la valeur dans la fenêtre adéquate et vos réglages de la machine.</i> »</p> <p>Régulation : « <i>Donc la calculatrice je répète vous permet de faire le calcul du pref que vous rentrez dans la fenêtre saisie de la prise de références et ce calcul vous devez l'effectuer à partir de ce qu'on pourrait appeler la jauge de la pinnule, la jauge du porte-outils de la longueur de la pièce, de la position du point de référence c'est-à-dire du point courant. On a toujours parlé du point courant, ici ça s'appelle le point de référence.</i> »</p>

Situation dans le synopsis	Enoncés significatifs du discours du professeur
	<p>Régulation : « donc effectivement c'est un calcul vectoriel, faites attention de bien rentrer le signe de la coordonnée. Donc, aidez-vous de la calculatrice pour faire le calcul et relevez bien les coordonnées du point courant qui change à chaque essai. Ce qui change c'est la position du point courant. C'est le point PT, le point de référence, oui mais la coordonnée change, la valeur numérique change, de la position du point courant Z, Z PT va toujours changer. »</p> <p>Régulation : « il faut calculer donc la position de l'origine porte-pièce ou ici l'origine programme, par calcul tenant compte de la longueur de la pièce, de la longueur de la pinnule et de la position du point de référence »</p>

Tableau 33 : Extraits du discours de l'enseignant de lycée E1 pour le mini-jeu « le roi de la pref »

Ce mini-jeu « le roi de la pref » met à l'étude des savoirs de génie mécanique constitutifs de la compétence de réglage de la MOCN préalable à l'usinage d'une pièce. Il s'agit, rappelons-le, de palper la face avant d'une pièce en un minimum de coups et cela le plus rapidement possible. La compression admissible sur le palpeur est de 8/10^{ème}. Pour réussir ce mini-jeu, le joueur doit déplacer la tourelle de la MOCN jusqu'à la pièce à usiner en utilisant les diverses commandes. Ce mini-jeu « le roi de la pref » s'inscrit dans le prolongement du mini-jeu précédent « le mini-F1 » (ce qu'a bien identifié E1). En effet, le déplacement de la tourelle nécessite la connaissance des éléments de commande {axes de déplacement (X ; Z) - sens (- ; +) - incréments}. Il est également demandé dans ce mini-jeu d'effectuer un calcul vectoriel relatif à « la prise de référence » appelé « Pref ». Tout comme le mini-jeu « le mini-F1 », nous sommes face à une intervention de E1 qui s'oriente selon deux registres :

Le premier concerne la définition des objets de savoirs représentatifs du mini-jeu « le roi de la pref ». L'enseignant E1 va reprendre l'objet de ce mini-jeu en rappelant tous les paramètres dont il faudra tenir compte : « Alors l'objet donc du jeu « le roi de la pref » c'est de tangenter une pièce de longueur connue par rapport à l'origine porte-pièces de façon à définir les pref... ». Lors de cette définition, E1 va aller jusqu'à nommer et désigner aux élèves tous les paramètres dont ils devront tenir compte pour jouer « le bon jeu » : « en tenant compte des dimensions de la pièce sur laquelle on tangente, de la longueur de la pinnule⁸⁰ et de la position de la pinnule au moment ou vous tangentez... ». C'est donc avec un topos surplombant que E1 conduit sa séance. Nous pointons là encore que les effets de cette intervention transforment le milieu dans le sens de la réduction de l'adidaticité potentielle de ce mini-jeu (Sanchez, 2011). Cette intervention va aussi se traduire par des modifications du fonctionnement

⁸⁰ Une pinnule est un palpeur mécanique de métrologie utilisé sur les MOCN pour relever des positions.

du contrat didactique. En effet, certains élèves vont potentiellement effectuer moins d'erreurs donc, au regard des objets de savoir, ils ne vont pas partager avec l'enseignant les mêmes responsabilités (topogenèse) ce qui va entraîner un avancement différent du savoir dans le temps (chronogenèse) selon les élèves. Nous pointons ici l'aspect différentiel de la dynamique évolutive du contrat didactique au sein des hétérogénéités de la classe. Nous y reviendrons dans le chapitre 3 en étudiant les stratégies de jeu d'élèves de niveaux contrastés.

Le deuxième registre d'intervention de l'enseignant concerne les aides apportées pour réussir le mini-jeu. Comme pour le mini-jeu « *mini-F1* », les régulations de E1 visent à faire produire aux élèves la réponse escomptée : « *Donc la calculatrice je répète vous permet de faire le calcul du « pref » que vous rentrez dans la fenêtre saisie de la prise de références et ce calcul vous devez l'effectuer à partir de ce qu'on pourrait appeler la jauge de la pinnule, la jauge du porte-outils de la longueur de la pièce, de la positions du point de référence c'est-à-dire du point courant.* ». L'activité des élèves est ici extrêmement guidée. L'enseignant prend à sa charge de faire parvenir aux élèves un certain message (ce qui ne veut pas dire qu'ils le comprennent). Ce type de pratique relève selon Brousseau (1996) d'un contrat de communication non didactique ou faiblement didactique. En effet, E1 précise succinctement où se situe la calculatrice, sa fonction et les données qu'il faut lui soumettre, il dirige donc les élèves dans le mini-jeu au regard de ce qu'il veut obtenir d'eux. De même lors de la régulation suivante (Cf. Tableau 33) E1 indique aux élèves la réponse à produire : « *Il faut calculer donc la position de l'origine porte-pièce ou ici l'origine programme, par calcul tenant compte de la longueur de la pièce, de la longueur de la pinnule et de la position du point de référence* ». Ces régulations successives vont guider vers le savoir de référence visé afin qu'ils puissent réussir ce mini-jeu « *le roi de la pref* ». Mais, est-ce à dire que les élèves ont construit les savoirs visés ? Font-ils l'expérience des stratégies gagnantes dans le mini-jeu ? Nous considérons que ces régulations réduisent les incertitudes sur ce qu'il y a à faire dans le mini-jeu. Du coup, la dimension ludique disparaît complètement alors qu'elle est l'essence même du *serious game*. Régulations et institutionnalisations partielles s'enchaînent rapidement dans les propos de l'enseignant, elles ont pour ambition selon nous, de construire une référence commune au sein du collectif classe très fortement conduite par l'enseignant, ce que nous avons déjà pointé dans l'analyse macroscopique.

Enfin, E1 se réfère à un moment du passé didactique de la classe afin de faire avancer le savoir en effectuant une comparaison avec des références similaires que connaissent les élèves :

« On a toujours parlé du point courant, ici ça s'appelle le point de référence ». Tout comme l'intervention précédente, cette régulation va agir sur le milieu Mecagenius et l'effet de cette action didactique de E1 va modifier le contrat didactique. En effet, la part de responsabilité laissée aux élèves quant au savoir reste très limitée. Il reste que les élèves ne sont pas toujours très attentifs ou concentrés sur ce que dit E1 dans cette séance comme le montrent les enregistrements vidéo.

Pour conclure, apparaît là un usage très « transmissif » dont nous pouvons penser qu'il va à l'encontre du potentiel adidactique du mini-jeu. Ces usages de l'artefact Mecagenius suggèrent que l'enseignant incorpore le *serious game* à des pratiques didactiques antérieures très monstratives et qu'il ne semble pas envisager les dimensions « dévoluantes » sous-jacentes au *serious game*.

✓ Troisième épisode : une dévolution centrée sur des savoirs acquis ?

Situation dans le synopsis	Énoncés significatifs du discours du professeur
min 24 à min 33 « les porte-outils »	<p>Dévolution : « Le jeu suivant donc que vous allez pratiquer c'est le jeu de l'outil et du porte-outil. Vous allez voir, c'est un jeu qui normalement ne doit pas vous poser de problèmes. Vous quitterez le « roi de la pref » pour réaliser le jeu et ce sera le dernier qu'on réalisera aujourd'hui. »</p> <p>« Je vois qu'il en a qui font des points. »</p> <p>« Je vois que la voiture ce n'est pas facile »</p> <p>« Il y en a beaucoup qui sont à 1000 points. »</p>

Tableau 34 : Extraits du discours de l'enseignant de lycée E1 pour le mini-jeu « les porte-outils »

En fin de séance (Cf. Synopsis) E1 propose de jouer aux « porte-outils ». Ce mini-jeu vise à maîtriser les connaissances relatives à ces pièces mécaniques que sont ces supports d'outils (les outils permettent d'usiner des pièces). La réussite de ce mini-jeu se situe dans l'identification des différentes parties des outils et porte-outils qui les caractérisent (l'attachement, les axes, le montage des outils, etc.). Les enjeux épistémiques de ce mini-jeu sont relativement simples du point de vue des savoirs critiques du génie mécanique (Cf. Analyse épistémologique). Or, l'intervention de E1 est ici différente de celle mise en œuvre lors des deux premiers mini-jeux que nous venons de décrire. Après avoir donné la consigne E1 laisse aux élèves le soin d'identifier le problème et de jouer. Il privilégie dans l'action didactique, la dévolution (Brousseau, 1986). Après avoir mis en confiance les élèves : « c'est un jeu qui

normalement ne doit pas vous poser de problèmes », l'enseignant les laisse en autonomie pour découvrir ce mini-jeu. Les élèves sont ici laissés face à l'enjeu ludique du mini-jeu. Ce temps de « dévolution » dure 9 minutes, nous soulignons qu'il apparaît en fin de séance et qu'il est proposé sur un mini-jeu dont les objets de savoir sont peu importants eu égard aux obstacles à l'apprentissage comme l'a montré notre enquête sur les difficultés rencontrées dans l'enseignement du génie mécanique (Cf. Chapitre précédent). Globalement, la connaissance des outils et des porte-outils se réfère à des connaissances antérieures des élèves, ce qui peut expliquer le peu d'intérêt accordé spontanément à ce mini-jeu.

Pour conclure, il paraît assez révélateur des usages que réalise E1 de l'artefact Mecagenius, de pointer que le travail en autonomie qui peut s'appuyer sur la dimension ludique du *serious game*, n'est opéré que dans un mini-jeu sans réel enjeu pour ce niveau de classe.

- **Retour sur le point de vue de l'enseignant**

Entretien <i>post</i> séance n° 1
<p>« Nous avons donc 12 élèves qui avaient accès chacun à un poste individualisé, un poste informatique individualisé et qui ont pu donc librement jouer individuellement sur les différents jeux proposés. On a choisi le jeu de « mini-F1 » puis « le roi de la pref » puis « les porte-outils ». J'ai été amené vu le temps passé sur chaque jeu finalement à supprimer le quatrième jeu que j'avais envisagé sur les équipements. On referra effectivement cette séance dans les semaines qui viennent notamment mardi prochain et on pourra l'envisager sur 3, 4 séances ça me paraît extrêmement positif par rapport aux connaissances simplement même acquises et j'ai pu constater ma foi l'engouement des élèves à pratiquer ces jeux. Évidemment, c'était la première séance donc j'étais un petit peu curieux de voir comment cela allait se passer. Donc, mes objectifs étaient relativement limités. Si ce n'était de changer un petit peu le contexte de classe, du travail de classe habituel pour amener quelque chose de ludique et intéresser davantage les élèves. Et puis, finalement, je m'aperçois que les objectifs peuvent être totalement orientés sur de la pratique pédagogique. »</p>

Tableau 35 : Entretien *post* séance n° 1 de l'enseignant E1 de lycée

L'entretien *post* confirme que dans cette première séance, E1 découvre en même temps que ses élèves le *serious game* : « j'étais un petit peu curieux de voir comment cela allait se passer. Donc, mes objectifs étaient relativement limités ». L'observation montre que l'utilisation des différents mini-jeux de Mecagenius chez cet enseignant de lycée relève d'un registre d'assimilation⁸¹ de l'artefact à un enseignement relativement classique basé sur la monstration, sur l'énoncé des bonnes réponses à fournir. Nous pourrions presque dire que l'enseignant préoccupé par la prescription du programme d'action pour régler la MOCN dans les mini-jeux qui relèvent de sa « *pratique pédagogique* » ne perçoit pas le potentiel d'expérimentation que

⁸¹ Au sens piagétien du terme.

constitue « le mini FI » et « le roi de la pref ». Comme nous l'avons vu, à l'exception du porte-outil, il utilise très faiblement le potentiel adidactique sous-jacent à chaque mini-jeu dans cette première séance. Les deux dernières remarques (Cf. Tableau 35) semblent confirmer notre analyse lorsque E1 dit : « je m'aperçois que les objectifs peuvent être totalement orientés sur de la pratique pédagogique ». Comment évolue cet enseignant E1 dans les séances suivantes ?

3.1.1.2. Analyse microdidactique de quelques extraits de la séance n° 2

Le tableau 36 ci-après résume les différents objectifs ainsi que les tâches prévues par l'enseignant E1 au cours de cette deuxième séance. L'entretien *ante* révèle aussi que contrairement à la diversité des mini-jeux proposés lors de la première séance, E1 sélectionne lors de cette séance que quatre mini-jeux. Comme nous l'avons mentionné lors de l'analyse macroscopique, ces choix s'orientent vers des savoirs spécifiques du génie mécanique en lien avec les difficultés et obstacles que rencontrent les élèves.

- L'entretien *ante* séance N° 2

Extraits significatifs du discours du professeur lors de l'entretien <i>ante</i> séance n° 2
« Et bien, donc on va reprendre les jeux qui avaient été expérimentés pour lesquels je pense qu'ils vont aller un peu plus vite et cela permettra dans l'heure à partir d'attaquer les jeux un peu plus élaborés. Donc, « le roi de la pref » et « l'as de la fab ». On insistera plus aussi quand même sur le jeu des équipements et des porte-outils. »

Tableau 36 : Extraits significatifs du discours *ante* séance n° 2 l'enseignant E1 de lycée

L'enseignant déclare aussi lors de l'entretien *ante* : « Et bien, j'ai remarqué donc que les difficultés notamment pour la connaissance des outils, porte-outils, équipements et bien des difficultés, un réel intérêt de leur part à essayer quand même de trouver, et du fait de la présence des images et bien ils peuvent mémoriser ces outillages, c'est vraiment idéal pour cet enseignement-là. » (Cf. Annexe 10). Il paraît important de souligner que dans cette séance, l'enseignant commence par le mini-jeu « mini-FI » alors qu'il ne l'indique pas dans l'entretien *ante* séance, quelles raisons l'amènent à faire ce choix ?

• **Synopsis de la séance N° 2**

Temps	Découpage du protocole selon les tâches proposées	Découpage selon les élèves auxquels il s'adresse	Consignes et contenu visé par le professeur
1'	Lancement de Mecagenius • choix du mini-jeu : « mini-F1 » • Réglage des problèmes de connexion (choix de mot de passe) Les élèves jouent	Groupe classe	Vous allez vous « loguer » Présentation des mini-jeux Temps de manipulation (10 mn) « Alors nous allons reprendre les jeux que l'on avait fait la semaine dernière mais on va y consacrer un peu moins de temps de façon à pouvoir, à pouvoir bien, ce que je voudrais aujourd'hui c'est qu'on travaille essentiellement aujourd'hui sur les porte-outils et les équipements. Donc pour l'instant reprenez le mini-jeu un, la mini voiture, ça c'est marrant. »
6'	<p>Tentative de dévolution : « Ce que j'aimerais c'est quand vous ne réussissez pas vous m'appelez pour voir. »</p> <p>Institutionnalisation : Pour le mini F1 combien d'axe vous aviez sur cette machine ?... à l'atelier est-ce que vous avez une machine trois axes ? Alors effectivement vous avez pu penser... »</p>		
11'	• Fermeture du mini-jeu « mini-F1 » • choix du deuxième mini-jeu « les porte-outils » • choix du niveau : confirmé	Groupe classe	Passez aux porte-outils « Alors expérimentez maintenant les jeux des porte-outils, du classement »
14'	<p>Régulation : « Observez bien la partie que l'on appelle attachement à l'arrière de l'outil qui vous permet de distinguer le tournage du fraisage ».</p> <p>Institutionnalisation : « Pour les porte-outils voyez bien la différence qu'il y a entre l'outil axial pour lequel l'outil est monté et travaille dans l'axe, suivant les axes Z... ».</p> <p>Monstration : « C'est un étau ; un étau est porte-outil, un étau c'est pour tenir la pièce, c'est un porte-pièces. Le mandrin c'est un porte-pièce ... ».</p> <p>Institutionnalisation : Là, la fraise est montée directement dans le porte-outils et elle est serrée directement avec une vis sur le côté. Tandis que là, c'est une pince qui vient serrer la tige ... »</p> <p>Institutionnalisation : « Donc quand il y a la tige avec les crans c'est un V.D.I ; quand il y a les cônes ça c'est I.S.O... ».</p> <p>Effet Topaze : « ça, c'est un porte-outil à queue cylindrique qui peut se monter sur un porte-outils Weldon. Donc c'est un porte-outil, ce n'est pas des outils de tournage, c'est des fraises... ».</p>		
23'	• Fermeture du mini-jeu sur les équipements • Lancement d'un nouveau mini-jeu « le roi de la pref » • choix du niveau	Groupe classe	Vous quittez le jeu « les équipements ». Choix du nouveau mini-jeu « le roi de la pref »
24'	<p>Définition : « Donc au niveau stratégique tu dois de définir la profondeur de passe, la vitesse d'avance, la vitesse de coupe et le rayon de bec... »</p> <p>Régulation : Pour sélectionner tout cela, il faut peut-être que tu fasses des recherches au travers du catalogue outil des performances et des objectifs.</p> <p>Institutionnalisation : « Donc tu prends le plus grand rayon de bec et la vitesse de couple la plus faible... ».</p> <p>Régulation : « En finition, le plus petit rayon et une grande vitesse de coupe donc, ça te donne une profondeur et un rayon de bec de 0,4... ».</p> <p>Régulation : « ... Il faut que tu changes les paramètres ... ».</p> <p>Institutionnalisation : « Voilà, tu as défini une stratégie en fonction du rayon de plaquettes, de la vitesse coupe, de la profondeur de passe et de la vitesse d'avance, ... ».</p>		

32'	<ul style="list-style-type: none"> Fermeture du mini-jeu sur les équipements Lancement d'un nouveau mini-jeu « <i>L'as de la fab</i> » choix du niveau 	Groupe classe	<i>Vous passez à « l'as de la fab ».</i>
33'	<p>Régulation : « <i>tu as une rugosité à respecter et en fonction de la rugosité et tu as une vitesse d'avance et le rayon de plaquettes. Donc analysez bien dessin. Il faut que tu fasses...</i> »</p> <p>Définition : « <i>Et dans les dernières 5 mn, je vous proposerais d'acheter du matériel...</i> ».</p> <p>Régulation : « <i>Donc si tu veux améliorer ta rugosité c'est en finition qu'il faut modifier...</i> ».</p>		
37'	<ul style="list-style-type: none"> Fermeture du mini-jeu « <i>L'as de la fab</i> » Lancement de l'activité de découverte du magasin 	Groupe classe	<i>Je vous propose de quitter l'as de la fabrication et de passer au magasin. Vous avez des besoins, vous allez les concrétiser.</i>
38'	<p>Régulation : « <i>Vous choisissez, ça vous donnera certainement un ordre d'idée...</i> ».</p> <p>Définition : « <i>Vous allez m'établir sur une feuille de papier une liste du matériel, vous m'indiquez votre total d'argent disponible et vous me dites...</i> »</p>		
45'	Fin de séance	Groupe classe	Vous me rendez les papiers et vous allez en récréation

Tableau 37 : Synopsis de la 2^{ème} séance observée de l'enseignant de lycée E1

Lors de cette deuxième séance, E1 demande aux élèves de jouer successivement à quatre mini-jeux : « *mini F1* » (de min 1 à min 11) ; « *les outils et porte-outils* » (de min 11 à min 23) ; « *le roi de la Pref* » (de min 23 à min 32) et enfin « *l'as de la fab* » (de min 32 à min 37). Il termine la séance par un exercice qui doit être rendu.

Lors de cette seconde séance, nous poursuivons notre étude des intentions didactiques de cet enseignant E1 de lycée en nous appuyant comme pour la séance n° 1 sur les entretiens *ante* et *post* séances ainsi que sur l'analyse du synopsis de la séance observée (Cf. Tableau 37). Nous avons extrait du synopsis cinq épisodes rendant compte de l'action didactique de E1 :

- 1^{er} épisode : Lier le mini-jeu « *mini F1* » et le réel.
- 2^{ème} épisode : Utiliser le mini-jeu comme un manuel.
- 3^{ème} épisode : Gérer plusieurs mini-jeux en parallèle.
- 4^{ème} épisode : Contrôler les conditions de coupe.
- 5^{ème} épisode : Retour sur exercice scolaire.

Nous ne rappelons pas les savoirs visés pour les mini-jeux (« *le roi de la pref* » - « *l'as de la fab* ») car nous l'avons fait lors de la séance n° 1, par contre nous précisons si nécessaire les savoirs relatifs aux deux autres mini-jeux retenus.

✓ Premier épisode : lier le mini-jeu « *mini F1* » au réel

Situation dans le synopsis	Enoncés significatifs du discours du professeur
min 1 à min 11 « <i>mini F1</i> »	<p>Tentative de dévolution : « <i>Ce que j'aimerais c'est quand vous ne réussissez pas vous m'appellez pour voir. Il serait bon peut-être que chacun arrive au niveau confirmé, de faire au moins un essai au niveau confirmé. Il ne faut pas faire au hasard. Et les porte-outils tu l'as fait, et pour tout et les porte-outils ? Pour le mini F1 est que vous avez relevé combien d'axe vous aviez sur cette machine ?</i> »</p> <p>- E : 2 «P...» il dit 2. Non, il y a trois axes, à l'atelier est-ce que vous avez une machine trois axes ? »</p> <p>Institutionnalisation : « <i>Alors effectivement vous avez pu penser qu'il y a 3 axes parce qu'il y a X, Z et C. Et effectivement c'est le Doosan qui est équipé de cette façon là. les Saphirs ou les centres d'usinage que l'on a ont trois axes mais X, Y et Z. Sur la mini F1 il y a 3 axes. Et la rotation ? donc c'est l'équivalent d'un tour</i> »</p> <p>- E : Et pourquoi c'est par l'axe z, alors ?</p> <p>Institutionnalisation : « <i>alors effectivement sur le mini F1 on a X et Y ; sur le Doosan c'est X et Z. Donc l'axe C comme sur le Doosan. Donc en réalité, c'est simuler un centre d'usinage deux axes qui aurait un plateau tournant sur la table qui permettrait de faire tourner la pièce. L'axe Z est vertical et C est un axe qui tourne autour de Z. Je rappelle qu'un axe A c'est un axe qui tourne autour de X, un axe B c'est un axe qui tourne autour de Y et C, c'est un axe qui tourne autour de Z.</i> »</p>

Tableau 38 : Extraits du discours de l'enseignant de lycée E1 pour le mini-jeu « *mini F1* »

Selon l'entretien *ante* séance, le mini-jeu initialement prévu était « *le roi de la pref* ». Nous interprétons ce changement ou plutôt cette improvisation comme une caractéristique du fonctionnement due à l'expertise de cet enseignant. Elle peut s'expliquer par le fait que E1 s'étant rendu compte de l'intérêt du mini-jeu « *mini-F1* » (Cf. Premier épisode : fixer l'incrément « *mini F1* ») revient sur ce mini-jeu pour l'exploiter davantage. Rappelons rapidement que l'élève doit, dans le cadre du mini-jeu « *le roi de la pref*⁸² », déplacer la tourelle de la MOCN jusqu'à la pièce à usiner en utilisant les divers paramètres de commande. Mais, la maîtrise des savoirs faire liés aux éléments de commande {axes de déplacement (X ; Z) - sens (- ; +) - incréments}, peut se faire de façon plus ludique par l'intermédiaire du mini-jeu « *le mini-F1* » comme nous l'avons mentionné lors du premier épisode de la première séance.

Le caractère « ludique » de ce mini-jeu est très loin de celui du simulateur que constitue « *le roi de la pref* ». Pour que les élèves puissent mieux réussir le mini-jeu « *le roi de la pref* », nous faisons l'hypothèse que E1 choisit une stratégie qui consiste à « imposer » des parcours dans Mecagenius en organisant l'articulation des mini-jeux (« *le mini-F1* » puis « *le roi de la*

⁸² « Palpe la face avant d'une pièce en un minimum de coups et le plus rapidement possible. La compression admissible sur le palpeur est de 8/10^{ème} ».

pref »). Nous pensons que nous sommes ici en présence d'un usage du *serious game* permettant à E1 de ne plus guider par des régulations très explicites et/ou des contrats didactiques d'émission ou d'ostention et de laisser davantage les élèves jouer (Brousseau, 1996). Il reprend donc une progressivité déjà à l'œuvre dans la séance n° 1 et dont nous pensons important de souligner qu'elle est exactement celle qui a été programmée dans le méta-jeu⁸³.

Le mini-jeu « *mini-FI* » avait été choisi dans la première séance pour sa dimension ludique et aussi pour sa simplicité d'utilisation. Lors de cette deuxième séance, E1 impose un niveau de jeu plus élevé « niveau confirmé et expert ». Il démarre par une tentative de dévolution « *Ce que j'aimerais c'est quand vous ne réussissez pas vous m'appellez pour voir* ». Un élève donne une réponse jugée fautive, E1 reprend la main en topos surplombant (Cf. Tableau 38) en invalidant la réponse de cet élève et en revenant sur les MOCN installées dans l'atelier de fabrication du lycée. E1 questionne les élèves sur des savoirs intégrés dans le mini-jeu « *le mini-FI* » et surtout revient sur le parallèle avec le réel (Cf. Tableau 38 parties grisées). Il insiste notamment sur les MOCN de l'atelier que les élèves vont utiliser et qu'ils utiliseront à nouveau « *c'est le Doosan⁸⁴ qui est équipé de cette façon-là. Les Saphirs⁸⁵ ou les centres d'usinage que l'on a ont trois axes mais X, Y et Z.* ».

Il est intéressant de souligner que E1, après avoir fait une comparaison « matérielle » par l'intermédiaire des MOCN de l'atelier, va questionner les élèves sur des savoirs précis. Ce qui nous paraît important dans l'usage que fait cet enseignant de Mecagenius c'est le fait de replacer les élèves dans le monde du réel et de l'utilisation des MOCN présentes de l'atelier du lycée (Centres d'usinages Doosan et Saphir). Il nous semble aussi être possible de dire qu'il y a une sorte de leitmotiv dans la gestion des interactions par E1, ce leitmotiv renvoie aux contraintes de la sécurité et de la préservation du MOCN. Par ailleurs, E1 se sert de Mecagenius pour préciser l'orientation des axes en fonction des différentes MOCN en faisant appel à la mémoire didactique de la classe et en redéfinissant le savoir à mobiliser : « *L'axe Z est vertical et C est un axe qui tourne autour de Z. Je rappelle qu'un axe A c'est un axe qui tourne autour de X, un axe B c'est un axe qui tourne autour de Y et C, c'est un axe qui tourne autour*

⁸³ Rappelons que dans la conception du *serious game* il y a une progressivité entre les mini-jeux « *mini FI* » et « *le roi de la pref* », progressivité établie suite au tri topologique des compétences des différents référentiels scolaires et universitaires.

⁸⁴ Le Doosan est un centre d'usinage

⁸⁵ Le Saphir est une autre centre d'usinage de l'atelier du lycée

de Z. ». Ainsi, après avoir fait une comparaison avec l'environnement technique de l'atelier et le mini-jeu, l'enseignant opère une institutionnalisation en rappelant les savoirs correspondants à la situation d'apprentissage c'est-à-dire la connaissance des éléments de commande {axes de déplacement (X ; Z) - sens (- ; +) - incréments}. Il est à souligner que notre interprétation se trouve confirmée par les propos de E1, lors de l'entretien *post séance* « *On a pu faire le lien j'espère en tout cas, entre les axes machines et le parc machines qu'on a à l'atelier. Ce n'était pas dans mes objectifs, c'est quelque chose que j'ai découvert à l'utilisation du jeu, il y a pas mal de choses comme ça qui apparaissent au cours de la séance* ».

Il semblerait que nous soyons en présence d'une intention didactique caractérisée par l'expérience et l'expertise en génie mécanique de cet enseignant qui se traduit par un usage improvisé des potentialités du *serious game* en lien avec l'avancement du temps et des objets de savoir. Mais ce qui nous paraît être significatif de ces interactions *in situ* c'est la question du réel de la MOCN et des contraintes des usages à l'atelier. A nouveau cette préoccupation prend le devant de la scène didactique, le mini-jeu servant de prétexte à l'exposé des principes sous-jacents à l'usinage.

✓ Deuxième épisode : Utiliser le mini-jeu comme un manuel

Dans un deuxième temps, E1 introduit le mini-jeu « *porte-outil* » dans une intentionnalité didactique liée à la connaissance des axes. Ces mini-jeux renvoient à des éléments du programme de génie mécanique relatifs à la « mise en œuvre des machines et des outillages » et notamment le point suivant : « relever les valeurs caractéristiques nécessaires à la mise en œuvre du porte-pièces sur la machine ». Dans ce mini-jeu il est demandé d'identifier chaque outil ou porte-outils en fonction de leurs caractéristiques morphologiques.

Situation dans le synopsis	Enoncés significatifs du discours du professeur
min 14 à min 23 « Les outils et porte-outils »	<p>Régulation : « <i>Observez bien la partie que l'on appelle attachement à l'arrière de l'outil qui vous permet de distinguer le tournage du fraisage</i> »</p> <p>Institutionnalisation : « <i>Pour les porte-outils voyez bien la différence qu'il y a entre l'outil axial pour lequel l'outil est monté et travaille dans l'axe, suivant les axes Z c'est-à-dire à l'axe du porte-outils et l'outil radial qui lui va travailler va être monté pour travailler en radial. Distinguez bien les deux outils et ensuite au niveau fraisage vous avez ce qu'on appelle le porte-outils Weldon un trou dans lequel on met la fraise et l'outil porte-pinces pour lequel on a une pince qui permet de serrer le corps d'outil.</i> »</p> <p>Monstration : « <i>C'est un étau ; un étau est porte-outils, un étau c'est pour tenir la pièce, c'est un porte-pièces. Le mandrin c'est un porte-pièces. Donc essaie de bien identifier les composants</i> ».</p>

Situation dans le synopsis	Énoncés significatifs du discours du professeur
	<p>Institutionnalisation : « Là, la fraise est montée directement dans le porte-outil et elle est serrée directement avec une vis sur le côté. Tandis que là, c'est une pince qui vient serrer la tige. Alors là, il n'est valable que pour un diamètre donné alors que là, on peut changer les pinces et monter plusieurs diamètres de fraises. D'accord. »</p> <p>Institutionnalisation : « Donc quand il y a la tige avec les crans c'est un V.D.I ; quand il y a les cônes ça c'est I.S.O. Alors I.S.O quand le cône est grand, morse quand le cône est faible donc ça, se sont des outils qu'on va utiliser en I.S.O uniquement en fraisage, ça c'est du cône morse c'est un porte-pince ça c'est un V.D.I. radial puisque l'outil est monté radialement. Et ça c'est de l'outil axial puisque l'outil est monté axialement. Alors I.S.O quand l'attachement, la partie arrière, ça c'est quoi. Donc radial ou axial ?</p> <p>Effet Topaze : « ça, c'est un porte-outils à queue cylindrique qui peut se monter sur un porte-outil Weldon. Donc c'est un porte-outils ».</p>

Tableau 39 : Extraits du discours de l'enseignant de lycée E1 pour le mini-jeu « Les outils et porte-outils »

Ce mini-jeu, qui vise la maîtrise de la connaissance des différents outils et porte-outils, trouve ici une autre fonction. Nous avons repris quelques extraits des énoncés professoraux afin de mieux comprendre les interventions de l'enseignant E1. Dès le lancement de ce mini-jeu, E1 donne les clés de la réussite de ce mini-jeu (Cf. parties grisées du tableau 39) qui se situent notamment au niveau de l'identification de l'attachement, des axes, du montage des outils, ... :

« *Observez bien la partie que l'on appelle attachement à l'arrière de l'outil qui vous permet de distinguer le tournage du fraisage* ». Par cette régulation, E1 guide ses élèves, dès l'introduction du mini-jeu, sur la connaissance des axes précédemment travaillés : « *Pour les porte-outils voyez bien la différence qu'il y a entre l'outil axial pour lequel l'outil est monté et travaille dans l'axe, suivant les axes Z c'est-à-dire à l'axe du porte-outils et l'outil radial qui lui va travailler; va être monté pour travailler en radial.* ». Ce travail sur les axes revient encore ici dans une perspective en lien avec la MOCN et les opérations d'usinage à effectuer.

Très rapidement E1 institutionnalise, en légitimant les connaissances produites dans la classe. Le professeur signifie aux élèves quels sont les savoirs à retenir (les enjeux de l'apprentissage attendus). Il le fait, non pas en désignant ce qu'il y a à faire comme dans la séance précédente, mais en attirant l'attention des élèves sur les traits pertinents « *à distinguer* ». Ainsi, dès que les porte-outils apparaissent à l'écran, E1 indique les différents critères d'identification spécifiques pour les communiquer à la classe : « *... un trou dans lequel on met la fraise et l'outil porte-pinces pour lequel on a une pince qui permet de serrer le corps d'outil* ».

Ici, l'enseignant utilise beaucoup de monstration : « *c'est un étau ... ; ça, c'est un porte-outils à queue cylindrique, ...* » en précisant les connaissances produites pendant le mini-jeu. Ces énoncés sont entre-coupés de micro-institutionnalisations « *quand il y a la tige avec les crans*

c'est un V.D.I ; quand il y a les cônes ça c'est I.S.O. ». E1 signifie ainsi aux élèves quels sont les savoirs qu'ils leur faut retenir au fur et à mesure de l'apparition des porte-outils à l'écran. Ici l'enseignant se sert du mini-jeu comme d'un support pédagogique (un manuel) et ne met pas en jeu les dimensions ludiques sous-jacentes au scénario du mini-jeu.

Mais certains évènements vont l'amener à modifier son projet, dans les trois épisodes qui suivent, l'enseignant E1 est obligé de sortir des usages initiaux qu'il a prévus du *serious game* par rapport à toute la classe, parce que certains élèves explorent différents mini-jeux et que d'autres ne le font pas. Il rencontre donc une difficulté à gérer sa classe comme il le fait habituellement dans l'articulation cours et travaux pratiques à l'atelier, décrivons ce qui se passe.

✓ **Troisième épisode : le mini-jeu « le roi de la pref » initialement prévu**

Situation dans le synopsis	Enoncés significatifs du discours du professeur
min 23 à min 32 « le roi de la pref »	<p>Définition : « <i>Donc au niveau stratégique tu dois définir la profondeur de passe, la vitesse d'avance, la vitesse de coupe et le rayon de bec.</i> »</p> <p>Régulation : « <i>Pour sélectionner tout cela, il faut peut-être que tu fasses des recherches au travers du catalogue outil des performances et des objectifs.</i> »</p> <p>Institutionnalisation : « <i>Donc tu prends le plus grand rayon de bec et la vitesse de couple la plus faible.</i> »</p> <p>Régulation : « <i>En finition, le plus petit rayon et une grande vitesse de coupe donc, ça te donne une profondeur et un rayon de bec de 0,4</i> »</p> <p>Régulation : « <i>Alors effectivement, il nous indique en finition un temps de réalisation de zéro. Alors ne vous affolez pas, le temps d'usinage de zéro c'est une anomalie logicielle, ça va être améliorée. Alors pourquoi tu uses l'outil, c'est qu'il y a quelque chose qui ne va pas. Il faut que tu changes les paramètres</i> »</p> <p>Institutionnalisation : « <i>Voilà, tu as défini une stratégie en fonction du rayon de plaquettes, de la vitesse coupe, de la profondeur de passe et de la vitesse d'avance, c'est ça ta stratégie. C'est ces paramètres-là que tu peux modifier. Donc, tu le fais pour l'ébauche et tu le fais pour la finition et à partir de là tu peux usiner.</i> »</p>

Tableau 40 : Extraits du discours de l'enseignant de lycée E1 pour le mini-jeu « *Le roi de la pref* »

En demandant aux élèves de jouer au « *roi de la pref* », E1 relance la classe. Ce mini-jeu initialement prévu vise l'acquisition de savoirs de génie mécanique constitutifs de la compétence de réglage préalable à l'usinage d'une pièce. Tout comme lors du mini-jeu précédent, l'intervention de l'enseignant s'oriente vers une spécification des objets de savoirs représentatifs de ce mini-jeu « *le roi de la pref* ». L'enseignant E1 donne donc une consigne à la classe afin d'orienter les élèves vers ce mini-jeu. L'observation de la bande-vidéo, montre qu'une certaine autonomie est laissée aux élèves pour l'utilisation de ce mini-jeu. Mais, l'analyse des enregistrements montre aussi que l'enseignant, après avoir donné cette consigne, circule entre

les élèves. Nous observons une série de régulations, ponctuées d'institutionnalisations successives en direction de l'élève derrière lequel l'enseignant se trouve (Cf. Dans le tableau 3, les indicateurs "tu" ; "te"). Les énoncés suggèrent soit des pistes de recherche, soit confirment les valeurs de réglage retenues par les joueurs. Au cours de ces interventions, une institutionnalisation est effectuée auprès de l'un d'entre eux. Il est important de souligner que l'élève concerné n'utilise pas le mini-jeu « *le roi de la pref* », il explore le mini-jeu « *l'as de la fab* ».

Les enregistrements montrent que E1 aide l'élève pour réussir ce mini-jeu en précisant les données et les paramètres qu'il faut rentrer. Suite à cette intervention, l'enseignant va recommander à toute la classe d'utiliser « *l'as de la fab* » (Cf. Min 32). En effet, lors des interactions avec cet élève, l'enseignant découvre les possibilités du mini-jeu au travers les manipulations effectuées par l'élève. Il déclarera lors de l'entretien *post* séance N° 2 : « *c'est quelque chose que j'ai découvert à l'utilisation du jeu, il y a pas mal de choses comme ça qui apparaissent au cours de la séance* », ce qui souligne l'usage circonstanciel que E1 fait du *serious game*.

✓ Quatrième épisode : contrôler les conditions de coupe

Nous avons vu que l'enseignant introduit ce mini-jeu pour toute la classe après avoir observé un joueur.

Situation dans le synopsis	Énoncés significatifs du discours du professeur alternant des énoncés adressés à des joueurs et des consignes à toute la classe
min 33 à min 37 « <i>l'as de la fab</i> »	<p>Régulation : « <i>Tu as une rugosité à respecter et en fonction de la rugosité et tu as une vitesse d'avance et le rayon de plaquettes. Donc analysez bien dessin. Il faut que tu fasses les deux l'ébauche et finition. Alors l'état de surface n'est fonction que, évidemment, de la finition. Donc analysez bien le dessin. Il faut que tu fasses les deux : ébauche et finition. ça casse en ébauche ? Augmente ta vitesse de coupe peut-être en finition, peut-être en finition ? Alors là, tu as peut-être cassé</i></p> <p><i>Donc calcul de la durée de vie de l'outil, c'est la durée de la plaquette en durée d'usinage jusqu'à ce qu'elle soit usée. Clique sur usinage, là ! Il faut que tu repartes à zéro.</i></p> <p>Régulation : « <i>0,7, ça ne marche pas. Donc si tu veux améliorer ta rugosité c'est en finition qu'il faut modifier et qu'est-ce que tu vas faire ? Tu vas diminuer la vitesse d'avance et augmenter la vitesse de coupe ? Peut-être pas autant au niveau de la vitesse de coupe, la rugosité sur le dessin elle est de 0,7 ?</i></p> <p><i>E : « oui »</i></p>

Tableau 41 : Extraits du discours de l'enseignant de lycée E1 pour le mini-jeu « *l'as de la fab* »

Dans cet épisode 4, le professeur est partagé entre des régulations individuelles et des consignes adressées à la classe. L'action du professeur est décisive pour la réussite des élèves dans « *l'as de la fab* ». Elle consiste à guider vers les savoirs cristallisés dans ce mini-jeu qui

sont constitutifs de la compétence liée au choix des conditions de coupe pour l'usinage d'une pièce. Nous rappelons brièvement que deux étapes distinctes sont proposées dans le mini-jeu : l'ébauche et la finition. Le joueur doit agir sur quatre paramètres {rayons de bec d'outils - vitesse de coupe - profondeur de passe - vitesse d'avance}. L'enseignant interroge l'élève sur des critères précis qui sont relatifs à des problématiques réelles comme par exemple le respect de la rugosité en finition ou la durée de vie de la plaquette⁸⁶. Nous pensons que l'enseignant doute sur la capacité de cet élève à dépasser les difficultés posées par ce mini-jeu « *l'as de la fab* », pour cela il va d'abord mettre en œuvre un processus de régulation qui vise à gérer cette incertitude (Schubauer-Leoni, 2008) : « *Il faut que tu fasses les deux : ébauche et finition* ». L'enseignant va dicter à l'élève l'exécution des tâches à réaliser « *ça casse en ébauche ? Augmente ta vitesse de coupe peut-être en finition, peut-être en finition ? Alors là, tu as peut-être cassé* ». Nous relevons que le contrat didactique est ici extrêmement guidé, l'enseignant montre les différents paramètres d'usinage à l'élève qui accepte de les voir, il relève de ce que Brousseau (1996) appelle un contrat d'ostension. Pour analyser de façon plus précise le rôle de E1 dans cet épisode, nous pouvons décomposer son action en trois temps. Tout d'abord, il observe l'activité de l'élève au travers des différentes valeurs affichées sur les écrans, ensuite dans un deuxième temps il va détecter les erreurs et/ou réussites. Enfin, dans un troisième temps il intervient en énonçant les tâches à réaliser : « *Donc calcul de la durée de vie de l'outil, c'est la durée de la plaquette en durée d'usinage jusqu'à ce qu'elle soit usée. Clique sur usinage là ! Il faut que tu repartes à zéro* ». Au fil de ces interactions didactiques de l'action conjointe du professeur et de cet élève, nous pouvons déterminer l'évolution du processus didactique. L'enseignant va, au travers de ces multiples régulations, agencer les conditions pour que l'élève puisse réussir le mini-jeu. Nous pensons que ces aides successives peuvent aider les élèves à construire des stratégies qui leur permettront de gagner aux jeux d'apprentissages mais donner la solution systématiquement risque de « tuer » le jeu. En effet, nous pensons que l'enseignant qui pilote l'élève dans les moindres actions, réduit le milieu didactique tel que pensé dans « *l'as de la fab* », ce qui ne permet pas aux élèves de tirer parti des rétroactions du mini-jeu. Ces énoncés vont à l'encontre de l'autonomie, de la responsabilisation de l'élève et suppriment la dimension ludique du *serious game*, nous y reviendrons dans les sections suivantes.

⁸⁶ La plaquette est une pièce amovible de forme différente qui est montée sur le corps de l'outil

✓ **Cinquième épisode : Retour sur une situation scolaire : une situation improvisée**

A la minute 38, E1 arrête le groupe classe pour lancer un autre jeu ce qui va provoquer des rétroactions chez les joueurs.

Situation dans le synopsis	Enoncés significatifs du discours du professeur
min 38 à min 45 « Le magasin »	<p>Régulation : « Vous choisissez, ça vous donnera certainement un ordre d'idée des prix du matériel. C'est pour justement avoir un aperçu. Observez bien dans le magasin le coût des matériels et rendez-vous compte un petit peu des proportions des coûts les uns par rapport aux autres. Peut-être il y a des choses que vous pouvez acheter. » <i>Vas y achète</i> <i>E : ça ne marche pas monsieur.</i></p> <p>Régulation : « Le magasin c'est là. On ne peut pas acheter, bon mais au moins que vous vous rendez compte du prix du matériel. Donc rendez vous compte de ce que vous pourriez acheter si c'était possible. Alors ce qu'on pourrait faire c'est une petite liste sur papier, pourquoi pas.</p> <p>Définition : « Vous allez m'établir sur une feuille de papier une liste du matériel, vous m'indiquez votre total d'argent disponible et vous me dites et vous me donnez la liste de ce que vous achetez avec cet argent. Il nous faudrait un objectif, notre objectif c'est des équipements de tournage, des outils de tour on a besoin d'outils de tour, on a besoin si possible de deux porte-plaquettes et de deux jeux de plaquettes. » <i>E : Il n'y a pas de porte-plaquette ?</i></p> <p>Régulation : « alors si c'est du fraisage vous achetez si possible en porte-pinces, avec un jeu de pinces, des fraises de diamètre de 12. Vous achetez deux porte-pinces et des fraises de diamètre 12. Le plus de fraises possible, mais vous le notez sur le papier puisque sur l'ordinateur ce n'est pas possible. Vous notez ça sur un papier. » <i>E : ça sert à rien</i> <i>Et bien si ça sert, ça va me servir à moi pour faire les commandes.</i></p> <p>Définition : « Allez prenez un papier, une feuille de papier un crayon et vous me listez ce que vous achetez comme ; allez des fraises et des porte-pinces. Tu me mets la somme d'argent dont tu disposes et puis tu m'achètes pour 1000. Avec 1000 € tu peux quand même acheter des choses normalement. Faites-moi la liste sur un papier où vous mettez la somme dont vous disposez et vous me dites ce que vous achetez comme fraises, le nombre de fraises. Vous regardez ce que vous pouvez acheter. Vous le marquez sur le papier parce que vous ne pouvez pas l'envoyer dans le bon de commande parce que cela ne marche pas. »</p>

Tableau 42 : Extraits du discours de l'enseignant de lycée E1 pour le « magasin »

L'analyse des enregistrements montre que l'enseignant improvise une situation qui ne porte pas sur un enjeu du savoir précis. Ses consignes ne sont pas précises et pas adaptées (nombreuses injonctions). Nous retrouvons ici des similitudes avec le premier épisode (utilisation improvisée du mini-jeu « *mini-F1* »). L'enseignant n'avait pas lors de l'entretien *ante* séance prévu d'utiliser le "magasin". Cette improvisation s'explique par le fait que E1 s'est rendu compte qu'un élève était allé voir "le magasin" et il a de suite saisi l'occasion pour demander à la classe « *d'aller voir le magasin* ». E1 déclare d'ailleurs lors de l'entretien *post* séance : « *un élève est allé voir dans le magasin et c'est vrai que je ne l'avais pas découvert ce magasin et c'est vrai que c'est intéressant de se rendre compte du coût du matériel* ». Il est à préciser que "le magasin" n'est pas un mini-jeu, c'est simplement un

environnement dans lequel il existe quelques pièces avec des coûts correspondants. Dans le prototype Mecagenius, nous avons commencé à créer cet espace pour pouvoir le proposer dans la version finale du *serious game*. Paradoxalement aux autres mini-jeux, l'absence de la dimension ludique et des rétroactions explique sans doute que les élèves soient réticents à l'utilisation du "magasin" comme le montrent les échanges (Cf. Tableau 42, rétroactions des élèves) : « *ça ne marche pas monsieur ; ça ne sert à rien* ». Nous pensons que nous sommes en présence d'une rupture du contrat (on ne joue plus au *serious game*, on doit rédiger une commande) ce qui génère des mécompréhensions et ont pour conséquence le non-respect des consignes de la part des élèves. Le milieu didactique proposé par l'enseignant ne peut pas fournir de rétroactions pertinentes compte tenu du fait qu'il est « hors contexte »⁸⁷ ce qui engendre la rupture du contrat didactique. Malgré de nombreuses injonctions : « *Allez prenez un papier ; Faites moi une liste* », l'enseignant arrêtera cette activité et invitera les élèves à aller en récréation.

- **Retour sur le point de vue de l'enseignant**

Entretien <i>post</i> séance n° 2
<p>« <i>On a passé le stade de la découverte je dirais mais ceci pour les premiers jeux donc là j'ai pu constater que chacun allait quand même au niveau expert pratiquement. Bon, c'est vrai qu'ils étaient plus à l'aise, c'est vrai que le jeu de mini F1 à mon sens, nécessite disons, une habitude de la souris et une dextérité à jouer sur des jeux par ailleurs. C'est là qu'on voit finalement ceux qui jouent et ceux qui ne jouent pas. On n'a pu faire le lien j'espère en tout cas, entre les axes machines et le parc machines qu'on a à l'atelier. Ce n'était pas de mes objectifs, c'est quelque chose que j'ai découvert à l'utilisation du jeu, il y a pas mal de choses comme ça qui apparaissent au cours de la séance. Dans le même esprit, un élève est allé voir dans le magasin et c'est vrai que je ne l'avais pas découvert ce magasin et c'est vrai que c'est intéressant de se rendre compte du coût du matériel, je pense que ces coûts sont un petit peu représentatif, les proportions sont conservées et donc il faudra finaliser effectivement le jeu. Bon, il y a eu un élève qui a eu l'initiative d'aller sur le bloc-notes pour noter ses achats. Bon, on l'a fait partager à tous et à peu près la moitié du groupe l'a traité sur le bloc-notes. Tout ça, c'était en dehors de mes objectifs, c'est des découvertes. Et bien, c'était les outils, les équipements. Effectivement j'ai pu mettre au point quelques informations les concernant et je pense que là, tous savent reconnaître les porte-outils et distinguer les outils de fraisage de tournage. »</i></p>

Tableau 43 : Extrait d'entretien *post* séance n° 2 de l'enseignant E1 de lycée

Nous observons qu'au cours de cet entretien *post* séance n° 2, il y a une grande fluctuation entre les différentes thématiques abordées. Cette fluctuation correspond à des préoccupations différentes de l'enseignant E1. Dans cet entretien nous retrouvons deux formes de préoccupa-

⁸⁷ « le magasin » n'est pas un mini-jeu paradoxalement aux autres situations proposées par l'enseignant qui utilisent différents mini-jeux.

tions (Cf. Parties grisées du tableau 43) : le lien avec le réel et notamment les MOCN de l'atelier et les liens avec les éléments du programme de génie mécanique.

Il semble que E1 ait découvert beaucoup d'informations relatives à l'utilisation du *serious game* au cours de ces deux premières séances d'utilisation avec ses élèves : « *c'est quelque chose que j'ai découvert à l'utilisation du jeu* ».

Il ressort de cette deuxième séance que E1 cherche à maintenir sa position de surplomb et à garder le contrôle des événements. Il guide pas à pas ses élèves et ne leur permet pas d'explorer les mini-jeux. Comme nous l'avons vu lors de la première séance, E1 réduit le potentiel adidactique sous-jacent à chaque mini-jeu. Cette deuxième séance corrobore notre interprétation selon laquelle E1 « assimile » le *serious game* à des gestes professionnels sédimentés au fil de l'expérience qui, par ailleurs, relèvent de techniques didactiques de monstration, souvent utilisés dans l'apprentissage en situation professionnelle. Qu'en est-il dans la séance suivante ?

3.1.1.3. Analyse microdidactique de quelques extraits de la séance n° 3

Ce qui caractérise cette troisième séance c'est une focalisation de E1 sur le mini-jeu « *l'as de la fab* ». Comme nous l'avons mentionné lors de l'analyse macroscopique, les choix de cet enseignant s'orientent au fur et à mesure de sa découverte du *serious game* sur les savoirs spécifiques du génie mécanique en lien avec les difficultés que rencontrent les élèves lors des utilisations des MOCN de l'atelier. Il semble intéressant de voir dans l'extrait du discours de l'entretien *ante* séance n° 3 ci-dessous comment E1 se saisit des questions liées à la connaissance visée par les programmes⁸⁸ qui consiste à choisir dans l'outil adapté et définir les conditions d'utilisation (Cf. Programmes STI : Fonction réalisation). Tout l'enjeu didactique E1 est de faire percevoir aux élèves, dans cette situation précise, la question du choix des valeurs pertinentes {profondeur de passe « Ap » - vitesse d'avance « f » - vitesse de coupe Vc - rayon de bec « R bec »} pour réussir l'opération d'ébauche et celle de la finition. Rappelons que ces valeurs sont considérées comme la variable de commande du mini-jeu de « *l'as de la fab* » puisqu'elles en déterminent sa réussite.

⁸⁸ Lycée Première & Terminale STI : Sciences et Technologies Industrielles GM Productique - BO du 1 août 1992 Programmes des lycées STI GM.

• L'entretien *ante* séance n° 3

Extraits significatifs du discours du professeur lors de l'entretien <i>ante</i> séance n° 3
« Donc on va, suite à l'initiation qui a pu être faite sur « l'as de la fab », on va s'attacher aujourd'hui à analyser l'influence de la vitesse d'avance et du choix de la profondeur de passe en ébauche et en finition et donc on va se consacrer uniquement à ce jeu. »

Tableau 44 : Extraits du discours *ante* séance de l'enseignant de lycée E1

• Synopsis de la séance N° 3

Temps	Découpage du protocole selon les tâches proposées	Découpage selon les élèves auxquels il s'adresse	Consignes et contenu visé par le professeur
1'			<p>Définition : « Alors on va aujourd'hui s'intéresser uniquement au jeu de « l'as de la prod»... ». <i>est-ce que quelqu'un peut me dire ce qu'il en a retenu ?</i></p> <p>Institutionnalisation : « Donc pour résumer, vous allez le prendre sur une feuille.... Choix des paramètres de, premièrement, tournage. En ébauche donc en ébauche, le critère c'est d'usiner le plus rapidement possible. Pour gagner évidemment sur le coût de la pièce. Donc les critères qu'on va utiliser c'est... ». <i>Allez, on va sur l'ordi.</i></p>
16'	<p>Lancement de Mecagenius</p> <ul style="list-style-type: none"> • Login et mot de passe • choix du mini-jeu : « l'as de la fab » • choix du niveau : expert 	Groupe classe puis élèves individuellement	<p>Vous allez vous « loguer » Présentation des mini-jeux</p> <p>Choix du premier mini-jeu</p> <p>Temps de manipulation (10 mn)</p>
18'			<p>Régulation : « Donc regardez bien toutes les informations que vous avez à l'écran. Compte tenu de ces critères-là, vous essayez différents les choix... ».</p> <p>Institutionnalisation : <i>Il faut que ça soit le plus grand possible, il faut prendre une vitesse de coupe la plus élevée...</i></p> <p>Régulation à la classe : « Donc regardez bien, lisez bien toutes les informations qui sont à l'écran. Et vous savez qu'il faut faire les opérations d'ébauche et de finition pour que ça marche... ».</p> <p>Consignes et traits pertinents : « Allez M. il faut que tu lises toutes les informations que tu as et que tu essaies de comprendre les paramètres qu'il faut changer... ».</p> <p>Rappel des consignes : « Il faut que tu fasses ébauche et finition. »</p> <p>Effet Topaze : « Tu as vu le Ra qu'il fallait obtenir ? »</p> <p><i>E : « Je ne sais pas pas ce qu'il faut faire »</i></p> <p>Effet Topaze : « Et bien tu lis, en particulier là, il y a un commentaire en rouge... ».</p> <p>Institutionnalisation : « c'est le rapport entre la profondeur de passe et la vitesse d'avance. Le principe, tu divises... ».</p> <p>Régulation : « Tu prends la même avance mais tu augmentes la profondeur donc prend-la plus petite et à partir de là... »</p> <p>Régulation à la classe : « Lisez bien le dessin de définition qui vous donne quelle valeur de rugosité vous devez obtenir et vous verrez qu'il y en a deux : 1,6 et 3,2 autrement dit vous allez vous appuyer sur la plus petite... »</p> <p>Régulation à la classe : « Souvenez-vous la rugosité... Tout le monde a bien compris qu'il s'agit de l'obtenir en finition à 1,6,... ».</p> <p>Régulation à un élève : « il te faut diminuer la vitesse d'avance. Diminue ton rayon de plaquettes... ».</p> <p><i>M, j'aimerais bien que tu y arrives</i></p> <p>Régulation à un élève : « Diminue ta rugosité, regarde ta rugosité elle est à 2,4... ».</p> <p><i>E : Comment ?</i></p> <p>Régulation à un élève : « En changeant ton rapport de Ap/f !... ».</p>

Temps	Découpage du protocole selon les tâches proposées	Découpage selon les élèves auxquels il s'adresse	Consignes et contenu visé par le professeur
45'	Fin de séance (Récréation)	Groupe classe	<i>Donc la prochaine fois, je vous donne un temps imparti pour chaque jeu et on fait de la performance, ce sera le nombre de points qui va compter.</i>

Tableau 45 : Synopsis de la 3^{ème} séance observée de l'enseignant de lycée E1

La particularité de cette troisième séance réside dans le fait que le E1 institutionnalise très tôt les valeurs de vitesse de coupe que les élèves doivent utiliser dans « *l'as de la fab* ». En classe entière, et avant même de commencer la manipulation de Mecagenius, le professeur définit les objets de savoir que les élèves découvriront dans l'utilisation du mini-jeu « *l'as de la fab* » (min 1 à min 15). Nous ne rappelons pas ici les savoirs spécifiques ce mini-jeu car nous l'avons fait dans les épisodes précédents (Cf. E1 séance observée n° 2 - Quatrième épisode : les conditions de coupe). Cette première étape a selon nous trois objectifs. Le premier objectif est de permettre aux élèves d'accéder à de nouvelles connaissances qui feront écho avec celles intégrées dans le mini-jeu « *l'as de la fab* ». Le second objectif est de réduire les incertitudes sur ce qu'il y a à faire lors de l'utilisation du mini-jeu comme le confirment les régulations (individuelles et à la classe entière) sur les solutions à retenir qui suivent (min 18 à min 44). Enfin, le troisième objectif est de construire une référence commune au sein du collectif classe. Après avoir réalisé cette étape que nous pouvons qualifier « d'institutionnalisation préalable », E1 invite les élèves à se rendre sur les ordinateurs (min 16) afin de mettre en œuvre les savoirs précédemment ciblés. Cette institutionnalisation préalable a duré 15 minutes, elle se présente comme un mini-cours.

- ✓ **Événements remarquables au fil des interactions : alternance « régulations - effets Topaze - institutionnalisations »**

Situation dans le synopsis	Enoncés significatifs du discours du professeur à différents moments de l'activité des élèves
min 16 à min 45 « <i>L'as de la fab</i> »	Régulation : « <i>Donc regardez bien toutes les informations que vous avez à l'écran. Compte tenu de ces critères-là, vous essayez différents les choix avec une orientation de vos choix par rapport à ce que je viens de dire.</i> » Institutionnalisation : « <i>Il faut que ça soit le plus grand possible, il faut prendre une vitesse de coupe la plus élevée. Dans la limite à ce que de toutes façons elle est délimitée par la puissance de la machine.</i> »

Situation dans le synopsis	Enoncés significatifs du discours du professeur à différents moments de l'activité des élèves
	<p>Régulation à la classe: <i>Donc regardez bien, lisez bien toutes les informations qui sont à l'écran. » Et vous savez qu'il faut faire les opérations d'ébauche et de finition pour que ça marche.</i></p> <p>Consignes et traits pertinents : <i>« Allez M il faut que tu lises toutes les informations que tu as et que tu essaies de comprendre les paramètres qu'il faut changer. »</i></p> <p>Rappel des consignes : <i>« Il faut que tu fasses ébauche et finition. »</i></p> <p>Effet Topaze : <i>« Tu as vu le Ra qu'il fallait obtenir ? Il faut quand même que tu te plonges dans la page, lis ce qui est écrit. Tu vois que ça, ça ne peut pas marcher.</i></p> <p><i>E : Je ne sais pas ce qu'il faut faire. »</i></p> <p>Effet Topaze : <i>« Et bien tu lis, en particulier là, il y a un commentaire en rouge ».</i></p>

Tableau 46 : Extraits significatifs du discours du professeur lors de la 3^{ème} séance observée

Ce qui caractérise cet épisode, c'est une gestion très paradoxale du rapport au *serious game*. L'enseignant place les élèves en autonomie (min 16). Mais, E1 dès que possible effectue plusieurs régulations. Au cours de cette séance l'enseignant développe une intense activité de régulations didactiques auprès des élèves. L'observation montre que deux types de régulations coexistent, les régulations faites sous forme d'un rappel de consignes à toute la classe et les régulations où l'enseignant a mis l'accent sur l'origine de l'erreur effectuée par un élève. Lors des régulations, l'enseignant insiste sur les stratégies gagnantes et sur les enjeux de savoir correspondants. Enfin, comme le montrent les extraits du tableau 46, l'énoncé des solutions est assez fréquent, il est utilisé comme forme de régulation didactique et qui permet à l'enseignant de faire avancer le savoir rapidement : *« Il faut que ça soit le plus grand possible, il faut prendre une vitesse de coupe la plus élevée. »* qui relève de ce que Brousseau (1996) appelle des contrats de reproduction formelle. Lors de cette séance nous avons identifié (Cf. Parties grisées tableau 46) plusieurs régulations didactiques basées sur le rappel des consignes dans lesquelles l'enseignant invite les élèves à lire les données affichées à l'écran. Il en pointe les traits pertinents ou produit des effets Topaze : *« lis ce qui est écrit » ; « Et bien tu lis, en particulier là, il y a un commentaire en rouge ».*

Nous pensons que lors de ce travail en autonomie le processus de régulation mis en œuvre par cet enseignant vise à gérer l'incertitude. En effet, lorsque les élèves sont confrontés à *« l'as de la fab »*, E1 ne sait pas s'ils vont pouvoir dépasser les difficultés que ce mini-jeu va leur poser. L'enseignant produit des régulations didactiques basées sur des effets de contrat comme l'effet Topaze ou d'ostention. Enfin, l'analyse des enregistrements montre que plusieurs élèves ont décroché, nous pensons que ce blocage résulte d'un enjeu du savoir trop dense pour ce

niveau (1^{ère} STI). Dans cette séance, E1 ne quitte quasiment jamais son topos surplombant. Il a des difficultés à intégrer le *serious game* dans les dimensions de recherche qui initialement visent à ce que les joueurs tirent profit des rétroactions du jeu (ici les paramètres de coupe en ébauche et en finition).

- **Retour sur le point de vue de l'enseignant**

Entretien <i>post</i> séance n° 3
<p>« Mes objectifs étaient qu'ils prennent conscience des influences des profondeurs de passe, vitesse d'avance, vitesse de coupe pour optimiser leur usinage et donc je crois que l'objectif a été atteint. »</p> <p>« Je pense qu'elle s'est bien déroulée dans la mesure où, même si c'était sur la fin, les plus en difficulté qui avaient quelques refus au départ à participer ou abandonnaient rapidement pour se consacrer au jeu du choix des outils, porte-outil. Donc ils abandonnaient parce qu'il n'y arrivait pas, bon au final après les avoir convaincu et leur donner quelques pistes ils ont tous à peu près réussis au moins à gagner 20 points. »</p> <p>« Complètement, au début j'y suis allé un peu dans l'inconnu et progressivement j'en vois toute la pertinence. »</p> <p>« L'abandon de cinq élèves sur 14, pour revenir sur les jeux précédents donc une espèce de fuite devant l'échec où il a fallu les remotiver pour revenir au jeu. À chaque fois, ils reviennent au jeu du choix des outils et choix des équipements. Je pense que ces deux jeux sont à la fois facile de manipulation, je ne sais pas si on peut se laisser uniquement guider par le jeu de la souris et de classer des images, c'est un peu comme une réussite finalement, le jeu de société. »</p>

Tableau 47 : Extraits d'entretien *post* séance n° 3 de l'enseignant E1 de lycée

Nous voyons tout d'abord que dans cet entretien⁸⁹ *post* séance n° 3, que E1 se focalise sur les enjeux de savoir cristallisés dans le mini-jeu « *l'as de la fab* ». Ces données donnent à penser qu'à l'instar des autres séances, E1 développe un usage intégrant le potentiel didactique structurant ce mini-jeu, à ses propres pratiques. Il déclare d'ailleurs : « *au début j'y suis allé un peu dans l'inconnu et progressivement j'en vois toute la pertinence* » (Cf. Tableau 47 : Extraits d'entretien *post* E1). Ensuite, E1 a exprimé dans l'entretien *post* séance son intervention pour les guider dans ce mini-jeu : « *après les avoir convaincu et leur donner quelques pistes* ». Nous pouvons faire l'hypothèse que l'enseignant incorpore ce mini-jeu à des pratiques didactiques très transmissives (Cf. Analyse macroscopique) même s'il commence à envisager quelques dimensions « dévoluantes » sous-jacentes au *serious game*. Mais nous pouvons raisonnablement dire que E1 tient à maintenir son activité programmée « coûte que coûte » : « *une*

⁸⁹ L'entretien E1 *post* séance n° 3 est donné en annexe n° 21

espèce de fuite devant l'échec où il a fallu les remotiver pour revenir au jeu ». Enfin, cet extrait d'entretien de E1 dévoile que d'autres mini-jeux ont été mobilisés dans la séance (choix des outils, porte-outils). Ces mini-jeux ne sont pas en lien avec les conditions de production et d'accès aux savoirs prévus par E1 dont les objectifs étaient centrés autour du choix des paramètres de coupe. D'autre part, nous observons que E1 apporte une attention particulière aux élèves en difficulté. E1 a identifié les obstacles rencontrés par les élèves, mais nous pouvons faire l'hypothèse que son épistémologie professionnelle ne lui permet pas d'envisager autre chose que de revenir à des « jeux plus faciles » pour relancer la motivation : « *Je pense que ces deux jeux sont à la fois facile de manipulation, je ne sais pas si on peut se laisser uniquement guider par le jeu de la souris et de classer des images, c'est un peu comme une réussite finalement, le jeu de société* ».

3.1.1.4. Analyse microdidactique de quelques extraits de la séance n° 4

Lors de cette quatrième et dernière séance, cet enseignant propose une évaluation (entretien *ante* séance n° 4 ci-dessous). L'enseignant va proposer six mini-jeux {« *mini-F1* » - « *le roi de la pref* » - « *les porte-outils* » - « *les équipements* » - « *l'armoire des porte-outils* » - « *l'as de la fab* »}.

- **L'entretien *ante* séance n° 4**

Extraits significatifs du discours du professeur lors de l'entretien <i>ante</i> séance n° 4
« <i>Donc nous allons faire un bilan, à savoir qu'ils vont pratiquer l'ensemble des quatre jeux dans un temps déterminé afin qu'on puisse faire un bilan en terme de points sur chacun des jeux pris séparément ce qui pourra déboucher sur une évaluation.</i> »

Tableau 48 : Extraits du discours *ante* séance n° 4 de l'enseignant de lycée E1

• **Synopsis de la séance N° 4**

Temps	Découpage du protocole selon les tâches proposées	Découpage selon les élèves auxquels il s'adresse	Consignes et contenu visé par le professeur
1'	Régulation : « <i>Donc aujourd'hui on fait le bilan, vous allez pratiquer chacun des quatre jeux successivement à raison de 10 mn par jeu...</i> »		
2'	Lancement de Mecagenius <ul style="list-style-type: none"> • Login et mot de passe • choix du premier mini-jeu : Mini F1 • choix du niveau : expert (conseillé) 	Groupe classe	Vous allez vous « loguer » « <i>Donc on va démarrer par le premier jeu, le circuit de formule 1. Donc il est 19' ; on s'arrête à 29'. Vous notez bien votre score que vous avez en début de partie.</i> »
4'	Définition : « <i>Je vous rappelle que chaque partie...</i> »		
10'	<ul style="list-style-type: none"> • Fermeture du mini-jeu « mini-F1 » • choix du deuxième mini-jeu : « <i>le roi de la pref</i> » • choix du niveau : libre 	Groupe classe Travail individuel	« <i>Bon allez on change de jeu, vous notez le score que vous avez maintenant atteint et vous changez de jeu. Donc, vous passez au roi de la pref et notez le score que vous avez atteint au Jeu de la formule 1.</i> »
11'	Définition : « <i>Il faut tangenter la pièce... ; il ne faut pas être trop près, il ne faut pas écraser la pinnule...</i> »		
	Régulation : « <i>N'oubliez pas de faire le calcul de pref Z. vous dosez bien l'incrémentation...</i> »		
	Régulation : « <i>Après vous passerez sur le calcul...</i> »		
18'	<ul style="list-style-type: none"> • Fermeture du mini-jeu « <i>le roi de la pref</i> » Lancement d'un nouveau mini-jeu • choix du troisième mini-jeu : « <i>les porte-outils</i> » • choix du niveau : libre 	Groupe classe	« <i>Bon on va passer au choix des outillages. Allez terminez la partie, vous notez le score et vous passez au choix des porte-outils. Allez vous basculez aux porte-outils, notez le résultat.</i> »
19'	Définition : « <i>Bon alors vous passez aux équipements...</i> »		
21'	<ul style="list-style-type: none"> • Fermeture du mini-jeu « <i>les porte-outils</i> » Lancement d'un nouveau mini-jeu • choix du troisième mini-jeu : « <i>les équipements</i> » • choix du niveau : libre 	Groupe classe	« <i>Donc basculez aux équipements des machines.</i> »
22'	Régulation : « <i>Tu ne vois pas dès que tu as le cône c'est un porte-outil. ça, c'est VDI. ça c'est la tirette porte-outil,...</i> »		
28'	<ul style="list-style-type: none"> • Fermeture du mini-jeu « <i>les équipements</i> » Lancement d'un nouveau mini-jeu • choix du troisième mini-jeu : « <i>l'armoire des porte-outils</i> » • choix du niveau : libre 	Groupe classe	« <i>Bon, allez vous basculez au procédés d'usinage.</i> »
29'	Régulation : « <i>ça ce n'est pas du VDI, dès que c'est un cône c'est du fraisage.</i> »		
	Régulation : « <i>C'est à chaque fois que tu as l'écrou, regarde bien. Oui c'est un porte-fraise mais à pince...</i> »		

Temps	Découpage du protocole selon les tâches proposées	Découpage selon les élèves auxquels il s'adresse	Consignes et contenu visé par le professeur
35'	<ul style="list-style-type: none"> • Fermeture du mini-jeu « <i>l'armoire des porte-outils</i> » • Lancement d'un nouveau mini-jeu • choix du troisième mini-jeu : « <i>l'as de la fab</i> » • choix du niveau : libre 	Groupe classe	« <i>Vous passez au « roi de la fab », pardon « l'as de la fab » et on terminera sur « l'as de la fab ». »</i> »
36'	Régulation : « <i>Tu vois, tu as diminué la puissance. Là, tu as augmenté la vitesse de coupe et le rayon devait. Là il te faut diminuer la profondeur de passe...</i> »		
45'	Fin de séance		« <i>bon, allez en récréation. »</i> »

Tableau 49 : Synopsis de la 4^{ème} séance observée de l'enseignant de lycée E1

Le synopsis du déroulement temporel de la séance observée montre l'action didactique de cet enseignant E1 en phase d'évaluation. Il invite les élèves à aller vers les ordinateurs afin d'utiliser six mini-jeux préalablement ciblés. L'enseignant est garant du temps, il donne les consignes relatives au lancement et à la fermeture des six mini-jeux désignés. Il amène ses élèves à assumer cette situation d'évaluation. Lors de cette séance, E1 reste plus en retrait. Le nombre d'interactions est plus faible lors de cette séance. Néanmoins, passant d'élèves en élèves, il intervient sporadiquement pour guider les élèves dans la réussite du mini-jeu, ou pour des régulations de validation ou d'invalidation des stratégies mises en œuvre par les élèves.

- **Retour sur le point de vue de l'enseignant**

Nous pouvons noter suite à lecture de l'entretien *post* séance (Cf. tableau 50 ci-dessous), le double objectif de l'évaluation proposée par E1 {connaissances - expérimentation du *serious game*} lors de cette séance n° 4 : « *De faire un bilan un terme de connaissances technologiques et aussi d'expérimentation du jeu* ». Cette évaluation/bilan va permettre à cet enseignant d'avoir un retour sur ce qui s'est passé en classe au cours des trois séances d'utilisation de Mecagenius. L'examen de cet entretien semble indiquer que pour ce professeur tous les élèves ont produit des réponses pertinentes aux mini-jeux proposés même au niveau le plus difficile : « *Même les moins bons ont tous réussis avec le niveau expert.* ». Nous verrons au chapitre trois que c'est loin d'être le cas.

Entretien *post* séance n° 4

« Donc on a fait le bilan, au travers de l'ensemble des jeux qui ont été réalisés en temps limité et pour lesquels les élèves ont à chaque fois noté leurs nombres de points acquis à l'issue du jeu. Ce qui ne s'est pas forcément passé rigoureusement, certains ont oublié de noter à certains moments donc on fera un bilan plus détaillé quand on aura les traces. »

« De faire un bilan un terme de connaissances technologiques et aussi d'expérimentation du jeu puisque c'était la première fois qu'on le pratiquait en évaluation. Au cours de ces quatre séances c'est la première expérimentation de ces Serious Game et que ça permet de faire un bilan et de voir qu'au bout finalement de quatre heures ils ont totalement maîtrisé les finesses disons de ces quatre jeux à un terme d'ergonomie, de stratégie. Même les moins bons ont tous réussis avec le niveau expert. »

Tableau 50 : Entretien *post* séance n° 4 de l'enseignant E1 de lycée

3.1.1.5. Pour conclure sur les usages de Mecagenius par E1

L'analyse des synopsis et des quelques extraits ou épisodes remarquables met en évidence que E1 fait un usage très dirigé de Mecagenius. Il ne repère pas le potentiel adidactique des mini-jeux utilisés par les élèves. Lors de leur essai, il pilote leur activité vers des savoirs-faire à produire, par des injonctions sur ce qu'il convient de faire. D'une manière générale, ses régulations portent sur des solutions, et s'accompagnent d'institutionnalisations justes. Elles ont pour conséquence une réduction du milieu didactique, et des contrats de rappel de savoirs anciens, de communication et d'ostention, voire des contrats de reproduction formelle (Brousseau, 1996).

3.1.2. L'enseignant E2 de lycée

3.1.2.1. Analyse microdidactique de quelques extraits de la séance n° 1

Rappelons que l'enseignant E2 a programmé seulement deux séances avec Mecagenius qui comme pour l'enseignant E1, sont proposées à une classe de première STI (groupe de 12 élèves).

- **L'entretien *ante* séance n° 1**

Extraits significatifs du discours du professeur lors de l'entretien <i>ante</i> séance n° 1
« Alors, j'ai regardé brièvement donc de quoi il s'agissait et j'ai vu que cela pouvait m'apporter un plus par rapport à mes cours. Alors moi, je pense que je peux l'utiliser en terme de complément de cours et pour faire des travaux pratiques et pour qu'ils aient une application un peu pratique. »

Tableau 51 : Extraits du discours *ante* séance n° 1 de l'enseignant de lycée E2

Il semblerait d'entrée que E2 se soit davantage préoccupé des contenus du *serious game* que ne l'avait fait E1. Néanmoins, comme nous l'avons évoqué lors de l'analyse macroscopique, il apparaît beaucoup de similitudes entre les deux enseignants de lycée (E1 et E2) qui proposent une même situation de départ avec une découverte « libre » des mini-jeux. Cependant, cette observation est à nuancer car ces deux séances ne présentent pas tout à fait le même profil d'action. En effet, nous avons vu précédemment que dans la séance n° 1, E1 joue un rôle de guide dans cette phase de découverte en balisant de façon directive les différents mini-jeux à découvrir. En revanche, lors de la séance n° 1, E2 semble plus « en retrait », en offrant l'occasion aux élèves de découvrir et d'exploiter eux-mêmes toutes les possibilités de Mecagenius. Lors de l'entretien *ante* (Cf. tableau 51 ci-dessus), cet enseignant considère que le *serious game* est « un complément de cours » qui va permettre aux élèves d'avoir « une application un peu pratique ». L'enseignant au départ, retient ce dispositif matériel en déclarant : « j'ai regardé brièvement donc de quoi il s'agissait ». Nous allons, grâce à l'analyse microdidactique essayer de comprendre comment E2 utilise le *serious game*. Comme pour l'enseignant E1, nous examinons le déroulement temporel de la séance, minute après minute à partir du découpage correspondant aux tâches mises en place, et aux modalités de travail instaurées, la totalité étant disponible en annexe (Cf. Annexe 33 et 34).

• **Synopsis de la séance N° 1**

Temps	Découpage du protocole selon les tâches proposées	Découpage selon les élèves auxquels il s'adresse	Consignes et contenu visé par le professeur
1'	Définition : « Vous relevez, vos Login et vos mots de passe, c'est une occasion pour aller sur Internet parce que d'habitude vous n'avez pas le droit d'y aller. Donc, vous devez arriver sur cette page là. Vous l'avez au tableau. Bon, tout le monde est arrivé sur la première page ? »		
2'	Lancement de Mecagenius <ul style="list-style-type: none"> • Login et mot de passe • choix libre des mini-jeux • choix libre du niveau 	Groupe classe	« Vous pouvez commencer par celui que vous voulez. Sur chaque niveau vous pouvez prendre débutant, confirmés ou experts. »
4'	Définition : « Vous essayez au niveau confirmé puis après débutant et puis si vous y arrivez vous pouvez essayer expert. Oui, les différents jeux, c'est ça. Régulation : C'est l'avance, là tu avances de 100 mètres, et voilà. E : Comment ? Régulation : si avance de 100 mètres ! E : Comment on sait quand on a 2 mm ? Régulation : Il te faut juger, tu avances d'un dixième... » Vous avez tous pris la formule un ? ça vous a attiré la formule 1 ? Alors cette formule un, quel est le principe ? Qu'est-ce qu'il faut faire ? Il faut garer la voiture le plus près possible de la cible, c'est ça ? Il faut arriver à la garer au bon endroit, pas trop loin, pas trop près ? Là tu as fait du dérapage contrôlé. Moi je l'ai testé, j'ai fait la jauge outil bien sûr, la formule un je ne l'ai pas faite. Ça image bien la position de l'outil, porte-outil, et la pièce, porte-pièce ; ça image bien. Tous vous êtes partis sur la formule un ?		
12'	Définition : « On te montre donc ici tu as l'origine machine, l'origine du porte-pièce ici donc là entre l'origine machine et l'origine pièce... » Régulation : Donc il te faut saisir la référence c'est-à-dire la longueur, donc c'est la longueur de $A + L + z PL$ donc il faut avec la calculatrice faire l'addition et puis reporter ici les valeurs... » E : Monsieur qu'est ce qu'il faut rentrer Institutionnalisation : « Le pref c'est la distance entre l'origine machine et le point générateur... » Régulation : « Et bien c'est une addition vectorielle de là à là,... » E : « A » c'est quoi ? Régulation : « c'est 1,8, c'est la distance entre ça et ça... » Régulation : « Attention aussi, parce qu'il y a les signes. Tu as la formule, calculer la prise de références $zP + A - L$; donc suivant Z, D... » Régulation : « Tu fais une avance, une profondeur de passe et puis tu regardes si la machine elle a assez de puissance, puis tu regardes... » E : On en revient sur les jeux Monsieur ? Régulation : « On te demande de venir palper... donc il faut que tu approches donc ici tu joues sur le variateur... » Régulation : « Tu dépasses la capacité de la machine, tu lances pour voir si c'est bon... » Régulation : « Perdu, tu as fait une erreur, le porte-pince, c'est quand ça visse,... » E : ça c'est quasiment sûr que c'est du tournage Régulation : « tu vois, comme tu ne peux pas mettre de pièces dans le même cadre... » Régulation : « il te faut choisir des conditions de coupe, tu choisis un couple avances et puis profondeur de passe. Si tu cliques là dessus, ... »		
36'	Arrêt de Mecagenius	Groupe classe	« bon vous allez en pause »
38'	Régulation (« l'as de la fab ») : « Là, tu as choisi les conditions de coupe extrêmes. Tu as choisi un rayon de bec de 0,8 vitesses de coupe 300 m/mn et la profondeur de passe,... » Régulation (« le roi de la pref ») : « Donc là, il faut que tu te déplaces, il faut que tu viennes pal-		

Temps	Découpage du protocole selon les tâches proposées	Découpage selon les élèves auxquels il s'adresse	Consignes et contenu visé par le professeur
	<p><i>per...»</i> <i>E : c'est Z</i> Régulation (« le roi de la pref ») : <i>donc tu vas te déplacer en Z + ou Z-</i> <i>E : Z-</i> Régulation (« le roi de la pref ») : <i>« Donc tu te déplaces et là tu vas relever la valeur du pref...»</i> Régulation (« le roi de la pref ») : <i>« tu vois par exemple le palpate tu n'es pas obligé d'être au milieu de la pièce,...»</i> Régulation (« l'as de la fab ») : <i>« Là, tu vois dès le départ tu as pris les conditions extrêmes. Tu vois l'avance 0,4 mm par tour c'est beaucoup donc tu peux faire...»</i></p>		
45'	Fin de séance	Groupe classe	

Tableau 52 : Synopsis de la 1^{ère} séance observée de l'enseignant de lycée E2

Le synopsis rend compte que durant cette première séance, l'enseignant de lycée E2 propose une manipulation libre de Mecagenius afin de découvrir et d'exploiter toutes les possibilités de ce *serious game*. L'analyse des enregistrements montre que, dans un premier temps, l'enseignant observe les tâtonnements successifs des élèves confrontés aux différents mini-jeux. Il prend du temps pour observer ses élèves et détecter l'origine des difficultés pour pouvoir y remédier pendant leur action (min 4 à min 12). A la suite de cette observation, E2 questionne les élèves à propos des objectifs du mini-jeu « *mini-F1* » : « *Vous avez tous pris la formule un ? Ça vous a attiré la formule 1 ? Alors cette formule un, quel est le principe ? Qu'est-ce qu'il faut faire ? Il faut garer la voiture le plus près possible de la cible, c'est ça ? Il faut arriver à la garer au bon endroit, pas trop loin, pas trop près ?* ». Cette série de questions successives de E2 vise à recueillir auprès des élèves des retours sur les difficultés que ce mini-jeu va leur poser mais nous observons une absence d'interactions verbales en retour de la part des élèves occupés à jouer. Ce manque de réactions des élèves nous conduit à ne pas le retenir comme évènement remarquable. Ces multiples questions permettent aussi à E2 de gérer sa méconnaissance du « *mini-F1* ». Il déclare d'ailleurs lors de l'entretien *ante* séance qu'il n'a pas manipulé ce mini-jeu : « *la formule 1 je ne l'ai pas faite* ». L'analyse des observations montre aussi que, dans ce début de séance, cet enseignant n'intervient pas sur ce qu'il y a à faire pour réussir les mini-jeux laissant une certaine autonomie aux élèves. Jusqu'à la 9^{ème} minute, l'enseignant se déplace et observe l'action des élèves. Ses questions concernent essentiellement le principe de fonctionnement des mini-jeux. L'enseignant accepte les actions de jeu des élèves comme des réponses valides. Enfin, nous pensons que cette pratique témoigne d'une compétence professionnelle de E2 qui lui permet de gérer cette situation.

Dans cette première séance E2 propose une découverte « libre » de plusieurs mini-jeux (voir analyse macroscopique). De ce synopsis nous extrayons deux épisodes rendant compte de l'action didactique de E2 significatifs d'une mise à l'étude de savoirs de génie mécanique :

- 1^{er} épisode : Un resserrement sur les actions à produire
- 2^{ème} épisode : Gérer la classe, une alternance entre « *le roi de la pref* » et « *l'as de la fab* »⁹⁰

Comme nous l'avons fait pour l'enseignant E1, nous allons présenter dans ce qui suit, les deux évènements remarquables relatifs à cette séance n° 1.

✓ Evénements remarquables au fil des interactions : Un resserrement sur les actions à produire

Situation dans le synopsis	Enoncés significatifs du discours du professeur lorsqu'il intervient auprès des élèves jouant au « <i>le roi de la pref</i> »
min 12 à min 36 « <i>le roi de la pref</i> »	<p>Définition : « <i>On te montre donc ici tu as l'origine machine, l'origine du porte-pièce ici donc là entre l'origine machine et l'origine pièce...</i></p> <p>Régulation : « <i>Donc il te faut saisir la référence c'est-à-dire la longueur, donc c'est la longueur de $A + L + z PL$ donc il faut avec la calculette faire l'addition et puis reporter ici les valeurs,</i> ».</p> <p>Institutionnalisation : « <i>Le pref c'est la distance entre l'origine machine et le point générateur...</i> »</p> <p>Régulation : « <i>Et bien c'est une addition vectorielle de là à là, ...</i> »</p>

Tableau 53 : Extraits du discours de l'enseignant de lycée E2 pour le mini-jeu « *le roi de la pref* »

A la minute 12, E2 se dirige vers un élève qui utilise le mini-jeu « *le roi de pref* ». Après avoir défini certains éléments qui apparaissent à l'écran, E2 spécifie les objets de savoirs représentatifs de ce mini-jeu notamment la question de la référence. L'enseignant aide l'élève pour réussir le mini-jeu en donnant des précisions relatives aux données et différents paramètres qu'il faut rentrer dans ce mini-jeu pour le réussir. Les interactions sont plus nombreuses dans cet épisode-là. Comme E1, l'enseignant découvre toutes les possibilités du mini-jeu lors de la manipulation des élèves. E2 précise alors la réponse à produire dans ce mini-jeu « *Donc il te faut saisir la référence c'est-à-dire la longueur, donc c'est la longueur de $A + L + z PL$ donc il faut avec la calculette faire l'addition et puis reporter ici les valeurs* ». Après avoir laissé explorer le mini-jeu et comme son collègue E1, nous observons donc à nouveau au travers de

⁹⁰ Nous ne rappelons pas les savoirs visés pour les mini-jeux (« *le roi de la Pref* » - « *l'as de la fab* ») car nous l'avons fait pour l'étude de l'enseignant E1 lors de la séance n° 1.

ces régulations successives une réduction du milieu didactique qui consiste à guider les élèves vers l'action à produire afin qu'ils puissent réussir ce mini-jeu « *le roi de la pref* ». A la suite de Brousseau (1996), nous pensons que nous sommes ici en présence d'un contrat de communication. Même si le rôle de ces régulations est de réduire les incertitudes sur ce qu'il y a à faire dans le mini-jeu, elles risquent d'empêcher les élèves de tirer parti de la dimension ludique du *serious game* qui est conçu pour que la rencontre d'erreurs dans la saisie de la référence amène l'élève à revoir sa stratégie de jeu. Tout se passe comme si au cours de cette séance E2 faisait avancer le savoir (chronogénèse) grâce à ses manipulations et interventions précises auprès des élèves durant leurs actions. Il insiste sur les enjeux de savoir véhiculés par les mini-jeux et à chaque fois qu'il pointe les difficultés des élèves, il apporte la solution par des institutionnalisations synthétiques.

✓ **Événements remarquables au fil des interactions : Gérer la classe : une alternance entre « *l'as de la fab* » et « *le roi de la pref* »**

La gestion en présentiel d'élèves jouant en parallèle à deux jeux différents amène E2 à endosser une posture tutorielle individualisée.

Situation dans le synopsis	Énoncés significatifs du discours du professeur adressé aux différents élèves en train de jouer
min 38 à min 42 « <i>l'as de la fab</i> » et « <i>le roi de la pref</i> »	<p>Régulation (« <i>l'as de la fab</i> ») : « <i>Là, tu as choisi les conditions de coupe extrêmes. Tu as choisi un rayon de bec de 0,8 vitesses de coupe 300 m/mn et la profondeur de passe, tu as choisi 2 mm tu as changé. Cette année on ne calcule pas la puissance de la machine, l'année prochaine on calculera la puissance de la machine, mais là, tu vois rapidement si tu dépasses les capacités de la machine. Ça tombe très bien puisque tout à l'heure on a parlé des paramètres de coupe, l'avance, on n'a pas introduit le rayon de bec. »</i></p> <p>Régulation (« <i>le roi de la pref</i> ») : « <i>Donc là, il faut que tu te déplaces, il faut que tu viennes palper ta surface et que tu calcules la valeur du pref. Tu as les différents axes, tu as l'axe Z ; tu as l'axe X et donc tu te déplaces, et donc au début tu as "galéré" un petit peu et donc là, maintenant il te faut te déplacer dans quelle direction pour venir palper »</i></p> <p>Régulation (« <i>l'as de la fab</i> ») : « <i>Là, tu vois dès le départ tu as pris les conditions extrêmes. Tu vois l'avance 0,4 mm par tour c'est beaucoup donc tu peux faire des essais, tu gardes le rayon, tu gardes la vitesse de coupe, et tu changes qu'un seul paramètre et tu regardes si ça passe. Donc là ça passe. "Arrêt de la production cause outil usé". Au point de vue puissance ça passe mais on use l'outil trop vite, la durée de vie de l'outil est trop courte. On a vu tout à l'heure que la durée de vie de l'outil elle influençait les conditions de coupe..»</i></p>

Tableau 54 : Extraits du discours de l'enseignant de lycée E2 pour les mini-jeux « *l'as de la fab* » et « *le roi de la pref* »

Les extraits retenus du discours de l'enseignant mettent en évidence comment, pour ces deux mini-jeux, E2 cible dans ses régulations les objets de savoir qui renvoient aux compétences critiques visées par « *l'as de la fab* » et « *le roi de la pref* ». L'analyse des courts extraits souligne la focalisation de E2 sur les enjeux liés aux difficultés récurrentes rencontrées par les élèves à ce niveau de formation (Cf. Enquête sur les besoins des enseignants, mais aussi analyse de l'activité liée à la recherche *Mouv*).

Le premier extrait de discours montre que les interventions de E2 concernent les objets de savoir qui sont mobilisés par « *l'as de la fab* » en relation directe avec les éléments du programme⁹¹ : « *Ça tombe très bien puisque tout à l'heure on a parlé des paramètres de coupe, l'avance, on n'a pas introduit le rayon de bec.* ». Cette préoccupation le conduit à investir ce mini-jeu en manifestant fortement les articulations qui témoignent de son projet d'enseignement : « *l'année prochaine on calculera la puissance de la machine* ». Ceci étant posé, outre le rapport que E2 entretient avec les programmes, nous observons au début de cet extrait de discours qu'il s'agit d'une régulation de la part de E2 qui décrit les choix de l'élève sans prendre en charge directement la construction de la « stratégie gagnante » : « *Là, tu as choisi les conditions de coupe extrêmes. Tu as choisi un rayon de bec de 0,8 vitesses de coupe 300 m/mn et la profondeur de passe, tu as choisi 2 mm tu as changé.* ». Cette manière de réguler témoigne d'un topo partagé entre professeur et élève. E2 guide l'élève concerné pour qu'il identifie les causes de ses erreurs. Contrairement à E1 il ne délivre pas la solution au problème rencontré.

En revanche, nous pouvons remarquer dans la régulation suivante (concernant le mini-jeu « *le roi de la pref* ») que E2 est amené énoncer lui-même les actions que l'élève devra faire en relation avec le mini-jeu : « *Donc là, il faut que tu te déplaces, il faut que tu viennes palper ta surface et que tu calcules la valeur du pref* ». Il reste que, comme pour l'enseignant E1 (Cf. E1 - Quatrième épisode : les conditions de coupe) ces multiples régulations, ainsi que ces aides excessives, risquent d'opacifier la dimension ludique du *serious game*, nous reviendrons sur ce point dans le fil des analyses.

Dans le dernier extrait, E2 montre les différents paramètres d'usinage qui sont les clés de la réussite de « *l'as de la fab* » en guidant l'élève non plus de façon injonctive mais en tutorant : « *donc tu peux faire des essais, tu gardes le rayon, tu gardes la vitesse de coupe, et tu changes*

⁹¹ Lycée Première & Terminale STI : Sciences et Technologies Industrielles GM Productique - BO du 1 août 1992 Programmes des lycées STI GM.

qu'un seul paramètre et tu regardes si ça passe. », laissant à l'élève un espace d'expérimentation. Nous sommes ici en présence d'un contrat didactique davantage ouvert Brousseau (1996).

- **Retour sur le point de vue de l'enseignant**

Entretien <i>post</i> séance n° 1
<p>« J'ai essayé de voir comment ils s'y prenaient et qu'est-ce que c'est qui les intéressaient. Donc, j'ai vu qu'ils avaient en premier tous commencé par « le jeu formule un », parce que ça les a attirés. Après ils ont découvert qu'il fallait avoir une position de positionnement, etc. Après, j'étais très surpris de voir qu'ils revenaient sur la spécificité, donc de mesurer des pref, d'essayer de comprendre. Mais, je pense qu'ils n'ont pas trop approfondi, qu'ils n'ont pas trop calculé. Donc, je regardais un petit peu comment ils se comportaient vis-à-vis du jeu et voir un peu ce qui les intéressait, comment les paramètres ils les affichaient, est ce qu'ils les affichaient comme ils font avec leurs jeux c'est-à-dire ils "pianotent" ou alors donc ils avaient une recherche. Bon, je pense que dans un premier temps ils font comme dans leurs jeux puisqu'il n'y a pas d'objectif, ils regardent comment ça se passe. Après peut-être ils peuvent essayer plusieurs paramètres et voir un petit peu comment ça se comporte.</p> <p>C'est bien, voir leur curiosité et de voir surtout leur attention, comment ils s'investissaient dans le jeu et voir combien de temps ça pouvait les intéresser. Donc, j'ai arrêté le jeu quand j'ai vu que l'attention diminuait et que bon, ils commençaient à s'amuser donc j'ai dit on va arrêter. »</p>

Tableau 55 : Extraits du discours *post* séance de l'enseignant de lycée E2

Lors de l'entretien *post* séance n° 1, E2 a précisé qu'il observait les réactions des élèves confrontés à ces mini-jeux : « J'ai essayé de voir comment ils s'y prenaient et qu'est-ce que c'est qui les intéressaient ». L'entretien permet de rassembler ces éléments autour de quelques orientations majeures qui donnent particulièrement à voir la manière dont E2 a procédé. Cet enseignant s'est d'abord attaché à découvrir le *serious game* (en même temps que ses élèves) mais à la différence de E1, il s'est rendu plus sensible aux potentialités des mini-jeux. D'autre part, E2 s'est appuyé sur les actions et réactions des élèves au cours du jeu : « Donc, je regardais un petit peu comment ils se comportaient vis-à-vis du jeu et voir un peu ce qui les intéressait, comment les paramètres ils les affichaient, ... »

Pour terminer, il ressort de cet entretien que E2 décide d'arrêter cette première séance en raison de la baisse de l'attention des élèves mais aussi à cause de leur amusement : « Donc, j'ai arrêté le jeu quand j'ai vu que l'attention diminuait et que bon, ils commençaient à s'amuser donc j'ai dit on va arrêter ».

3.1.2.2. Analyse microdidactique de quelques extraits de la séance n° 2

Lors de cette deuxième et dernière séance l'enseignant E2 a retenu, comme nous l'avons mentionné lors de l'analyse macroscopique, un seul mini-jeu : « *l'as de la fab* ». Rappelons que ce dernier vise des savoirs précis du génie mécanique en lien avec les difficultés que rencontrent les élèves, des difficultés proches de leur environnement en lien avec l'activité d'un opérateur sur MOCN. L'extrait du discours de l'entretien *ante* séance n° 2 ci-dessous, illustre bien que l'enseignant choisi ce mini-jeu « *l'as de la fab* » pour son intérêt mais aussi pour des problématiques réelles de fabrication.

- **L'entretien *ante* séance n° 2**

Extraits significatifs du discours du professeur lors de l'entretien <i>ante</i> séance n° 2
« Ils avaient fait presque tous les jeux et donc je pensais que c'était le jeu (« <i>l'as de la fab</i> ») qui avait le plus où il y avait le plus à dire, qui pouvait être le plus intéressant pour nous de fabrication, etc. »

Tableau 56 : Extraits du discours *ante* séance n° 2 de l'enseignant de lycée E2

- **Synopsis de la séance N° 2**

Temps	Découpage du protocole selon les tâches proposées	Découpage selon les élèves auxquels il s'adresse	Consignes et contenu visé par le professeur
1'	Définition : « <i>Bon alors aujourd'hui jusqu'à la récréation on va reprendre...</i> »		
2'	Lancement de Mecagenius <ul style="list-style-type: none"> • Login et mot de passe • choix libre du niveau 	Groupe classe	« <i>On va faire le jeu « l'as de la fab », il faut choisir des paramètres et avec le temps on va essayer de d'usiner un maximum de pièces avec des produits donc on va essayer de faire ça. »</i>
4'	<i>E : je ne comprends rien Monsieur</i> Dévolution : « <i>Et bien, il faut faire des choix donc au niveau des rayons d'outils, au niveau de la vitesse de coupe et puis après...</i> » <i>E : Monsieur, j'ai perdu</i> Régulation (explication) : « <i>Et bien parce que tu n'as pas choisi les bons paramètres de coupe, le temps est trop court ...</i> » <i>E : Et on fait comment ?</i>		

<p>Régulation (injonction) : « Il faut faire des choix, si tu vas trop vite tu vas user l'outil trop rapidement et si tu vas plus doucement tu vas usiner moins vite mais tu ne feras pas toutes les pièces ...» <i>E :</i> On a vingt pièces à faire d'un coup ?</p> <p>Régulation (relance de l'activité de recherche) : « Disons qu'avec ça il faut que tu choisisses entre le rayon de plaquettes, la vitesse de coupe et ensuite tu vas définir la profondeur de passe et l'avance en ébauche et en finition et tu vas voir si tu vas y arriver ou pas ...» <i>E :</i> Monsieur, c'est bon</p> <p>Régulation : « Et tu as un état de surface à respecter, ici tu as Ra 3,2. Si tu avances rapidement tu augmentes la rugosité et tu diminues le temps et si tu avances lentement tu améliores la rugosité mais tu augmentes le temps...» <i>E :</i> Je ne peux même pas changer j'ai la vitesse de coupe ! J'ai appuyé ça ne marche pas.</p> <p>Régulation (explication) : « ça c'est la rugosité, si la rugosité elle est meilleure elle demande plus de puissance à la machine....» <i>E :</i> Ça sert à quoi de changer le rayon de bec ?</p> <p>Institutionnalisation : « Et bien tu améliores la rugosité. Le fait d'avoir un rayon plus grand tu as plus de surface ça veut dire que tu vas demander plus de puissance à la machine...»</p> <p>Régulation (injonction) : « Il te faut lancer l'usinage là. Par contre diminuent le rayon, et oui apparemment la pièce elle est finit en ébauche...»</p> <p>Régulation (explication) : « Donc, là tu prends un outil avec un rayon de 0,4 donc ton outil quand il avance, voilà ta pièce, si tu as un rayon plus grand pour une profondeur de passe donnée tu vas avoir une rugosité qui va être moins importante. »</p> <p>Institutionnalisation : « Donc un rayon plus grand il améliore la rugosité mais il augmente la puissance demandée à la machine pour une même profondeur de passe...»</p> <p>Régulation : « Alors tu vois par exemple par rapport à la réalité profondeur de passe en ébauche 1 mm, en finition 2 mm. »</p> <p>Régulation (explication) : « Donc, tu vois, tu prends plus en finition qu'en ébauche. Le but de la finition c'est d'avoir premièrement un état de surface en rapport avec ce que l'on veut et deuxièmement un défaut géométrique réduit,»</p> <p>Institutionnalisation : « Donc, en finition on prend toujours de petites passes mais on a vu qu'on a un copeau minimum....»</p> <p>Institutionnalisation : « Donc là, c'est bon mais au point de vue paramètres ce n'est pas bon....»</p> <p>Régulation : « Alors, on va regarder ce que tu as fait. En ébauche t'as pris une profondeur de passe de 2 millimètres et en finition tu as pris 1 mm.</p> <p>Consigne à la classe : Vous avez essayé les trois niveaux ? Vous m'appellez pour analyser les résultats parce que c'est bon d'analyser les résultats. Il faut analyser les chiffres et voir par rapport à la réalité ce que ça donne. Il faut analyser les performances....»</p>		
45'	Fin de séance	Bon, allez, vous allez en récréation

Tableau 57 : Synopsis de la 2^{ème} séance observée de l'enseignant de lycée E2

Lors de cette seconde séance, E2 demande aux élèves de jouer à un seul mini-jeu : « *l'as de la fab* », ce choix n'est pas étranger à la séance précédente (Cf. Entretien *ante* séance). Nous poursuivons notre étude des intentions didactiques de cet enseignant E2 de lycée en commentant ce synopsis. Nous avons retenu dans cette seconde séance de E2 une série de micro événements remarquables qui se sont déroulés au fil du passage de l'enseignant auprès des élèves en train d'utiliser « *l'as de la fab* », comme nous le développons ci-après.

✓ **Evènements remarquables : des « régulations ciblées » sur les savoirs faire critiques de l'usinage**

Situation dans le synopsis	Enoncés significatifs du discours du professeur
<p>min 4 à min 45 « L'as de la fab »</p>	<p>Dévolution : « Et bien, il faut faire des choix, il faut faire des choix donc au niveau des rayons d'outils, au niveau de la vitesse de coupe et puis après faire des choix de profondeur de passe et d'avance et donc en ébauche et en finition. Et voir un petit peu combien de pièces tu fais, etc. avec l'outil c'est tout. »</p> <p>Régulation (relance de l'activité de recherche) : « Disons qu'avec ça il faut que tu choisisses entre le rayon de plaquettes, la vitesse de coupe et ensuite tu vas définir la profondeur de passe et l'avance en ébauche et en finition et tu vas voir si tu vas y arriver ou pas. Donc globalement si tu augmentes la vitesse de coupe, tu vas plus vite et tu vas user l'outil plus rapidement donc tu risques de ne pas arriver au bout des 20 pièces ; si tu vas plus doucement tu vas user l'outil moins vite mais du coup dans les 1 h 30 qui ne va pas y arriver, il faut faire un compromis. »</p> <p>Régulation : « Alors tu vois par exemple par rapport à la réalité profondeur de passe en ébauche 1 mm, en finition 2 mm. »</p> <p>Régulation (explication) : « Donc, tu vois, tu prends plus en finition qu'en ébauche. Le but de la finition c'est d'avoir premièrement un état de surface en rapport avec ce que l'on veut et deuxièmement un défaut géométrique réduit. Alors plus tu prends de profondeur de passe et plus tu vas avoir un outil qui va fléchir, qui va se déformer... »</p>

Tableau 58 : Extraits du discours de l'enseignant de lycée E2 pour le mini-jeu « l'as de la fab »

Durant cette séance, E2 choisit d'utiliser le mini-jeu nommé « l'as de la fab ». Dans le tableau ci-dessus sont présentés quelques extraits significatifs de l'utilisation de ce mini-jeu. Nous isolons ici les éléments qui nous sont utiles dans cette partie. Nous ne retenons ici qu'un épisode significatif car comme le montrent les enregistrements vidéo, et l'analyse du synopsis précédemment effectué, cet enseignant E2 va tout au long de cette séance effectuer les mêmes actions auprès des élèves. Tout comme l'enseignant E1, les interventions de E2 (pendant que les élèves jouent) sont de deux registres : après avoir installé le mini-jeu E2, à la sixième minute, tente de dévoluer à ses élèves les choix à prendre en considération pour régler la MOCN. Il liste les différents choix à faire dans ce mini-jeu : « il faut faire des choix donc au niveau des rayons d'outils, au niveau de la vitesse de coupe et puis après faire des choix de profondeur de passe et d'avance et donc en ébauche et en finition. ». Nous sommes ici en présence d'une régulation de E2 qui agit sur le milieu Mecagenius, en précisant le contrat initialement sous-jacent à ce mini-jeu. Le premier registre concerne l'aide apportée par E2 au niveau de l'objectif de ce mini-jeu, cet enseignant guide le plus souvent les élèves vers les ré-

ponses attendues. En effet, la clé de la réussite de ce mini-jeu « *l'as de la fab* » réside dans le choix de conditions de coupe du quadruplet {rayons de bec d'outils - vitesse de coupe - profondeur de passe - vitesse d'avance} en ébauche et en finition. Le guidage très serré de E2, vers le repérage d'observables pertinents, oriente l'activité de l'élève. Nous pouvons dire que nous sommes ici sur un contrat d'information portant sur les effets des choix (Brousseau, 1996). Dans cette régulation nous pointons une série d'institutionnalisation (Brousseau, 1986), qui a pour finalité de faire produire aux élèves la (ou les) stratégie(s) gagnante(s) : « *il faut que tu choisisses entre le rayon de plaquettes, la vitesse de coupe et ensuite tu vas définir la profondeur de passe et l'avance en ébauche et en finition et tu vas voir si tu vas y arriver ou pas* ». Par ce guidage très serré, E2 provoque une avancée rapide du temps didactique, mais enlève par la même occasion toute la dimension ludique du *serious game*. Comme le met en évidence le synopsis de séance, ces nombreuses régulations sont souvent coupées de micro-institutionnalisations (Marlot & Sensevy, 2004), « *Le but de la finition c'est d'avoir premièrement un état de surface en rapport avec ce que l'on veut et deuxièmement un défaut géométrique réduit.* ». E2 définit aussi les objectifs et les fonctions de chaque opération d'usinage rappelant aux élèves quels sont les savoirs à retenir au fur et à mesure de l'usage du mini-jeu. E1 déploie ici une succession de « micro-institutionnalisations » de portée plus ou moins forte selon les obstacles rencontrés par les élèves, en mettant l'accent sur les conséquences des choix des paramètres de coupe sur « l'état de surface » ou sur « la rugosité » dont nous avons vu qu'ils constituaient des critères clés de la compétence d'usinage.

Le deuxième registre concerne une préoccupation de l'enseignant qui, comme E1, concerne le rapport à la machine réelle. Le professeur signifie plusieurs fois aux élèves quels sont les savoirs qu'il faut retenir qui sont les enjeux de l'apprentissage attendu. Mais, la définition de ces savoirs représentatifs de ce mini-jeu est associée à un parallèle avec le réel et notamment sur les résultats obtenus. L'enseignant va replacer les élèves dans le monde du réel et de l'utilisation des MOCN en expliquant notamment les valeurs généralement choisies pour les conditions de coupe : « *Alors tu vois par exemple par rapport à la réalité profondeur de passe en ébauche 1 mm, en finition 2 mm* » ou encore, « *Alors plus tu prends de profondeur de passe et plus tu vas avoir un outil qui va fléchir, qui va se déformer* »

- **Retour sur le point de vue de l'enseignant**

Entretien post séance n° 2
<p>« Petit rappel : on est à la deuxième séance, le contenu pédagogique enseigné choix des conditions de coupe, un par poste. La consigne c'était d'aller sur « l'as de la fab » et de simuler les paramètres de coupe pour voir les résultats que ça donnait.</p> <p>Déjà la première chose c'était de choisir les paramètres de coupe qui donnaient un résultat positif c'est-à-dire qu'on fabriquait le nombre de pièces souhaité, 20 pièces et dans un temps d'1h30 maximum. Donc, déjà avoir cet objectif, mais une fois qu'on avait cet objectif et de voir un petit peu, d'améliorer les conditions de coupe pour améliorer le temps, pour diminuer le temps, pour diminuer le coût de fabrication puisqu'on est en technologie en train de voir la qualité. Et donc, les coûts de production, diminuer les coûts de production donc c'est diminuer les coûts de fabrication. C'était dans la progression pédagogique de ce qu'ils avaient vu en technologie sur les conditions de coupe, la vitesse de coupe, la vitesse d'avance, la profondeur de passe, quel est leur rôle, qu'elle est leur influence et la qualité mais on n'a pas encore vu les défauts de forme et les défauts de position, les défauts dimensionnels et la rugosité notamment parce que bon sur le jeu j'ai vu que la rugosité on la voyait très bien évoluer et il fallait quand même discuter autour de ça. »</p>

Tableau 59 : Extraits du discours de l'enseignant de lycée E2

Lors de l'entretien qui a précédé la séance, E2 rappelle l'importance du choix des valeurs pertinentes {profondeur de passe « Ap » - vitesse d'avance « f » - vitesse de coupe Vc - rayon de bec « R bec »} pour réussir l'étape d'ébauche et celle de la finition. Rappelons que ces valeurs sont considérées comme la variable de commande du mini-jeu de « l'as de la fab » puisqu'elles déterminent la réussite de ce mini-jeu. Au cours du bilan de sa séance, E2 met l'accent sur les résultats obtenus en fonction des choix des paramètres de coupe pour ensuite envisager une amélioration de ces choix. E2 pointe ici l'enjeu didactique de cette séance. Nous pouvons considérer que cet enseignant a pris en compte la spécificité des contenus du mini-jeu « l'as de la fab » ; d'ailleurs il a repéré des indices précis qu'il compte mettre à l'épreuve : « sur le jeu j'ai vu que la rugosité on la voyait très bien évoluer et il fallait quand même discuter autour de ça. ». Nous constatons aussi que progressivement, E2 s'est approprié le mini-jeu « l'as de la fab ». Il en exploite l'interface et l'inscrit complètement dans sa progression, d'ailleurs, lors de l'entretien post séance il déclare : « C'était dans la progression pédagogique de ce qu'ils avaient vu en technologie sur les conditions de coupe ». Nous pouvons raisonnablement penser que E2, incorpore ce mini-jeu à son activité programmée car il envisage quelques points futurs du programme qu'il souhaite aborder avec le mini-jeu. Il déclare : « mais on n'a pas encore vu les défauts de forme et les défauts de position, les défauts dimensionnels et la rugosité notamment parce que bon sur le jeu j'ai vu que la rugosité on la voyait très bien évoluer ». Nous pouvons faire l'hypothèse que

l'enseignant commence ici à intégrer le *serious game* à des pratiques didactiques, non pas sur un format d'assimilation à une pratique antérieure comme E1, mais dans un mouvement d'adaptation réciproque de l'artefact à sa pratique, et de cette dernière à l'artefact.

3.1.2.3. Pour conclure sur les usages de Mecagenius par E2

L'analyse microdidactique de l'action de E2 lorsqu'il dirige les élèves confrontés aux mini-jeux corrobore certaines conclusions de l'analyse macroscopique. D'une part, un usage de découverte des mini-jeux pour familiariser les élèves, puis une centration sur les objets épistémiques les plus en phase avec le projet de cet enseignant. Mais l'analyse microdidactique souligne aussi des différences entre E1 et E2. Le second enseignant semble identifier certaines potentialités didactiques des milieux que constituent certains mini-jeux eu égard aux difficultés des élèves. E2 laisse à ces derniers globalement un plus grand espace d'expérimentation. Il tente certaines dévolutions notamment sur les choix à réaliser dans les réglages qui sont les enjeux épistémiques centraux des deux mini-jeux « *l'as de la fab* » et « *le roi de la pref* ». Néanmoins, comme E1, il a tendance à effectuer des régulations par injonction et micro-institutionnalisation faisant disparaître parfois l'aspect ludique du *serious game*. Préoccupé comme E1 par le passage sur la MOCN, E2 fait évoluer le temps didactique en développant des contrats d'information très proches de sa pratique à l'atelier. L'usage de l'artefact modifie cependant en partie sa pratique, parce que le menu de l'interface du mini-jeu peut lui permettre de rendre visible des concepts pragmatiques comme celui de rugosité (Cf. dernière phrase entretien *post* du tableau 59).

Après avoir synthétisé les usages que les deux enseignants de lycée peuvent développer par rapport au *serious game* Mecagenius, voyons maintenant, à travers le cas d'un enseignant de l'IUT, quels peuvent être les usages développés dans une formation universitaire courte.

3.2. L'enseignant de l'IUT

Nous traitons ici de l'unique séance qui s'est déroulée en présence d'un enseignant (E1), nous rappelons que l'autre enseignant de l'IUT (E2) n'utilise le *serious game* que dans le cadre d'une mise en autonomie complète des étudiants comme d'ailleurs à l'université. Comme pour les enseignants de lycée, nous rappelons brièvement les éléments du programme⁹² liés avec l'unique mini-jeu utilisé (« *l'as de la fab* ») suite à l'analyse des référentiels scolaires et professionnels que nous avons réalisé (Cf. Chapitre 1). Les éléments du programme correspondants à ce mini-jeu sont relatifs aux bases de la technologie de la coupe (optimalisation des conditions de coupe, choix des données de coupe, évaluation des efforts, limites des moyens de production, tolérances de production en fonction des cadences, ...) et des paramètres de coupe correspondants : vitesse de coupe, d'avance, ...

3.2.1. Analyse microdidactique de quelques extraits de la séance n° 2

Rappelons que l'enseignant E1 de l'IUT a programmé une séance en première année qui s'est déroulée avec un groupe de 12 élèves (voir analyse macroscopique). Le synopsis met en évidence une utilisation du mini-jeu « *l'as de la fab* », en lien avec les savoirs spécifiques du génie mécanique que nous venons de préciser. Comme nous le verrons, il s'agit d'un usage complètement différent de celui des enseignants de lycée. Cette spécificité confirme bien les résultats que nous avons pu trouver lors de l'étude macroscopique.

- **L'entretien *ante* séance**

L'analyse de l'entretien *ante* séance couplée avec celle du synopsis permet d'éclairer d'autres usages possibles de Mecagenius.

⁹² Programme Pédagogique National (P.P.N) du DUT « Génie mécanique et productique » Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche - septembre 2005.

Extraits significatifs du discours du professeur lors de l'entretien <i>ante</i> séance
<p>« Alors, j'envisage en deux phases, une première phase aujourd'hui. Mes étudiants ont un dossier de fabrication à analyser et dans l'analyse certains de mes étudiants ont des questions relatives aux choix de conditions de coupe par exemple. Ces étudiants-là, je vais leur demander d'utiliser un des jeux que j'ai repéré pour qu'ils arrivent à voir l'influence de tel ou tel paramètre de coupe selon certains critères. Et, deuxième phase, ces étudiants auront à présenter un exposé oral la semaine prochaine à l'ensemble de la classe. Et j'espère, quelque part, que certains vont me dire oui mais ces jeux qu'on a utilisé est-ce qu'on ne peut pas les avoir à disposition lors de l'exposé oral pour pouvoir faire jouer nos camarades quand on va exposer ces travaux-là, voilà. Mais, je suis curieux et je veux voir un peu comment eux réagissent et si ça vient d'eux. Voilà, je ne veux pas leur souffler tout de suite, en tout cas, d'utiliser ça avec les autres étudiants de la classe. »</p>

Tableau 60 : Extraits du discours *ante* séance n° 1 de l'enseignant E1 de l'IUT

• Synopsis de séance

Temps	Découpage du protocole selon les tâches proposées	Découpage selon les élèves auxquels il s'adresse	Consignes et contenu visé par le professeur
1'	<p>Lancement de Mecagenius</p> <ul style="list-style-type: none"> • Login et mot de passe • Lecture des mini-jeux • choix du mini-jeu : « l'as de la fab » • choix du niveau : libre <p>Les élèves jouent</p>	Groupe classe	<p>Présentation des mini-jeux Choix du premier mini-jeu Temps de manipulation (5 mn) « Vous en êtes tous au même stade, alors on va passer cinq minutes pas plus, peut-être moins ou vous allez faire une exploitation libre du dernier jeu, donc dans la fenêtre de gauche "choix de mission" vous sélectionnez "l'as de la fab" et vous avez environ 5 minutes peut-être un peu moins pour tester. »</p>
4'	<p>Définition : « Donc là, vous observez ça, vous essayez de prendre connaissance de cet environnement-là et ensuite au bout de cinq minutes libres on organisera une petite compétition entre vous quatre...»</p> <p>Dévolution : « Essayez dans un premier temps, essayez de voir le fonctionnement juste, vous êtes complètement libres là-dessus...»</p>		
12'	Compétition entre élèves. Ils essayent d'obtenir le meilleur score	Groupe classe Travail individuel	Vous êtes prêts à faire une petite « <i>compet</i> » ?
13'	<p>Définition : « Bon vous êtes tous les quatre à égalité, donc c'est bien pour la compétition Vous êtes prêts à faire une petite « <i>compet</i> » ? C'est bon on peut passer à la suite, on se le tente ?...»</p> <p>Dévolution : « Vous êtes tous prêts, c'est parti. Une fois que vous avez réussi l'ébauche, vous passez à la finition, ce qui est logique...»</p> <p>Régulation : « Essayer de réfléchir qu'est-ce qui peut provoquer l'usure de l'outil et sur quels paramètres on peut agir pour éviter l'usure de l'outil ?...»</p>		
18'	Bilan de la séance	Groupe classe	Allez, on s'arrête et on fait un bilan

Temps	Découpage du protocole selon les tâches proposées	Découpage selon les élèves auxquels il s'adresse	Consignes et contenu visé par le professeur
19'	<p>Indice de dévolution : « Est-ce que vous avez identifié deux phases ou dans ce jeu, deux phases distinctes?... Qu'est-ce vous a permis de faire ce jeu?... » <i>E : Une simulation d'usinage</i> Institutionnalisation/relance : « Une simulation d'usinage, qu'est-ce qu'on a simulé finalement?... » <i>E : On a simulé une production de pièces</i> Indice de dévolution : « Oui, en agissant sur quoi ? » <i>E : En agissant sur le rayon de bec et la vitesse de coupe, paramètres de coupe</i> Institutionnalisation : « Le rayon de bec » <i>E : Et la vitesse de coupe ?</i> Institutionnalisation : « Vitesse de coupe » <i>E : Et le couple ?</i> Institutionnalisation : « On continue, le couple, l'avance, la puissance.. ; C'est le couple, profondeur de passe, avance, ... Et en ébauche ? » <i>E : Le plus gros rayon de bec et puis</i> Institutionnalisation : « Le plus gros rayon de bec » <i>E : La plus petite vitesse de coupe</i> Institutionnalisation : « La plus petite vitesse de coupe et ça, ça suffit pour choisir vos conditions de coupe ? » <i>E : Non, la puissance...</i> Institutionnalisation : « Alors, ce que vous pouvez retenir, dans tout ce que vous avez dit, c'est qu'effectivement en finition on doit tenir un état de surface, ... »</p>		
26'	<p>Utilisation de Mecagenius</p> <ul style="list-style-type: none"> • choix libre des mini-jeux • choix libre du niveau 	Groupe classe	<p>si vous voulez pendant cinq minutes regarder les autres jeux profitez-en comme ça vous pourrez nous en parler un petit peu plus après. Mais bon on essaie de ne pas traîner trop, parce que vous avez du boulot, c'est comme vous voulez. Je vous laisse libre.</p>
27'	<p>Institutionnalisation : « C'est bon, vous vous arrêtez. Première chose à vérifier est-ce qu'on parle bien d'opération de finition pour les états de surface,... » <i>Si vous y voyez un intérêt, si vous pensez que ça aide, dites le nous. Je vous laisse le temps nécessaire pour le mettre en place, ça c'est à vous me le dire, vous discutez de ça vous me le direz tout à l'heure. Je vous laisse libre.</i></p>		
33'	Fin de la séance	Groupe classe	

Tableau 61 : Synopsis de la 1^{ère} séance observée de l'enseignant E1 de l'IUT

Nous poursuivons notre étude de l'action didactique conjointe du professeur et des élèves lors de l'utilisation de ce mini-jeu comme nous l'avons fait pour les séances des deux enseignants de lycée. Nous extrayons de ce synopsis trois épisodes significatifs d'une mise à l'étude de savoirs de génie mécanique :

- 1^{er} épisode : De la définition à la dévolution d'un mini-jeu
- 2^{ème} épisode : Faire émerger les savoirs dans une situation de formulation
- 3^{ème} épisode : L'institutionnalisation.

Les savoirs visés par ce mini-jeu « *l'as de la fab* » ont été définis précédemment (Cf. séance n° 3 de E1). Dès le début de la séance, comme évoqué en analyse macroscopique, l'enseignant E1 de l'IUT concentre l'attention des étudiants sur « *l'as de la fab* » en leur laissant un court moment d'exploration (min 4 à min 12).

Cet enseignant mobilise ensuite la modalité « score de jeu » pour lancer un travail de recherche en (min 13 à min 19). Pour E1, la visée est ici de s'appuyer sur l'expérience des élèves pour les faire réfléchir aux dimensions critiques des deux phases d'usinage. Le lien avec la machine réelle n'est pas prégnant. Par contre, les échanges (min 19 à min 26) portent sur les enjeux épistémiques sous-jacents de la compétence visée. C'est sur cette partie de la séance que nous mènerons l'analyse après avoir commenté le premier épisode de dévolution du mini-jeu.

✓ Premier épisode : De la définition à la dévolution d'un mini-jeu

Situation dans le synopsis	Enoncés significatifs du discours du professeur
min 4 à min 12 « <i>L'as de la fab</i> »	<p>Définition : « <i>Vous en êtes tous au même stade, alors on va passer cinq minutes pas plus, peut-être moins ou vous allez faire une exploitation libre du dernier jeu, donc dans la fenêtre de gauche "choix de mission" vous sélectionnez "L'as de la fab" et vous avez environ 5 minutes peut-être un peu moins pour tester. »</i></p> <p><i>E :</i> <i>On prend quoi comme niveau ?</i></p> <p>Dévolution : « <i>Comme vous voulez ! Si vous le sentez "doigt dans le nez" vous prenez expert. »</i></p> <p>Dévolution : « <i>On se le sens première année juste. Peu importe, allez-y ! Donc là, vous observez ça, vous essayez de prendre connaissance de cet environnement-là et ensuite au bout de cinq minutes libres on organisera une petite compétition entre vous quatre. »</i></p> <p><i>E :</i> <i>Sur la pièce qu'on nous a montré, c'est ça ? (Interaction élève faible)</i></p> <p>Dévolution : « <i>Ce n'est pas spécialement ... Essayez dans un premier temps, essayez de voir le fonctionnement juste, vous êtes complètement libres là-dessus. Est-ce que vous arrivez à changer de paramètre ? Et à faire des essais ? »</i></p>

Tableau 62 : Extraits du discours de l'enseignant E1 de l'IUT pour le mini-jeu « *l'as de la fab* »

Dans un premier temps, l'enseignant propose une manipulation libre du mini-jeu « *l'as de la fab* »⁹³, son objectif est, comme il le précise lors de l'entretien *ante*, de permettre aux étudiants de découvrir et en exploiter les possibilités. Pour cela, E1 indique aux élèves quelles

⁹³ Les savoirs cristallisés dans ce mini-jeu sont constitutifs de la compétence du choix des conditions de coupe pour l'usinage d'une pièce selon deux étapes distinctes : l'ébauche et la finition. Le joueur doit agir sur quatre paramètres {rayons de bec d'outils - vitesse de coupe - profondeur de passe - vitesse d'avance}.

sont les règles du jeu auquel il vont prendre part (définition) : « *vous allez faire une exploitation libre du dernier jeu* ». L'enseignant observe les tâtonnements successifs des élèves, pour sans doute, détecter l'origine de leurs difficultés. E1 ne fait aucune intervention. Les enregistrements vidéo révèlent que l'enseignant s'adresse à la classe en décrivant brièvement quelques possibilités de ce mini-jeu et en relançant l'activité des étudiants. Nos analyses montrent également que cet enseignant, avec une grande habileté pratique, essaie de responsabiliser ses élèves dans leur propre démarche de découverte du mini-jeu et dans leur construction des connaissances par une série de dévolutions ponctuelles précises imposés par E1 : *Comme vous voulez ! ; Peu importe, allez-y ! ; Essayez dans un premier temps, essayez de voir le fonctionnement juste, vous êtes complètement libres là-dessus*. Cette attitude de *no telling* (Lobato & Clarck, 2005) révèle ce que Sensevy (2007) appelle la réticence didactique. E1 s'interdit de donner des informations aux élèves développant ainsi un topo en retrait de façon à ce que les étudiants puissent s'engager dans le mini-jeu. Ce premier temps de dévolution se poursuit au travers du défi proposé de la min 12 à min 18 (Cf. Synopsis). Avec une grande habileté pratique, l'enseignant propose une "petite compétition" dont les finalités sont de maintenir les élèves dans la tâche, de créer une dynamique commune et de responsabiliser les élèves dans leurs propres démarches de construction des connaissances. Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, nous sommes en présence d'un mécanisme de transfert de responsabilité du maître à l'élève (dévolution didactique). Tout en reconnaissant la validité des arguments didactiques avancés par E1 pour faire jouer ce jeu, nous pensons qu'il est utile de souligner l'usage qu'il fait du *serious game*. En effet, cette posture très en retrait de E1, qui « prive » les élèves d'informations ou d'indices utiles, témoigne selon nous, d'une intentionnalité d'usage intégrant le potentiel didactique structurant ce mini-jeu. En effet, il nous semble qu'ici E1 utilise « pleinement » la fonction ludique du *serious game* pour mobiliser les étudiants. Nous sommes ici dans le cas d'une posture très en retrait où l'enseignant E1 choisit de confronter les élèves à la rétroaction didactique du mini-jeu ce qui sera explicité lors des échanges de l'épisode suivant. *In fine*, cette posture est opposée à celle des enseignants de lycée qui par un guidage très serré, conduisent les élèves vers la réponse attendue.

✓ **Deuxième épisode : Faire émerger les savoirs dans une situation de formulation**

Situation dans le synopsis	Enoncés significatifs du discours du professeur
min 12 à min 18 « L'as de la fab »	<p>Indice de dévolution : « Est-ce que vous avez identifié deux phases ou dans ce jeu, deux phases distinctes ?... Qu'est-ce vous a permis de faire ce jeu ?... » E : Une simulation d'usinage</p> <p>Institutionnalisation (relance) : « Une simulation d'usinage, qu'est-ce qu'on a simulé finalement ? » E : On a simulé une production de pièces</p> <p>Indice de dévolution : « Oui, en agissant sur quoi ? » E : En agissant sur le rayon de bec et la vitesse de coupe, paramètres de coupe</p> <p>Institutionnalisation : « Le rayon de bec, » E : Et la vitesse de coupe,</p> <p>Institutionnalisation : « Vitesse de coupe, » E : Et le couple</p> <p>Institutionnalisation puis relance : « On continue, le couple, l'avance, la puissance. Donc, vous avez agit sur le couple et cette puissance, c'est ça ? Vous avez dit je veux travailler à telle puissance et ça me donne ça ? ... » E : Le plus gros rayon de bec et puis</p> <p>Institutionnalisation : « Le plus gros rayon de bec et puis ? » E : La plus petite vitesse de coupe</p> <p>Institutionnalisation : « La plus petite vitesse de coupe et ça, ça suffit pour choisir vos conditions de coupe ? » E : Non, la puissance...</p> <p>Institutionnalisation : « Alors, ce que vous pouvez retenir, dans tout ce que vous avez dit, c'est qu'effectivement en finition on doit tenir un état de surface ... »</p>

Tableau 63 : Extraits du discours de l'enseignant E1 de l'IUT pour le mini-jeu « L'as de la fab »

Cet épisode est significatif d'un usage du mini-jeu comme prétexte de formulation au sens de Brousseau (1986). Conduite à la manière d'un contrat de « maïeutique socratique » (Brousseau, 1996), cette phase de formulation s'appuie sur l'expérience dans le jeu lors du défi précédent. E2 s'appuie avec bonheur sur les références apportées par les élèves en alternant relances : « en agissant sur quoi ? » et institutionnalisations : « Alors, ce que vous pouvez retenir, dans tout ce que vous avez dit, c'est qu'effectivement en finition on doit tenir un état de surface ». L'analyse fine des vidéo met en évidence que de nombreuses interactions entre l'enseignant et les élèves sont présentes créant un collectif de pensée fécond conduisant à la production d'un savoir légitime. Ce cas met en évidence que Mecagenius peut être utilisé par les professeurs comme une situation d'action, favorable à l'émergence de savoirs sur l'usinage, qui serait ensuite mis à l'épreuve. E1 poursuit ici son intention didactique exprimée lors de l'entretien *ante* (Cf. Tableau 60) : « je veux voir un peu comment eux réagissent et si ça vient d'eux. Voilà, je ne veux pas leur souffler tout de suite, en tout cas, d'utiliser ça avec les

autres étudiants de la classe. ». Cet usage de l'artefact nécessite bien évidemment, des réponses comme le montre l'institutionnalisation de E1 à la fin de ces échanges que nous traduisons *in extenso* dans le tableau 64 ci-après.

✓ **Troisième épisode : l'institutionnalisation**

Situation dans le synopsis	Extraits significatifs du discours du professeur
<p>min 25 à min 33 « L'as de la fab »</p>	<p>Institutionnalisation : <i>Alors, ce que vous pouvez retenir, dans tout ce que vous avez dit, c'est qu'effectivement en finition on doit tenir un état de surface c'est ça la contrainte et pour y arriver comment on s'y prend ? Et bien en choisissant le bon couple entre rayon de bec de l'outil puisque c'est lui qui va laisser sa trace sur la pièce et la vitesse de défilement de l'outil sur la pièce, ce n'est pas la vitesse de coupe mais c'est l'avance. On va chercher généralement un petit rayon de bec d'outils parce que c'est des outils qui sont relativement pointu, en revanche il faudra prendre des avances relativement faibles qui sont pénalisantes en terme de temps d'usinage et c'est elles qui vont vous garantir le respect d'un état de surface. Et en ébauche, ce que vous m'avez dit est en partie correct, à savoir on veut enlever un maximum de copeaux en un minimum de temps et ça sa veut dire quoi ? Et bien on a une machine, on a essayé de l'exploiter au maximum de ses possibilités. Et au maximum de ses possibilités c'est par exemple, au maximum de la puissance disponible sur la machine et sans aller au-dessus. Si on va au-dessus, ça ne va pas être bon. Et ce qui conditionne la puissance consommée par la coupe, ceux qui ont fait des essais ont dû voir qu'il y avait une influence de la vitesse de coupe, du rayon de bec non, par contre de "f" et de "Ap" oui. Voilà, j'espère que vous êtes rendus compte de ces choses-là au travers du jeu et si ce n'est pas le cas vous allez nous l'expliquer. Bon, moi j'en ai terminé avec ça, je voulais vous dire que les choses essentielles à retenir des conditions de coupe,...</i></p>

Tableau 64 : Extraits du discours de l'enseignant E1 de l'IUT pour le mini-jeu « L'as de la fab »

L'extrait significatif du discours de l'enseignant montre qu'à la 25^{ème} minute, l'enseignant effectue un bilan en guise de clôture de la séance. Cet enseignant reprend de manière synthétique les connaissances produites pendant les échanges précédents à propos de l'expérience vécue dans ce qui pourrait relever d'une forme « d'institutionnalisation » des connaissances au sens de Brousseau (1998) qui permet à E1 de signifier aux élèves quels sont les savoirs à retenir. Notons que dans cet énoncé professoral cet enseignant synthétise tous les savoirs et savoirs-faire, ainsi que les critères d'un bon usinage. Il reprend les variables de commande déterminant la réussite du mini-jeu de « L'as de la fab ». La fonction didactique de cette institutionnalisation, est de produire une avancée directe du temps didactique et de faire percevoir aux élèves les bases de la technologie de la coupe ainsi que les valeurs pertinentes⁹⁴ pour réussir les deux opérations d'usinage (ébauche et finition). Où est la source de ce que Marti-

⁹⁴ {Profondeur de passe « Ap » - vitesse d'avance « f » - vitesse de coupe Vc - rayon de bec « R bec »}

nant appelle un registre de technicité de maîtrise ? Après six minutes d'institutionnalisation, l'enseignant propose aux étudiants de revenir sur les postes informatiques pour utiliser librement Mecagenius. Il leur soumet la possibilité d'utiliser ce mini-jeu lors de la présentation orale des projets à la classe.

- **Retour sur le point de vue de l'enseignant**

Entretien <i>post</i> séance n° 1
<i>Quels étaient mes objectifs-là, avec ce mini-jeu ? Ben, c'était de faire le point sur le choix des conditions de coupe ébauche et finition. Distinguer la problématique de l'ébauche et la problématique de la finition. »</i> <i>« Donc, proposer à quatre étudiants sur des questions liées au choix de conditions de coupe donc dans un premier temps découverte de l'environnement proposé par le premier mini-jeu de manière de peu libre pendant environ cinq minutes. Puis, deuxième temps ben, je dis, voilà maintenant vous savez vous en servir vous avez cinq minutes pour essayer de remplir une mission et derrière cette utilisation-là, on a essayé de discuter sur les, voilà, quelles étaient les influences sur tel ou tel paramètre sur, ben, l'état de surface, la puissance de coupe. Et, un par poste sur quatre postes.</i>

Tableau 65 : Extraits du discours *post* séance n° 1 de l'enseignant E1 de l'IUT

Dans l'entretien *post* séance (Cf. Tableau 65 ci-dessous) E1 signifie clairement qu'il a perçu les enjeux didactiques propres à ce mini-jeu en pointant les questions liées au choix de conditions de coupe, d'ailleurs il déclare : *« Quels étaient mes objectifs-là, avec ce mini-jeu ? Ben, c'était de faire le point sur le choix des conditions de coupe ébauche et finition. Distinguer la problématique de l'ébauche et la problématique de la finition. »*. Ceci étant posé, l'analyse de l'extrait du discours montre que, au-delà de cette perception des enjeux didactiques, E1 favorise la découverte du mini-jeu en mettant en place un fonctionnement libre des élèves : *« découverte de l'environnement proposé par le premier mini-jeu de manière de peu libre pendant environ cinq minutes »*. Ensuite, E1 précise la fonction ludique qu'il a attribuée au *serious game* pour mobiliser les étudiants (*« remplir une mission »*) et par la même incorporer ce mini-jeu à des pratiques didactiques : *« ... derrière cette utilisation-là, on a essayé de discuter sur les, voilà, quelles étaient les influences sur tel ou tel paramètre sur, ben, l'état de surface, la puissance de coupe... »*.

3.2.2. Pour conclure sur l'enseignant E1 de l'IUT

Cette analyse nous laisse penser que E1 de l'IUT, incorpore le *serious game* à une pratique professionnelle basée sur une approche constructiviste des apprentissages selon un style d'enseignement incitatif (Cf. Analyse macroscopique). Ce constat n'est sans doute pas étranger au fait que E1 est aussi formateur à l'IUFM et donc sensibilisé aux problématiques didactiques. Nous avons vu chez E2 du lycée quelques indices relevant de ce type de pratique mais pas de manière aussi importante que celle que nous venons de décrire. Rappelons que E1 de l'IUT utilise aussi le *serious game* dans une dynamique d'enseignement par projets (Cf. Analyse macroscopique) : « *donc ceux qui ont utilisé ces mini-jeux seront certainement amenés à proposer une utilisation lors de l'exposé pour les autres étudiants.* ». Cet usage du *serious game* par projet semble renforcer les analyses que nous venons de faire sur la capacité de E1 à incorporer Mecagenius à des pratiques innovantes.

4. Conclusion sur les usages de l'artefact Mecagenius dans un fonctionnement didactique en présentiel

Au terme de ces analyses microdidactiques qui, dans la continuité de l'analyse macroscopique, avaient pour objectif d'affiner nos interprétations sur les usages de l'artefact par les professeurs, nous allons pointer quelques traits saillants :

- Au lycée, nous identifions un usage qui consiste à intégrer l'artefact à une intentionnalité didactique qui est spécifique au savoir du génie mécanique. Les résultats montrent qu'une première phase de découverte est pratiquée sur l'ensemble des mini-jeux. Lors de cette étape-là, les enseignants observent les tâtonnements des élèves et découvrent certaines possibilités des mini-jeux. Les éléments que nous avons repérés à la suite de l'analyse microdidactique, mettent en lumière plusieurs points importants. Au cours des séances observées, les deux enseignants développent une intense activité de régulation didactique auprès des élèves. Nous avons vu que ce guidage, très serré, réduit le plus souvent le milieu ainsi que les contrats initialement sous-jacents aux mini-jeux. Cela se traduit par exemple, par l'énonciation des variables de commande déterminant la réussite. Il s'agit

alors pour les enseignants de guider les élèves vers la réponse attendue. Nous pensons que le résultat ou l'effet de cette action du professeur change le système d'obligations réciproques implantées dans le mini-jeu. Mais une des marques les plus sensibles de ce guidage serré peut être effectivement celle liée à la suppression de la dimension ludique et « dévoluante » inhérente au *serious game*. Cette attitude semble aller à l'encontre des choix didactiques (sous-jacents aux mini-jeux) qui sont conçus pour justement, provoquer une activité de tâtonnement, de découverte et d'exploration. Nous avons toutefois noté des nuances dans ce type d'enseignement transmissif entre E1 et E2. E1 assimile le *serious game* à des pratiques pédagogiques très directives. E2 semble davantage osciller en laissant plus d'autonomie aux élèves selon une incorporation de l'artefact impliquant une gestion plus tutorielle. Néanmoins, il convient de noter que ce guidage serré ne permet pas aux élèves de tirer parti des erreurs et des essais prévus au départ par les concepteurs du *serious game*. Réduisant fortement la dimension ludique du *serious game* les deux enseignants de lycée utilisent les mini-jeux plutôt comme des exercices. Ils n'exploitent pas leur potentialité de situation adidactique. A partir de nos observations, il nous semble qu'ils ne se sont visiblement pas appropriés le *serious game*, ils le découvrent (surtout E1 de lycée) en même temps que les élèves. Nous pensons que les deux enseignants de lycée ne développent pas une genèse instrumentale⁹⁵ du *serious game* ce qui se traduit par une difficulté à instrumenter le *serious game* de la façon attendue par les concepteurs qui l'ont élaboré (Marquet, 2003). Cette difficulté d'usage du *serious game* dans les pratiques de classe des enseignants de lycée pourrait s'inscrire dans le concept de conflit instrumental développé par Marquet (2003). Nous avons pu observer dans les deux cas que les enseignants de lycée incorporent sous des formes différentes le *serious game* à des usages professionnels de gestion d'une classe. Alors que les élèves sont en travail individuel ils essaient malgré tout de piloter la classe. Il apparaît aussi que les enseignants de lycée utilisent beaucoup d'effets Topaze, d'énoncés de solutions, de micro-institutionnalisations qui précisent les connaissances produites pendant le mini-jeu. Voyons maintenant ce qu'il en est des usages de Mecagenius par l'enseignant de l'IUT.

⁹⁵ Selon Marquet, (2003) les artefacts ont le statut d'instrument dès lors qu'ils sont instrumentalisés et instrumentés par l'apprenant et/ou l'enseignant.

- Pour sa part, l'enseignant de l'IUT a une attitude très différente de celle de ses collègues de lycée. Au lieu d'encourager par de multiples régulations et par un guidage très serré guidant les élèves vers la réponse attendue, cet enseignant a une posture davantage en retrait qui délègue aux élèves dans une phase d'action (au sens de Brousseau, 1986) la recherche d'informations « utiles ». Cette attitude témoigne d'une intentionnalité d'usage intégrant le potentiel didactique structurant Mecagenius et mettant en œuvre toute la dimension « dévoluante » sous-jacentes au *serious game*. Les élèves sont d'abord laissés face à l'enjeu ludique du mini-jeu. Puis, lors d'une phase d'échange, ils identifient avec l'enseignant quelles sont les connaissances critiques à acquérir. A la fin de la séance, l'enseignant E1 de l'IUT met l'accent sur les traits pertinents (Schubauer-Leoni, 2008) relatifs à l'enjeu de savoir notamment ceux portés par la variable de commande qui conditionne la réussite du mini-jeu. Cette institutionnalisation de courte durée met l'accent sur les principaux savoirs cristallisés dans le mini-jeu en lien avec le référentiel national du DUT (P.P.N). Nous pensons que dans ce site, l'enseignant a développé un rapport instrumental avec l'artefact, lui permettant d'en faire usage, en adéquation avec les choix didactiques ayant présidé à sa conception. Mais selon nous l'expertise de cet enseignant d'IUT et son épistémologie professionnelle (liée pour partie à son statut de formateur) ont facilité cette genèse instrumentale. Notons par ailleurs, la flexibilité des usages en présentiel qu'a opéré cet enseignant qui prévoit d'utiliser l'artefact pour développer une politique de projets dont les objectifs s'éloignent de l'utilisation de Mecagenius initialement prévue.

In fine, face à des utilisations différentes du *serious game*, nous faisons l'hypothèse que les apprentissages des élèves manipulant l'artefact Mecagenius ne sont pas tout à fait de la même nature, même si dans les deux cas, la dimension proprement épistémique relative aux différents mini-jeux varie. Ce sera le propos du prochain chapitre.

Chapitre 3 : Stratégies des élèves confrontés à deux mini-jeux

Cette section présente les résultats relatifs aux effets de l'artefact Mecagenius sur les trajectoires d'apprentissage des élèves observés. Elle s'appuie sur une méthodologie de traces intégrées au *serious game* lui-même.

L'étude *in situ* des usages des professeurs a mis en évidence la façon dont ils conduisent leur enseignement dans un contexte d'apprentissage médiatisé par le *serious game* dédié au génie mécanique. Nous nous intéressons maintenant aux résultats relatifs à l'analyse du troisième élément du système didactique et plus particulièrement à l'impact de Mecagenius sur les trajectoires d'apprentissages des élèves. Ces résultats se veulent être une contribution au programme cognitif. Nous avons mis en œuvre dès la conception des mini-jeux une méthodologie ayant pour objectif de repérer, à partir de traces informatiques délibérément implémentées dans ce *serious game*, quelles sont les actions produites par les élèves ainsi que leur pertinence au regard des savoirs cristallisés dans Mecagenius. Dans ce chapitre, nous allons donc à partir des résultats, essayer de déterminer les effets de Mecagenius sur les trajectoires d'apprentissage des élèves observés.

1. Contexte de l'étude

1.1. Rappel de la méthodologie utilisée

En collaboration avec Catherine Lelardeux (directrice de projet académique), nous avons implémenté dans Mecagenius un programme informatique (boîte noire) qui enregistre sous forme de liste les différents indices rendant compte chronologiquement du détail des actions effectuées par le joueur (nom du mini-jeu, type de réussite, niveau de jeu, nombre de parties jouées, scores, types d'erreurs, etc.). Comme nous l'avons présenté dans le chapitre détaillant l'étape de la conception, l'implémentation de ces indicateurs a été effectuée en fonction des savoirs visés dans les mini-jeux afin de disposer de « chroniques d'actions d'élèves » pour nous permettre de comprendre leurs réussites ou leurs erreurs lorsqu'ils utilisent Mecagenius. La dimension temporelle constitutive du processus d'apprentissage est en effet importante à prendre en considération dans l'analyse des stratégies d'élèves contrastés. L'implémentation des traces dans les mini-jeux permet d'accéder à ces dimensions temporelles sous la forme de ce que nous avons appelé des chroniques d'actions (Cf. Méthodologie). Il s'agit donc dans cette dernière étape de rendre compte du parcours des élèves lors de l'usage de Mecagenius.

Le repérage des actions des joueurs grâce aux traces informatiques recueillies lors de l'utilisation de Mecagenius peut être effectué selon trois types d'analyses :

- Le premier que nous avons nommé « l'analyse globale » permet d'accéder à la structure générale de l'utilisation de Mecagenius. Les données recueillies relèvent des critères suivants : niveau de jeu, nombre de parties jouées, score correspondant aux trois niveaux de jeu {débutant - confirmé - expert}. Cette analyse « globale » est possible lorsque les joueurs sont en phase de découverte libre de Mecagenius, c'est-à-dire lorsqu'ils parcourent l'ensemble des mini-jeux⁹⁶.
- Le second permet de recueillir des données relevant pour chaque mini-jeu des critères suivants : niveau de jeu choisi par l'élève {débutant - confirmé - expert}, les scores correspondants, les types d'erreurs, les réussites. Nous considérons qu'il s'agit d'une analyse de type « gros grain ».
- Enfin, le troisième s'attache au repérage des actions des joueurs grâce aux traces informatiques recueillies lors de l'utilisation de Mecagenius selon un grain très fin d'analyse que nous appelons « petit grain ». Ce type d'analyse a été effectué sur seulement deux mini-jeux : « *l'as de la fab* » et « *le roi de pref* ». Les traces relèvent de critères très spécifiques des savoirs visés par ces deux mini-jeux (blocage, outil utilisé, réussi, etc.) qui sont relatifs aux actions des étudiants à propos des paramètres retenus⁹⁷. Ces critères correspondent aux valeurs précises sélectionnées, aux temps correspondants pour effectuer une opération, à l'absence d'actions effectuée par le joueur, que l'on peut considérer comme des hésitations.

Nous rappelons ici également un deuxième aspect de la méthodologie. Nous avons choisi d'observer dans chaque site (lycée, IUT, université), à partir des préconisations de Leutenegger (2003), les conduites de deux élèves contrastés désignés par l'enseignant : le premier «éF» (élève fort) est déclaré « *sensé suivre sans problèmes* » par son enseignant et le deuxième élève «éf» (élève faible) est déclaré « *avoir des difficultés en génie mécanique* ». A la suite de Leutenegger (2003), nous considérons que ces deux élèves contrastés par leur position d'excellence dans la classe peuvent s'avérer des « révélateurs » du fonctionnement du système didactique observé. Nous terminons en rappelant que notre approche exploratoire et

⁹⁶ Nous verrons que cette phase n'est pas toujours présente puisque dans cette recherche nous avons choisi d'explorer des situations naturelles d'utilisation en classe du de Mecagenius.

⁹⁷ Ces paramètres sont fonction du mini-jeu, par exemple pour « *l'as de la fab* » ces paramètres sont : {profondeur de passe « Ap » - vitesse de coupe « Vc » - vitesse d'avance « f » - rayon de bec de l'outil « R bec »}

les outils que nous avons construits au cours de cette recherche ont pour finalité de voir s'il est possible de mettre en évidence des différences dans les dynamiques d'apprentissage des élèves. Pour cela, l'outil de suivi, préalablement intégré au programme, permettra le repérage de différents indices (traces informatiques recueillies lors de l'utilisation par les élèves) afin de disposer de données quantitatives qui seront analysées, dans une perspective comparatiste, au regard des observations des différentes séances ainsi que des entretiens avec les enseignants.

1.2. Présentation des résultats

L'analyse des usages des enseignants des différentes institutions (Lycée, IUT - Université) a mis en évidence des manières spécifiques d'utilisation de Mecagenius. Par exemple, seuls les enseignants de lycée proposent à leurs élèves une phase de découverte « libre » de l'ensemble des mini-jeux. A l'IUT, les enseignants se sont centrés que sur un seul mini-jeu « *l'as de la fab* », à l'université c'est uniquement le mini-jeu « *le roi de pref* » qui a été retenu pour une utilisation en autonomie. Ces constats nous amènent à présenter les résultats en fonction des contextes d'observations dans lesquels nous avons recueilli les données des élèves et leurs stratégies. En effet, l'analyse des stratégies d'étude des élèves impose d'un point de vue didactique de prendre en compte les deux autres pôles de la relation ternaire indissociable (Mercier, 2002), c'est-à-dire ici l'activité du professeur utilisant Mecagenius et le type de savoir implémenté dans le mini-jeu. Compte tenu des modalités d'usage du *serious game* par les professeurs observés, différents selon les sites, nous ne pouvons pas aborder globalement les stratégies d'études utilisées par les élèves forts et les élèves faibles indépendamment de leur site puisqu'ils n'ont pas été confrontés aux mêmes formes d'utilisation de Mecagenius. C'est pourquoi, dans la présentation des résultats, et comme nous l'avons fait pour le chapitre 2, nous nous intéresserons dans un premier temps aux stratégies des élèves au lycée, puis à celles des étudiants à l'IUT et enfin nous terminerons par les stratégies des étudiants à l'université.

2. Les élèves de lycée

Nous allons dans un premier temps examiner les résultats concernant les indices temporels globaux d'utilisation des mini-jeux. Dans cette analyse, des résultats nous nous attachons à repérer à partir des données collectées (Cf. Annexe 36), les effets du fonctionnement des élèves face à l'ensemble des mini-jeux de Mecagenius. Comme l'indique le tableau de synthèse ci-dessous, les élèves du lycée ont été confrontés, en phase de découverte « libre », à l'ensemble des mini-jeux proposés lors de la première séance. Nous commençons par décrire, à partir des préconisations de Leutenegger (2003), la façon dont chaque élève contrasté dans chaque classe évolue face aux mini-jeux proposés.

Analyse globale des traces	Lieu	Profs	Forme d'utilisation de Mecagenius
•Séance n° 1	Lycée	E1	Découverte (utilisation de plusieurs mini-jeux)
•Séance n° 1	Lycée	E2	Découverte (utilisation de plusieurs mini-jeux)

Tableau 66 : Contexte d'analyse des traces en situation de découverte

Dans un deuxième temps, toujours pour ces mêmes élèves de lycée, nous nous intéresserons à l'étude de deux mini-jeux (« *l'as de la fab* » et « *le roi de pref* »). Nous observons les données de type « gros grain » puis « petit grain » qui rendent compte chronologiquement du détail des actions effectuées par l'élève lors de l'utilisation de ces deux mini-jeux. Ces analyses nous permettent de mettre en évidence l'évolution des deux élèves contrastés aux prises avec ces deux mini-jeux. Le tableau de synthèse ci-dessous récapitule les mini-jeux utilisés par les deux enseignants (E1 et E2) de lycée pour lesquels nous avons analysés ces traces.

Analyse des traces	Lieu	Profs	Forme d'utilisation de Mecagenius
•Séance n° 2	Lycée	E1	•Mini-jeu utilisé : « <i>le roi de la pref</i> »
•Séance n° 3	Lycée	E1	•Mini-jeu utilisé : « <i>l'as de la fab</i> »
•Séance n° 2	Lycée	E2	•Mini-jeu utilisé : « <i>l'as de la fab</i> »

Tableau 67 : Contexte d'analyse des traces des traces sur les deux mini-jeux

2.1. Les indices temporels globaux d'utilisation des mini-jeux en phase de découverte

2.1.1. Contexte de l'activité des élèves de lycée

Les conclusions du chapitre précédent concernant les résultats relatifs aux enseignants de lycée ont permis de mettre en exergue certaines tendances que nous allons expliciter dans ce qui suit au regard de l'analyse des traces des élèves. Nous rappelons, suite à l'analyse macroscopique que les deux enseignants E1 et E2 proposent lors de la première séance une même situation de départ caractérisée par une découverte « libre » de l'ensemble des mini-jeux. Nous allons dans la section suivante analyser l'activité des élèves au cours de cette phase de découverte. Cette analyse « globale » permet d'accéder à la structure générale de l'utilisation « libre » de Mecagenius ainsi que de caractériser le profil des élèves.

2.1.2. Analyse globale des traces au cours de la séance de découverte en lycée

Nous avons donc porté notre regard sur l'étude des stratégies de ces élèves de lycée confrontés à l'ensemble des mini-jeux. Nous nous appuyons pour ce faire sur les données relatives à l'ensemble des mini-jeux explorés par ces élèves. Les tableaux ci-dessous permettent de saisir rapidement les différents mini-jeux utilisés par les élèves contrastés ainsi que les scores correspondants. L'intérêt de ces tableaux réside dans leur potentialité comparative.

		codes	L'as de la fab N3	L'as de la fab N2	L'as de la fab N1	Mini-F1 N3	Mini-F1 N2	Mini-F1 N1	Procédé d'usinage N3	Procédé d'usinage N1	Armoire Porte-Outils N3	Armoire Porte-Outils N1	Le Roi de la Pref N3	Le Roi de la Pref N2	Le Roi de la Pref N1	Toucher Pièce N3	Toucher Pièce N1	Les équipements N3	Les équipements N2	Les équipements N1	Les portes-outils N3	Les portes-outils N2	Les portes-outils N1	
Nom	Prénom																							
Elève Faible		91	12		7	13		85	167	5	19	1	3		23	3	3	3		5	19			368
			480		120	800		50	32280	170	2360	0	100		1200	0	0			110	2640			40310
Elève Fort		94	33	1	3	13	77	17	19	3	22	2	4	1	16	3			7	4	16	1	1	243
			2480	100	70	600	300	100	3800	150	3440	100	50	100	2400	150			520	140	3080	100	50	17730

Tableau 68 : Ensemble des mini-jeux utilisés par éF et éF⁹⁸ (classe lycée de l'enseignant E1)

⁹⁸ Pour des raisons de confidentialité nous avons effacé le nom et prénom de l'élève.

			L'as de la fab N3	L'as de la fab N2	L'as de la fab N1	Mini-F1 N3	Mini-F1 N2	Mini-F1 N1	Procédé d'usinage N3	Procédé d'usinage N1	Armoire Porte-Outils N3	Armoire Porte-Outils N2	Armoire Porte-Outils N1	Le Roi de la Pref N3	Le Roi de la Pref N2	Le Roi de la Pref N1	Toucher Pièce N3	Toucher Pièce N1	Les équipements N3	Les équipements N2	Les équipements N1	Les portes-outils N3	Les portes-outils N2	Les portes-outils N1	Totaux
		codes	24	23	22	21	20	19	18	16	15	14	13	12	11	10	9	7	6	5	4	3	2	1	
Nom	Prénom																								
Elève Fort		106	15	3	3	13		10	68		3					10	2	2			4	3			136
			400	100	50	800		0	13040		0					400	50	400			90	200			15530
Elève Faible		109		2	5	5	2	21	2		3	2	2			2		6				35		1	88
				100	50	0	0	250	200		360	140	40			0		0				6560		50	7750

Tableau 69 : Ensemble des mini-jeux utilisés par éF et éF (classe lycée de l'enseignant E2)

Les données relèvent des critères suivants : niveau de jeu, nombre de parties jouées, score, types d'erreurs. La lecture de ces tableaux se fait de la façon suivante :

- Les codes (1 à 24) correspondent aux trois niveaux de jeu {débutant - confirmé - expert}. Ainsi à chaque mini-jeu trois chiffres sont associés comme par exemple « Les porte-outils N1, N2 ou N3 » dans ce cas précis, le niveau « N3 » correspond au niveau de jeu expert, le niveau « N2 » correspond au niveau confirmé et « N1 » correspond quant à lui au niveau débutant. Les codes 91 et 94 correspondent à l'identité des deux élèves.
- Les cellules colorées contiennent les scores et les cellules blanches (juste au-dessus de ces cellules colorées) donnent le nombre de fois que le joueur a joué à ce mini-jeu. Les deux tableaux correspondent au deux enseignants E1 et E2 de lycée.

L'analyse de ces traces a permis de faire l'esquisse de quelques indices des stratégies de jeu mises en œuvre par les élèves contrastés. D'une façon générale, ces traces informatiques mettent en lumière que les élèves prennent des initiatives, des décisions et s'engagent dans le *serious game*. En effet, les deux tableaux ci-dessus (Cf. Tableaux 68 et 69) mettent en évidence quelques différences entre les quatre élèves étudiés ("éF"- E1, "éF"-E1, "éF"-E2, "éF"-E1) ce qui permet d'inférer quelques stratégies de jeu utilisées. Nous constatons que, pour les élèves déclarés dans les tableaux "éF" « élève fort », les scores (cellules grisées), au regard du nombre de fois que le joueur a joué au mini-jeu, sont de manière générale plus élevés. La lecture des tableaux permet de souligner certaines stratégies de jeu des élèves « forts » qui testent tous les niveaux de jeu en marquant des points dans chacun d'entre eux. Ils jouent notamment davantage au niveau de jeu « expert » qui est le mini-jeu le plus difficile. Nous constatons

également des stratégies de jeu qui consistent à une accumulation de points “*farming*”⁹⁹. Certains joueurs restent en effet beaucoup de temps sur un même mini-jeu pour augmenter leur score comme nous pouvons le voir pour le mini-jeu « *les procédés d’usinage N3* » où le score de l’élève faible va jusqu’à 32280 ! (Cf. Tableau 68 - 4ème colonne : les procédés d’usinage N3). Mais à cette étape de la recherche, ces tendances n’ont qu’un statut d’hypothèses interprétatives et ce type d’analyse ne permet pas de tirer des conclusions sur les stratégies pertinentes au regard de notre problématique de recherche. En effet, les enregistrements vidéo révèlent que parfois, certains élèves de cette classe vont tester quelques possibilités « extrêmes » des mini-jeux en provoquant délibérément des actions conduisant par exemple à la destruction de la MOCN. Nous avons observé grâce aux analyses des vidéos que quelques élèves avec une grande habileté et sans doute par curiosité, exploitent certaines erreurs volontairement pour tester les mini-jeux. Par exemple, dans le mini-jeu « *le roi de la pef*”¹⁰⁰ », qui, consiste à venir avec précision toucher le palpeur avec une pièce, le joueur va volontairement choisir de grandes valeurs d’incrémentes pour tester la réaction de la MOCN. De même pour le mini-jeu « *le mini FI* » dont l’objectif est de déplacer une voiture à l’aide d’un pupitre de commande d’une MOCN, le joueur va sélectionner volontairement de grands incréments afin de détruire la voiture et par la même occasion de tester les effets d’une mauvaise action. Parfois, les élèves vont faire de multiples essais pour voir s’il existe des failles dans le mini-jeu. Par exemple, toujours pour le mini-jeu « *le mini FI* », le joueur va essayer de « couper » le circuit pour arriver plus vite à l’arrivée et peut-être gagner plus de points. Il va essayer également de conduire en marche arrière juste pour s’amuser. Ainsi, toutes ces actions se traduisent par des échecs qui logiquement apparaissent par des pertes de points et des erreurs comptabilisées. Nous faisons l’hypothèse, au regard de ces actions-là, que les élèves se prennent au jeu mais pas encore au jeu d’apprentissage (Sensevy, 2007), ils s’amusent selon nous à explorer les différents effets ludiques sans pour cela rentrer dans une recherche de score efficace pouvant les conduire vers un apprentissage. Ces résultats sont difficiles à exploiter en termes de stratégies d’étude ou d’apprentissage car ces erreurs ne sont pas révélatrices d’obstacles ou de difficultés rencontrés par les élèves lors de cette phase de découverte.

⁹⁹ Le *farming* est dans un jeu vidéo massivement multijoueur la pratique qui consiste à passer la plupart du temps de jeu à récolter de l’argent, des objets, ou de l’expérience en répétant sans cesse les mêmes actions, en visitant les mêmes donjons ou en tuant le même groupe de monstres dans le but de s’enrichir/monter en niveau rapidement.

¹⁰⁰ « *palpe la face avant d’une pièce en un minimum de coups et le plus rapidement possible. La compression admissible sur le palpeur est de 8/10^{ème}* ».

Pour repérer ces stratégies dans l'usage de Mecagenius par les élèves, nous devons descendre à une analyse plus fine de ces traces grâce notamment, aux traces de type « gros grain » et « petit grain » au regard des deux mini-jeux proposés par les deux enseignants E1 et E2.

2.2. L'étude des traces de type « gros grain »

Dans cette section nous présentons les résultats tirés de l'analyse « gros grain » selon deux mini-jeux : « *l'as de la fab* » et « *le roi de la pref* » qui ont été les mini-jeux utilisés par les enseignants des lycées. Comme nous l'avons vu, se sont aussi les mini-jeux qui ont été utilisés par les enseignants à l'IUT (« *l'as de la fab* ») et par les deux enseignants de l'université (« *le roi de la pref* »). L'analyse macroscopique (Cf. Chapitre 2 précédent) montre que les deux enseignants de lycée utilisent « *l'as de la fab* ». Ensuite, seul l'enseignant E1 va utiliser le mini-jeu « *le roi de la pref* ». Après une présentation rapide des résultats « gros grain » nous nous attarderons sur l'analyse des traces « petit grain » relatives au mini-jeu « *le roi de la pref* » puis à « *l'as de la fab* » proposé aux élèves par les deux enseignants E1 et E2.

2.2.1. Le mini-jeu « *l'as de la fab* » au lycée

Nous avons vu précédemment lors du chapitre concernant les usages des professeurs, que les deux enseignants de lycée avaient des utilisations différentes de Mecagenius (nombre de séances, choix des mini-jeux,...). A partir du recueil des traces informatiques, nous avons extrait et analysé les données relatives à chacun des deux joueurs contrastés (“éF” « *élèves forts* » et “éf” « *élève faibles* ») à propos de l'utilisation du mini-jeu « *l'as de la fab* » (Cf. Annexe 37). Les traces de type « gros grain » liées à ce mini-jeu rendent compte des niveaux de jeu, du score, des types d'erreur. Les tableaux ci-dessous présentent la condensation des résultats pour les différents élèves contrastés observés (“éF” et “éf”). La lecture de ces tableaux nous renseigne sur l'utilisation par ces élèves du mini-jeu « *l'as de la fab* ». Ces données relèvent des critères suivants : niveau de jeu choisi par l'élève (« *l'as de la fab* » N1, « *l'as de la fab* » N2 ou N3) correspondant aux trois niveaux de jeu {débutant - confirmé - expert}, les scores correspondants (50, 100 ou 400), les types d'erreurs (Trop de simulation, rugosité, nombre de pièces, etc.).

cette première lecture, nous synthétisons dans le tableau ci-dessous les éléments clés des actions des élèves contrastés.

	Elève (éF-E2) Tableau 70	Elève (éf-E2) Tableau 70	Elève (éF-E1) Tableau 71	Elève (éf-E1) Tableau 71
Niveau de jeu	{N1 - N2 - N3}	{N2 - N3}	{N1 - N2 - N3}	{N1 - N3}
Scores	{N1 - 50} {N2 - 100} {N3 - 400}	{N2 - 100} {N3 - 50}	{N1 - 70} {N2 - 400} {N3 - 2000}	{N1 - 120} {N3 - 480}
Nombre d'erreurs	21	7	33	12
Types d'erreurs	15 Trop de simulations 4 Nbre simulations 2 Erreur rugosité	5 Trop de simulations 4 Nbre simulations 2 Manque de précision	1 Erreur durée usinage 13 Trop de simulations 12 Nbre simulations 5 Erreur rugosité 2 Erreur nombre de pièces	7 Erreur durée usinage 5 Trop de simulations

Tableau 72 : Résultats de l'analyse « gros grain » des élèves contrastés de lycée mini-jeu « *l'as de la fab* »

D'une manière générale les élèves commencent par les niveaux les plus élevés à l'exception de l'élève "éf"-E2, puis lorsqu'ils échouent trop longtemps ils se rabattent sur les niveaux plus faibles. C'est le cas particulièrement pour les élèves "éf". Nous pouvons ainsi repérer que les élèves forts (Cf. première et troisième colonnes du tableau 72) jouent davantage au niveau de jeu le plus élevé (N3) et obtiennent de meilleurs scores. Paradoxalement les élèves "éf" ne jouent pas ou presque pas à ce niveau de jeu. Le nombre d'erreurs commises par les "éf" est plus élevé, ce résultat est totalement logique puisque ces joueurs effectuent un nombre d'actions plus important ce qui entraîne un nombre d'erreurs plus élevé. Mais lorsqu'on regarde de plus près ces erreurs, nous nous apercevons qu'elles ne sont pas de même nature. En effet, si nous relevons les erreurs de "éf" du tableau ci-dessus (Cf. Partie grisée, Tableau 72), nous pouvons voir par exemple : "erreur rugosité". Comme nous le décrivons ci-après, cette erreur, au regard des savoirs cristallisés dans ce mini-jeu, est constitutive d'une problématique « pointue » de finition que seuls les élèves forts ont pu rencontrer. Nous rappelons que les savoirs de « *l'as de la fab* » sont constitutifs de la compétence « choix des conditions de coupe pour l'usinage d'une pièce ». Deux étapes distinctes sont à découvrir : l'ébauche et la finition. Pour réussir ce mini-jeu, le joueur doit agir sur quatre paramètres {rayons de bec d'outils - vitesse de coupe - profondeur de passe - vitesse d'avance}. Ainsi,

lorsque l'élève fait cette erreur ("erreur rugosité") cela veut dire qu'il a réussi l'étape d'ébauche et que lors de l'étape de finition il a choisi soit un mauvais rayon de bec de l'outil ou une mauvaise vitesse d'avance. Nous pensons que la problématique du respect d'un état de surface, qui ne soit pas pénalisante en terme de temps d'usinage, reste une compétence ou un savoir faire relativement complexe pour un élève de première STI. Rappelons que les résultats de l'enquête mettent en évidence que parmi les difficultés rencontrées par les élèves, c'est la notion d'usinage qui est considérée comme problématique et dite par les professeurs, car c'est une problématique dite "réelle" : « *Le réel problème, c'est à nouveau, j'y reviens dessus c'est la connaissance technique qui permet de choisir l'ordre des opérations, de choisir les outillages, les prises de pièces et de choisir les cotes fabriquées à obtenir.* » (Tableau 14 : Graphe de proximité des mots u.c.e n° 30).

Les résultats de cette première analyse du mini-jeu « *l'as de la fab* » montrent que la fréquence d'erreurs rencontrées par les « *élèves forts* » est plus élevée mais que ces erreurs constitutives d'un apprentissage en devenir sont révélatrices des obstacles que les élèves doivent dépasser. Notons que les élèves faibles pour leur part ne les affrontent jamais.

2.2.2. Le mini-jeu « *le roi de la pref* » au lycée

Tout comme le mini-jeu précédent « *l'as de la fab* » nous avons, à partir du recueil des traces informatiques, analysé les données relatives à chacun des deux élèves contrastés "éF" et "éf" dans leur utilisation du mini-jeu « *le roi de la pref* » (classe de l'enseignant E1¹⁰²). Le tableau ci-après présente les données relevant des critères suivants : niveau choisi par l'élève (« *le roi de la pref* » N1, « *le roi de la pref* » N2 ou « *le roi de la pref* » N3) correspondant aux trois niveaux de jeu {débutant - confirmé - expert}, les scores correspondants (50, 100, 600 ou 2000), les types d'erreurs (calcul, signe, manque de précision, etc.).

¹⁰² Nous rappelons que seul cet enseignant de lycée E1 propose l'utilisation de ce mini-jeu.

Elève Faible	"éf"	Elève Fort	"éf"
	Le roi de la pref N1		Le roi de la pref N1
600	gagné - coups=16 manque de precision - maxcoups=coups=21 - coupsZ=14 - coupsX=8 gagné - coups=18 gagné - coups=19 gagné - coups=17 gagné - coups=17 manque de precision - maxcoups=coups=21 - coupsZ=10 - coupsX=12 manque de precision - maxcoups=coups=21 - coupsZ=14 - coupsX=8 gagné - coups=20	400	gagné - coups=18 gagné - coups=16 gagné - coups=16 gagné - coups=16
600	manque de precision - maxcoups=coups=21 - coupsZ=3 - coupsX=19 erreur timeout - coups=18 erreur timeout - coups=15 erreur timeout - coups=18 erreur timeout - coups=16 manque de precision - maxcoups=coups=21 - coupsZ=9 - coupsX=13 erreur timeout - coups=16 erreur de signe : coord z positive - coups=18 erreur de signe : coord z positive - coups=18 gagné - coups=18 gagné - coups=18 gagné - coups=18 manque de precision - maxcoups=coups=21 - coupsZ=14 - coupsX=8	2000	manque de precision - maxcoups=coups=21 - coupsZ=4 - coupsX=18 gagné - coups=16 gagné - coups=16 gagné - coups=18 gagné - coups=18 gagné - coups=14 gagné - coups=16 gagné - coups=16 gagné - coups=16 gagné - coups=16 manque de precision - maxcoups=coups=21 - coupsZ=5 - coupsX=17 gagné - coups=18 erreur de calcul - coups=16 erreur de signe : coord z positive - coups=16 gagné - coups=16
	Le roi de la pref N3		Le roi de la pref N3
100	erreur de calcul - coups=66 gagné - coups=20 gagné - coups=16	50	erreur de calcul - coups=16 erreur de signe : coord z positive - coups=16 gagné - coups=16
			Le roi de la pref N2
			gagné - coups=18
Score	1300	Score	2550

Tableau 73 : Traces de type « gros grain » du mini-jeu « le roi de la pref » des élèves de lycée

Comme pour le mini-jeu « l'as de la fab », nous synthétisons dans le tableau ci-dessous les traces « gros grain » des actions des élèves contrastés de l'enseignant E1 de lycée.

	Elève ("éf" - E1) Tableau 69	Elève ("éf" - E1) Tableau 69
Niveau de jeu	{N1 - N2 - N3}	{N1 - N3}
Scores	{N1 - 2400} {N2 - 100} {N3 - 50} Total : 2550	{N1 - 1200} {N3 - 100} Total : 1300
Erreurs	14 5 time out 6 manque de précision 2 erreur de signe 1 erreur de calcul	5 0 time out 2 manque de précision 2 erreur de signe 1 erreur de calcul

Tableau 74 : Résultats de l'analyse « gros grain » des élèves contrastés de lycée mini-jeu « le roi de la pref »

La lecture de ce tableau nous permet de repérer que "éf" parcourt tous les niveaux de jeu {N1 - N2 - N3} et obtient de meilleurs scores. L'élève faible "éf" quant à lui joue aux niveaux de jeu {N1 - N3} et obtient des scores moins élevés. Ces résultats font écho avec ceux trouvés précédemment à propos de l'utilisation du mini-jeu précédent « l'as de la fab ». Lors de l'uti-

lisation du niveau le moins élevé (« *le roi de pref NI* ») nous pouvons voir que les « *élèves forts* » gagnent plus souvent et que les erreurs produites sont plus faibles. Pour l'élève faible, nous pouvons à titre d'exemple relever dans le tableau ci-dessus plusieurs erreurs (erreur de signe, manque de précision, *time out*). Nous pensons que ces erreurs s'expliquent par des difficultés relatives au repère machine et aux signes des coordonnées dans ce repère machine. Dans le tableau 74, nous pouvons aussi lire qu'au début du mini-jeu, l'élève "éf" va tâtonner plus longtemps pour arriver au résultat en produisant beaucoup plus erreurs "*time out*", ces erreurs correspondent à des temps trop longs pour régler la machine. Mais, ce type d'analyse ne permet pas de tirer des conclusions pertinentes sur les stratégies au regard des enjeux didactiques sous-jacents au mini-jeu qui sont au cœur de notre problématique de recherche. Certes, les temps sont plus importants mais il est nécessaire de comprendre les raisons de ces erreurs (*time out*). Ce constat nous conduit vers une l'analyse des traces de type « petit grain » qui rend compte chronologiquement du détail des actions effectuées par le joueur au regard des enjeux épistémiques dans différents mini-jeux.

2.2.3. Conclusion de l'étude des traces de type « gros grain »

Lors de cette étude des traces de type « gros grain » liées aux deux mini-jeux « *l'as de la fab* » et « *le roi de la pref* » nous avons pu mettre en lumière que les erreurs des élèves forts étaient plus élevées. Ces erreurs plus nombreuses s'expliquent par le fait que les élèves jouent plus longtemps à des niveaux de jeu importants, ce qui les amène à se confronter à des difficultés au regard des acquisitions escomptées. Les résultats révèlent qu'au fur et à mesure de l'avancée dans le mini-jeu les « *élèves forts* » se trouvent confrontés aux obstacles épistémologiques qui y sont implémentés. D'une certaine manière, les relations des élèves aux savoirs cristallisés dans le *serious game* sont sensiblement les mêmes que celles que les élèves peuvent avoir dans une situation didactique traditionnelle.

Mais, ces constats nécessitent des grains de description plus fins afin de rendre compte chronologiquement du détail des actions effectuées par les élèves pour expliquer l'origine de leurs difficultés. Dans ce qui suit, nous allons donc étudier le parcours de ces duos d'élèves contrastés en regardant en détail leurs chroniques d'actions (Cf. Section méthode) au regard des savoirs implémentés dans « *l'as de la fab* » et « *le roi de la pref* » en les mettant en

relation avec certains des éléments de l'action enseignante telle que mise en évidence dans le chapitre 2 des résultats (Cf. Analyse microdidactique). Ces analyses de type « petit grain » nous permettront de pointer des éléments révélateurs des stratégies utilisées.

2.3. L'étude des traces de type « petit grain » de deux mini-jeux

Nous allons faire un pas de plus en essayant de comprendre les chroniques d'actions des élèves qui ont conduit ces derniers vers des réussites ou des erreurs au travers des traces implémentées dans les mini-jeux. Comme nous l'avons mentionné au début de ce chapitre, ces traces renvoient à des indices relatifs aux savoirs du génie mécanique. Cette section s'intéresse d'abord aux résultats de type « petit grain » relatifs au mini-jeu « *le roi de pref* » qui rappelle qu'il est uniquement utilisé par l'enseignant de lycée E1. Ensuite, nous développons les résultats de type « petit grain » relatifs au mini-jeu « *l'as de la fab* » qui, pour sa part est employé par les deux enseignants E1 et E2 de lycée. Les trois tableaux (Cf. Tableaux 72, 73 et 74) ci-dessous présentent des extraits des résultats « petit grain » des deux élèves contrastés des classes des enseignants E1 et E2 (Cf. Annexes 38 et 39 qui rendent compte de l'ensemble des traces recueillies). Ces tableaux mettent en lumière les chroniques d'actions successives des élèves, les paramètres et les résultats correspondants. Dans ces tableaux, les cases grisées indiquent les résultats obtenus (blocage, outil usé, réussi) avant le démarrage d'une nouvelle chronique d'actions¹⁰³. Dans certains cas, comme pour le mini-jeu « *le roi de pref* » les valeurs des temps de réglage sont aussi grisées. Enfin, à l'issue de chaque partie « P », un bilan synthétise les totaux des résultats des élèves lorsqu'ils ont terminé le mini-jeu, avant qu'ils ne recommencent une autre partie.

¹⁰³ Nous renvoyons le lecteur au chapitre méthodologie qui présente les modalités du découpage du corpus de traces

2.3.1. Etude des traces de type « petit grain » des élèves contrastés de la classe de l'enseignant E1 « le roi de la pref »

Elève (éF-E1)				Elève (éF-E1)						
Parties	Chroniques d'ac-	Paramètres	Valeurs - Résultats	Paramètres	Valeurs - Résultats	Chroniques d'actions	Parties			
P1	C1	Etape 1	réglage	Etape 1	réglage	C1	P1			
		Nbre coups sur Z	3	Nbre coups sur X	3					
		Sélect Axe	X	Sélect Axe	Z					
		Incrément	3	Incrément	2					
		Nbre coups sur X	8	Incrément	3					
		Sélect Axe	Z	Incrément	2					
		Incrément	2	Nbre coups sur Z	9					
	Réglage		Réussie	Sélect Axe		X				
	C2	Temps réglage	8.799999999999985	erreur time out - coups = 18						
		Nbre coups	16	Etape 1	réglage	C2	P2			
		Nbre coups sur axe X	8	Nbre coups sur Z	0					
		Nbre coups sur axe Z	8	Sélect Axe	X					
		Etape 2	Calcul	Nbre coups sur X	3					
	Calcul Pref		valider	Sélect Axe	Z					
Réglage et Calcul Pref réussis Temps de réglage 8,799 Nombre de coups 18				Incrément	3					
P2	C3	Etape 1	réglage	Incrément	2			C3	P3	
		Nbre coups sur Z	3	Incrément	3					
		Sélect Axe	X	Nbre coups sur Z	9					
		Incrément	3	Sélect Axe	X					
		Nbre coups sur X	8	Incrément	2					
		Sélect Axe	Z	Incrément	1					
		Incrément	2	erreur time out - coups = 15						
	Réglage		Réussie	Etape 1	réglage	C3	P3			
	C4	Temps réglage	6.099999999999994	Nbre coups sur X	3					
		Nbre coups	16	Sélect Axe	Z					
		Nbre coups sur axe X	8	Incrément	2					
		Nbre coups sur axe Z	8	Incrément	3					
		Etape 2	Calcul	Incrément	1					
	Calcul Pref		valider	Nbre coups sur Z	8					
Réglage et Calcul Pref réussis Temps de réglage 6,099 Nombre de coups 16				Sélect Axe	X					
P3	C5	Etape 1	réglage	Incrément	3	erreur time out - coups = 15				
		Nbre coups sur Z	3							
		Sélect Axe	X							
		Incrément	3							
		Nbre coups sur X	8							
		Sélect Axe	Z							
		Nbre coups sur axe X	8							
		Nbre coups sur axe Z	5							
		Palpeur		comprimé						

	Incrément	2
	Réglage	Réussie
C6	Temps réglage	9.599999999999982
	Nbre coups	18
	Nbre coups sur axe X	8
	Nbre coups sur axe Z	10
	Etape 2	Calcul
	Calcul Pref	valider
Réglage et Calcul Pref réussis Temps de réglage 9,599 Nombre de coups 18		

Tableau 75 : Indices « petit grain » liées au mini-jeu « le roi de la pref » des deux élèves contrastés de la classe de l'enseignant E1 de lycée

Le tableau ci-dessus présente trois parties des actions des deux élèves contrastés (“éF” « élève fort » et “éf” « élève faible ») de la classe de l'enseignant E1 à propos de l'utilisation du mini-jeu « le roi de la pref¹⁰⁴ » au niveau confirmé. Dans ce tableau, nous indiquons le nombre de coups effectués sur les axes (X ; Z), le choix des incréments, les temps de réglages ainsi que les valeurs correspondantes. Les deux étapes (réglage ou calcul) réalisées par le joueur sont également affichées. Lorsque la face avant de la pièce reçoit une compression du palpeur supérieure à 8/10^{ème} l'information est affichée (palpeur comprimé), cette erreur est constitutive d'un mauvais choix de l'incrément provoquant un accostage de la surface trop important entraînant un risque de casse du palpeur. Rappelons que des contraintes ludiques (limite de temps : “time out” et limite du nombre de coups) permettent de proposer graduellement des difficultés pour contraindre le joueur à optimiser ses réglages. Nous présentons dans ce tableau trois parties successives du duo d'élèves contrastés. Ces trois parties sont représentatives des stratégies des élèves lors de l'utilisation de ce mini-jeu. Comme l'indiquent les traces « gros grain » (Cf. Tableau 73) la succession des parties des deux élèves relève de stratégies identiques pour chacun d'entre eux. Pour éviter d'alourdir le propos, nous nous limitons à une présentation de l'analyse de ces trois parties la totalité étant disponible en annexe (Cf. Annexe 48). Les conclusions des résultats des sections synthétiseront l'analyse de l'ensemble du corpus.

¹⁰⁴ Palpe la face avant d'une pièce en un minimum de coups et le plus rapidement possible. Calcule la prise de référence. La compression admissible sur le palpeur est de 8/10^{ème}.

Résultats de l'étudiant fort "éF"

Détaillons maintenant la manière dont ce duo d'élèves contrastés aborde le mini-jeu « *le roi de la pref* ». Commençons sur trois parties du parcours de l'élève "éF". Ces trois parties sont constituées de 6 chroniques d'actions, chaque partie est composée d'une chronique relative à la phase de réglage (Cf. Chroniques 1, 3 et 5) et d'une chronique qui concerne la phase de calcul (Cf. Chroniques 2, 4 et 6). Au travers de la première chronique d'actions C1 (Cf. Tableau 75), nous remarquons que "éF" met peu de temps pour venir palper la face de la pièce ($t = 8,79$). Le nombre de coups utilisés pour obtenir le réglage est relativement faible (Nbre coups = 16) et le choix des incréments est judicieux. Cet élève "éF" de par ses actions obtient des réussites relativement rapides avec des temps de réglage de la MOCN¹⁰⁵ relativement courts. En effet, lors des parties suivantes, nous observons que les chroniques d'actions C3 et C5 sont proches de la chronique d'actions C1, les actions de cet élève sont similaires. De même, le nombre de coups affiché (juste en dessous du temps de réglage) est relativement constant (16, 16 et 18). La description présentée (Cf. Tableau 75) montre que les actions de "éF" sont justes et qu'il maîtrise parfaitement l'étape de réglage de la MOCN notamment, l'ajustement des axes de déplacement (X ; Z) ainsi que le choix des incréments, cela se traduit par un nombre de coups suffisant et des temps de réglages corrects. L'étape de calcul est réussie systématiquement. Les parties suivantes (Cf. Annexes 48) sont similaires à ces parties-là.

Résultats de l'étudiant faible "éf"

Penchons-nous maintenant plus spécifiquement sur trois parties du parcours de l'élève faible "éf" dont la description est présentée dans la partie droite du tableau 75. Au premier regard nous n'observons qu'une seule chronique d'actions par partie (Cf. Chroniques C1, C2 et C3). Les résultats affichés ("*time out*") traduisent que "éf" atteint systématiquement la limite de temps imposée par le mini-jeu. Nous pouvons constater lors de la première chronique d'actions que "éf" change souvent la valeur de l'incrément (2 puis 3 et ensuite 2), cette hésitation sera répétée dans chaque partie (Cf. Chroniques d'actions C2 et C3). Ces actions sont le reflet des difficultés que rencontrent cet élève, il n'arrive pas à identifier, à maîtriser les valeurs des incréments. Les tâtonnements successifs de "éf" qui parfois peuvent aller jusqu'à cinq choix

¹⁰⁵ Telle que représentée dans le mini-jeu

d'incrément différents comme lors des chroniques d'actions C2 et C3 sont révélatrices. En effet, nous remarquons que cet élève met du temps avant d'accéder à une valeur correcte de l'incrément (qu'il ne trouve pas). Pour réussir cette manipulation la solution réside dans le choix d'un grand incrément dès le départ afin de pouvoir déplacer la tourelle rapidement, puis il faut ensuite réduire l'incrément afin d'affiner l'accostage. L'élève "éf" ne réussira pas du tout cette opération de réglage en raison de ces nombreuses hésitations qui le conduiront vers des limites de temps (*time out*). Notons que cet élève n'abordera pas l'étape de calcul car il ne réussira jamais à franchir cette l'étape de réglage (Cf. Annexe X). Ainsi, l'analyse « petit grain » pour cet étudiant "éf" laisse penser qu'il n'est pas très performant. La stratégie utilisée nous laisse penser qu'il n'a pas compris quel est l'enjeu du savoir proposé par ce mini-jeu. L'analyse confirme ce que nous pouvions anticiper de l'analyse des traces « gros grain » (Cf. Tableau 73). Les résultats des parties suivantes de "éf" révèlent de difficultés similaires rencontrées.

Ces résultats font écho avec l'étude microdidactique, (Cf. Chapitre 2) relative à l'enseignant E1 de lycée. Rappelons que lors de la séance relative à l'utilisation du mini-jeu « *le roi de la pref* », cet enseignant E1 définissait l'objet de savoir de ce mini-jeu en rappelant¹⁰⁶ tous les paramètres dont il faudra tenir compte : « *Alors l'objet donc du jeu « le roi de la pref » c'est de tangenter une pièce de longueur connue par rapport à l'origine porte-pièce de façon à définir les pref...* » (Cf. Tableau 33 : Extraits du discours de l'enseignant E1 - 18 à 24 mn « *le roi de la pref*»). Dans l'interprétation des effets de l'intervention de cet enseignant, nous avons souligné ces modifications du milieu et du contrat didactique allant dans le sens d'un topos professoral plus important. Malgré toutes les interventions de l'enseignant visant à centrer tous les élèves sur les savoirs liées au réglage, l'élève faible semble ne pas tirer parti des indices proposés par le professeur. Tout se passe comme s'il essayait de trouver dans le mini-jeu lui-même la solution au problème rencontré. L'observation des stratégies de l'élève faible laisse penser que la réussite des élèves est conditionnée par la définition des enjeux de savoir qui sont cristallisés dans chaque mini-jeu. Ce n'est peut-être pas le cas pour l'élève fort qui en fonction de l'intervention de l'enseignant est amené à partager avec lui certaines responsabilités au regard de l'enjeu de savoir « réglage » ce qui peut expliquer les différences dans les actions respectives des deux élèves contrastés.

¹⁰⁶ Lors de cette définition, l'enseignant va aller jusqu'à nommer et désigner aux élèves tous les paramètres dont ils devront tenir compte pour jouer « le bon jeu ».

2.3.2. Etude des traces de type « petit grain » des élèves contrastés de la classe de l'enseignant E1 « l'as de la fab »

Elève (éf-E1)				Elève (éf-E1)				
Parties	Chroniques d'actions	Paramètres	Valeurs - Résultats	Paramètres	Valeurs - Résultats	Chroniques d'actions	Parties	
P1	C1	ap/f	2/0.16	Rbec	0.4	C1	P1	
		Rbec	1.2	Vc	400			
		Vc	200	ap/f	2/0.4			
		Etape	Ebauche	ap/f	2/0.25			
	Result	réussi	ap/f	2/0.16				
	Etape	Ebauche	Etape	Ebauche				
	C2	ap/f	2/0.25	Result	outilUsed	C2		
		Etape	Ebauche	timer 30 s	tick 1			
	Result	blocage	ap/f	2/0.25	C3			
	C3	ap/f	2/0.16	ap/f		2/0.4		
		timer 30 s	tick 1	Etape	Ebauche			
		ap/f	2/0.25	Result	blocage			
		ap/f	4/0.25	ap/f	2/0.25	C4		
		ap/f	2/0.25	Etape	Ebauche			
		ap/f	2/0.25	Result	blocage			
		ap/f	1/0.25	ap/f	2/0.25			
		ap/f	2/0.4	ap/f	2/0.16			
	ap/f	1/0.4	ap/f	4/0.16				
	Etape	Ebauche	timer 30 s	tick 2				
	Result	réussi						
	Bilan : ébauche réussie 1 blocage de la MOCN			Bilan : ébauche non réussie 2 blocages de la MOCN 1 outil utilisé				

Parties	Chroniques d'actions	Paramètres	Valeurs - Résultats	Paramètres	Valeurs - Résultats	Chroniques d'actions	Parties	
P2	C4	ap/f	1/0.4	Rbec	1.2	C5	P2	
		Rbec	1.2	Vc	200			
		Vc	200	Etape	Ebauche			
		Etape	Ebauche	Etape	Ebauche			
	Result	réussi	Vc	400				
	C5	Etape	Ebauche	Rbec	0.4			
		Result	réussi	Etape	Ebauche			
	C6	Valider	Ebauche	ap/f	2/0.1			
		ap/f	2/0.25	ap/f	2/0.16			
		timer 30 s	tick 1	timer 30 s	tick 1			
		ap/f	2/0.16	Etape	Ebauche			
		ap/f	2/0.1	Result	outilUsed			
		ap/f	4/0.1	Annuler	Ebauche			
		ap/f	4/0.16	Annuler	Ebauche			
		ap/f	4/0.25	Annuler	Ebauche			
		ap/f	2/0.16	Annuler	Ebauche			
		ap/f	2/0.1	Annuler	Ebauche			
		ap/f	2/0.16	Annuler	Ebauche			
		ap/f	2/0.25	Annuler	Ebauche			
		ap/f	2/0.16	Annuler	Ebauche			
		Rbec	0.4	Annuler	Ebauche			
	Vc	400	Annuler	Ebauche				
	Etape	Finition	Annuler	Ebauche				
	Result	réussi	Annuler	Ebauche				
	Fin du mini-jeu				Annuler	Ebauche		C6
					Annuler	Ebauche		
					Annuler	Ebauche		
					Annuler	Ebauche		
				Vc	200			
				Rbec	0.8			
				timer 30 s	tick 2			
				timer 30 s	tick 3			
				Etape	Ebauche			
				Result	réussi			
				Valider	Ebauche			
				Vc	400			
				timer 30 s	tick 4			
				ap/f	2/0.16			
				Etape	Finition			
				Result	réussi			
Bilan : ébauche + finition réussie				Bilan : ébauche + finition réussie				
- 1 tick				- 4 ticks				
				- 1 outil utilisé				
				- 15 annulations				
				7				

Tableau 76 : Indices « petit grain » liées au mini-jeu « l'as de la fab » des deux élèves contrastés de la classe de l'enseignant E1 de lycée

Le tableau ci-dessus présente les actions des deux élèves contrastés (“éF” et “éf”) de la classe de l'enseignant E1 à propos de l'utilisation du mini-jeu « l'as de la fab ».

Résultats de l'étudiant fort "éF"

Nous remarquons en premier lieu dans ce tableau que les actions de "éF" « élève fort » conduisent directement vers une réussite. En effet, "éF", lors de la première chronique d'actions (C1), va modifier les valeurs du couple {profondeur de passe « Ap » - vitesse d'avance « f »}. Ensuite, "éF" va changer la vitesse de coupe V_c , il va notamment la réduire ($V_c = 200$) puis, il va chercher à agir sur le quatrième paramètre à savoir le rayon de bec « R bec ». Suite à ces actions, "éF" lance l'opération d'usinage en ébauche qui sera réussie. Ces réussites sont engendrées par une bonne connaissance et maîtrise des paramètres des conditions de coupe. Nous pensons que "éF" a repéré d'une part les quatre enjeux de savoirs implémentés dans ce mini-jeu liés à l'apprentissage des paramètres nécessaires pour réussir un usinage en ébauche puis en finition, et d'autre part, qu'il est capable de combiner ces paramètres pour pouvoir optimiser ces conditions de coupe. Ainsi, après avoir validé l'étape de l'ébauche, "éF" va changer les valeurs du couple {profondeur de passe « Ap » - vitesse d'avance « f »}. Il recherche ici l'efficacité optimale et teste aussi les conséquences du changement de ces valeurs-là. Cela va se traduire notamment par un blocage de la MOCN, cette opération ne sera pas renouvelée. Dans la chronique d'actions suivante (Cf. Chronique C6), nous pouvons observer que "éF" va tâtonner pas moins de huit fois en changeant le couple {profondeur de passe « Ap » - vitesse d'avance « f »}. Lors de la deuxième utilisation de ce mini-jeu « *l'as de la fab* », "éF" reproduira exactement les mêmes actions de jeu en commençant par une réussite « directe » puis par de multiples essais pour réussir à la fin l'étape de finition (Cf. Annexe 32).

Résultats de l'étudiant faible "éf"

Concernant "éf" de la classe de l'enseignant E1 un premier constat s'impose. En effet, nous remarquons dans le tableau ci-dessus (Cf. Tableau 76) que les actions de cet élève "éf" le conduisent systématiquement vers des échecs (blocage, outil usé) bien que "éf" joue plus longtemps que "éF" nous pouvons voir dans ce tableau que ses choix sont peu pertinents (Cf. Annexe 31). En effet, pour réussir la phase d'ébauche, il faut sélectionner une faible vitesse de coupe ($V_c = 200$) et un grand rayon de bec « R bec » ($R_{\text{bec}} = 1,2$) comme a pu le faire l'élève fort "éF". Or, "éf" choisit les mauvaises valeurs et sélectionnant une grande vitesse de

coupe ($V_c = 400$) et un petit rayon de bec « R bec » ($R_{\text{bec}} = 1,2$) ce qui va déboucher vers des échecs répétés. Nous pensons ici que l'élève faible n'a pas du tout cerné les enjeux de savoirs implémentés dans ce mini-jeu, c'est-à-dire, la question centrale du couple de valeurs pertinentes pour réussir le mini-jeu. Comme l'a montré l'analyse *a priori* (Cf. chapitre méthodologie en première partie) la question du choix de valeurs pertinentes peut être considéré comme la variable de commande du mini-jeu de « *l'as de la fab* » puisqu'elle détermine la réussite du jeu. Par rapport à ce dernier point, nous pouvons noter que «éf» modifie trois fois le couple {Ap - f} en oubliant de changer les autres paramètres (V_c et R bec) (Cf. Chronique d'actions C1 du tableau précédent). Ce sera seulement à la fin de la deuxième phase d'utilisation, après de multiples annulations de l'ébauche (Cf. Chronique d'actions C6), que «éf» va (enfin) changer les paramètres (V_c et R bec) ce qui lui permettra de réussir mais peut-être pas de repérer les paramètres permettant de saisir un couple de valeurs efficaces. Nous pouvons aussi souligner que «éf» marque plusieurs temps d'hésitation (*timer 30 s*) avant d'effectuer une action. Nous pensons que ces temps d'arrêts sont des révélateurs de la difficulté dans laquelle s'est trouvé cet élève pour face au mini-jeu « *l'as de la fab* ».

Quel est l'impact du comportement de E1 sur les élèves lorsqu'ils utilisent ce mini-jeu ? Les résultats de l'analyse microdidactique (Cf. Tableau 37 : Synopsis de la 2^{ème} séance observée de l'enseignant de lycée E1 pour le mini-jeu « *l'as de la fab* » “24 min à 37 min”) mettent en lumière que l'action de l'enseignant E1 est décisive pour la réussite des élèves dans ce mini-jeu. E1 va mettre en œuvre un processus de régulations qui consiste à dicter à l'élève l'exécution des tâches à réaliser « ... *Donc tu prends le plus grand rayon de bec et la vitesse de coupe la plus faible. En finition, le plus petit rayon et une grande vitesse de coupe donc, ça te donne une profondeur et un rayon de bec de 0,4...* ». Cet enseignant guide la classe en prenant à sa charge les éléments du réglage, d'où une série d'indices Topaze visant à indiquer aux élèves les stratégies gagnantes dans ce mini-jeu. Il invite ainsi à de multiples reprises les élèves à lire les données affichées à l'écran afin de les guider vers les traits pertinents des nouvelles connaissances visées : « *Donc analysez bien le dessin ...* ». Nous pensons que ces régulations-là ont un impact sur les actions différentes des élèves. Qu'en est-il dans l'autre classe ? Nous allons maintenant présenter les résultats des actions du duo d'élèves contrastés de la classe de l'enseignant E2 à propos de l'utilisation du même mini-jeu « *l'as de la fab* ».

2.3.3. Etude des traces de type « petit grain » des élèves contrastés de la classe de l'enseignant E2 « l'as de la fab »

Elève (éF-E2)				Elève (éF-E2)			
Parties	Chroniques d'actions	Paramètres	Valeurs - Résultats	Paramètres	Valeurs - Résultats	Chroniques d'actions	Parties
P1	C1	ap/f	2/0.1	Rbec	1.2	C1	P1
		Vc	200	ap/f	2/0.25		
		ap/f	2/0.1	ap/f	4/0.25		
		Rbec	1.2	ap/f	4/0.16		
		Rbec	0.4	Etape	Ebauche		
		Etape	Ebauche	Result	blocage		
	Result	outilUsed	timer 30 s	tick 1	C2		
	C2	timer 30 s	tick 1	Rbec		0.8	
		Rbec	1.2	ap/f		4/0.1	
		Etape	Ebauche	Etape	Ebauche		
	Result	outilUsed	Result	blocage	C3		
	C3	ap/f	4/0.1	timer 30 s		tick 2	
		ap/f	8/0.1	ap/f		2/0.1	
		ap/f	8/0.16	Etape	Ebauche		
		ap/f	4/0.16	Result	outilUsed		
		ap/f	2/0.16	timer 30 s	tick 3	C4	
		ap/f	1/0.16	Etape	Ebauche		
	timer 30 s	tick 2	Result	outilUsed	C5		
	ap/f	4/0.25	ap/f	1/0.16			
	ap/f	2/0.25	Etape	Ebauche			
	ap/f	1/0.25	Result	outilUsed	C6		
	Etape	Ebauche	timer 30 s	tick 4			
	Result	réussi	ap/f	1/0.4			
	C4	ChoixEnregistrement	OUI	Etape	Ebauche	C7	
		ap/f	4/0.16	Result	outilUsed		
		timer 30 s	tick 3	ap/f	1/0.4		
		ap/f	2/0.16	Vc	400		
		ap/f	1/0.16	timer 30 s	tick 5		
	Etape	Finition	Bilan : ébauche non réussie				
	Result	réussi	- 5 ticks ; - 2 blocages				
C5	ap/f	1/0.1	- 4 outils usés				
	Etape	Finition	ap/f	2/0.4	C1		
Result	réussi	Etape	Ebauche				
C6	Vc	300	Result	blocage	C2		
	ap/f	1/0.16	Rbec	1.2			
	ap/f	1/0.25	Etape	Ebauche			
	Etape	Finition	Result	blocage			
Result	réussi	ap/f	1/0.4	C3			
Bilan : ébauche et finition réussies							
- 3 ticks				Etape	Ebauche		
- 2 outils usés				Result	outilUsed		
P2	C1	ap/f	4/0.25	timer 30 s	tick 1	C4	
		ap/f	2/0.25	Rbec	0.8		
		ap/f	2/0.4	Vc	400		
		ap/f	1/0.4	Etape	Ebauche		
		Vc	200	Result	outilUsed	C5	
		Rbec	1.2	timer 30 s	tick 2		
		Rbec	0.8	Rbec	0.4		
				Etape	Ebauche		

P2		Etape	Ebauche		Result	outilUsed	
		Result	réussi		Rbec	0.8	C6
		timer 30 s	tick 1		Vc	200	
		ChoixEnregistrement	OUI		Rbec	1.2	
		ap/f	2/0.16		Etape	Ebauche	
		ap/f	2/0.25		Result	réussi	
		ap/f	4/0.25		timer 30 s	tick 3	C7
		ap/f	2/0.25		timer 30 s	tick 4	
		ap/f	1/0.25				
		ap/f	2/0.16				
		Vc	400				
		Etape	Finition				
		Result	réussi				
		C3	timer 30 s	tick 2			
			Valider	Finition			
Bilan : ébauche et finition réussies - 2 ticks					Bilan : ébauche non réussie - 4 ticks - 2 blocages - 3 outils usés		

Tableau 77 : Traces « petit grain » liées à deux parties du mini-jeu « *l'as de la fab* » de l'enseignant E2 de lycée

Comme dans la section précédente nous allons décrire les chroniques d'actions des deux élèves confrontés à « *l'as de la fab* ».

Résultats de l'étudiant fort "éF"

Dès le début du jeu (Cf. Chronique d'actions C1), "éF" va modifier une fois la valeur du couple {profondeur de passe « Ap » - vitesse d'avance « f »} et réduire la vitesse de coupe (Vc = 200) puis, il va agir sur le quatrième paramètre à savoir le rayon de bec « R bec ». Ces réussites sont engendrées par une bonne connaissance et une bonne maîtrise des paramètres des conditions de coupe. Toujours dans cette même chronique d'actions (Cf. Chronique d'actions C1) nous soulignons que "éF" hésite entre les deux valeurs extrêmes du rayon de bec (R bec = 0,4 ou 1,2), autrement dit, il ne sait pas s'il faut choisir pour l'opération d'ébauche un grand rayon de bec (R bec = 1,2) ou au contraire un petit rayon de bec (0,4). Suite à ces actions, "éF" lance l'opération d'usinage en ébauche qui débouchera sur un échec (outil usé). L'élève "éF" va revenir sur son choix initial (Cf. Chronique d'actions C2) et choisir un grand rayon de bec (R bec = 1,2), ce choix va également le conduire vers le même résultat que l'action précédente (outil usé). "éF" va alors changer la variable didactique de commande (Cf. Chronique d'actions C3) qui est la valeur du couple {profondeur de passe « Ap » - vitesse d'avance « f »}, afin d'obtenir l'efficacité optimale. Nous pouvons observer

que “éF” va tâtonner pas moins de neuf fois en changeant ce couple {profondeur de passe « Ap » - vitesse d’avance « f »}. Nous pensons que “éF” s’engage vers la maîtrise des quatre enjeux de savoirs implémentés dans ce mini-jeu liés à l’apprentissage des paramètres nécessaires d’usinage. Il est capable de combiner ces paramètres pour pouvoir optimiser les conditions de coupe. Dans la chronique d’actions suivante (Cf. Chronique d’actions C4), “éF” ne va pas modifier la vitesse de coupe V_c car il sait que lors de l’opération d’ébauche cette dernière doit être faible, il a certes hésité entre les deux valeurs extrêmes de rayon de bec mais il ne changera plus cette valeur par la suite. Ainsi, après avoir validé l’étape de l’ébauche (fin de la Chronique d’actions C3), “éF” va changer les valeurs du couple {profondeur de passe « Ap » - vitesse d’avance « f »} et poursuit avec la phase de finition (Cf. Chronique d’actions C4). Il est à souligner que même si l’opération d’usinage en finition est réussie deux fois “éF” va quand même modifier le couple {profondeur de passe « Ap » - vitesse d’avance « f »} puis augmenter la vitesse de coupe ($V_c = 300$). Nous remarquons aussi que l’élève “éF” ne marque presque pas de temps d’hésitation (*timer 30 s*) avant d’effectuer une action. Lors de la deuxième utilisation de ce mini-jeu « *l’as de la fab* » (Partie P2), “éF” reproduira exactement les mêmes actions de jeu en commençant par une réussite « directe » puis par de multiples essais pour réussir à la fin l’étape de finition. Notons que les changements du couple {profondeur de passe « Ap » - vitesse d’avance « f »} sont moins importants durant cette partie 2 et pour les parties suivantes (Cf. Annexe 40).

Qu’en est-il pour l’élève “éF” de la classe de l’enseignant E2 ?

Résultats de l’étudiant faible “éF”

Dès le départ (Cf. Chronique d’actions C1), “éF” va effectuer un mauvais choix en oubliant notamment de réduire la vitesse de coupe qui est trop importante pour cette phase d’usinage (au départ $V_c = 300$) ce qui va produire des échecs répétés (blocage, outil usé) (Cf. Chroniques d’actions C2 à C7). Par contre, durant cette première chronique d’actions, “éF” choisit le bon rayon de bec « R bec » ($R_{\text{bec}} = 1,2$) pour cette opération d’ébauche, mais malgré cela, ses actions vont le conduire vers un échec (blocage). Ensuite (Cf. Chronique d’actions C2), “éF” sélectionne un petit rayon de bec « R bec » ($R_{\text{bec}} = 0.8$) alors que ce dernier était correct mais, il ne modifie toujours pas la vitesse de coupe ce qui va se traduire vers des échecs répétés malgré de multiples changements du couple {profondeur de passe « Ap » - vitesse

d'avance « f »} (Cf. Chroniques d'actions C3 à C6). Lors de la dernière chronique d'actions (Cf. Chronique d'actions C7) "éf" va augmenter la vitesse de coupe ($V_c = 400$) au lieu de la réduire ce qui va le conduire vers un sixième échec. L'élève "éf" ne réussira pas du tout l'opération d'ébauche. Dans cette classe de E2 comme dans la classe de E1, l'élève faible semble passer à côté des enjeux liés aux compétences visées par ce mini-jeu en sélectionnant les mauvaises valeurs¹⁰⁷. Nous notons cependant qu'il marque moins de temps d'hésitation que l'élève faible de la classe de E1. Quelles sont les interventions ou les régulations proposées par l'enseignant E2 lorsque les élèves jouent à « *l'as de la fab* » ? Rappelons qu'au cours des séances d'utilisation de ce mini-jeu les enseignants de lycée développent une intense activité de régulations comme nous avons pu l'observer lors de l'analyse microdidactique (Cf. Chapitre 2). L'enseignant E2 intervient pour faire avancer le savoir rapidement et gérer l'incertitude de la réussite de ce mini-jeu en s'adressant à toute la classe : « *il faut faire des choix donc au niveau des rayons d'outils, au niveau de la vitesse de coupe et puis après faire des choix de profondeur de passe et d'avance et donc en ébauche et en finition.* ». Il met également l'accent sur l'origine de l'erreur probable effectuée le plus souvent par les élèves (Cf. Tableau 56, 2^{ème} séance observée de l'enseignant de lycée E2 - Extraits du discours 4 à 45 min « *l'as de la fab* »). Ce processus de régulation joue sans doute un rôle en permettant à l'élève faible d'avoir moins de temps d'hésitation (*timer 30 s*) dans ce site. Nous pouvons penser que les régulations didactiques de E2, basées sur des effets de contrat (comme l'effet Topaze) produisent des effets sur les différentes actions des joueurs. L'analyse des chroniques d'actions des élèves montre par exemple des réussites directes du mini-jeu chez l'élève fort alors que, face à cet enjeu de savoir trop dense, les répétitions des effets Topaze n'ont que très peu d'effets sur l'élève faible.

2.4. Conclusion de l'étude des traces de type « petit grain » de deux mini-jeux

L'analyse didactique des stratégies utilisées par les élèves lors de l'utilisation des deux mini-jeux sous la conduite de leurs enseignants met en évidence des dynamiques différentielles rendant compte de trajectoires variées pour les élèves observés. Dans un premier temps, nous

¹⁰⁷ A la fin de la partie 2, "éf" a choisi $V_c = 400$ au lieu de $V_c = 200$ et $R_{bec} = 0,4$ au lieu de $R_{bec} = 1,2$.

comparerons les stratégies utilisées par les élèves face au mini-jeu « *l'as de la fab* » puis nous dirons quelques mots sur les stratégies d'élèves face au mini-jeu « *le roi de la pref* ». Nous concluons cette section en discutant de l'utilité d'une analyse fine des traces pour comprendre quels peuvent être les usages d'un *serious game* dans un enseignement dirigé.

L'analyse « petit grain » des actions des deux élèves contrastés (“éF” et “éf”) dans les classes des deux enseignants de lycée (E1 et E2) lors de l'utilisation du même mini-jeu « *l'as de la fab* » met en relief certaines similitudes. Concernant les élèves forts, les réussites sont souvent rapides et nous pouvons dire que le mini-jeu « *l'as de la fab* » permet de repérer les combinaisons pertinentes des paramètres de réglage (effet de la variable de commande implémenté dans le mini-jeu). Un indice de cette maîtrise peut être vu dans le fait que les élèves forts marquent peu de temps d'hésitation (*timer 30 s*) avant d'effectuer une action. Ils sont aidés en ce sens par les deux enseignants qui, par de nombreuses régulations (Cf. Analyse microdidactique) les guident pour réussir ce mini-jeu en précisant les données et les paramètres qu'il faut sélectionner, allant parfois jusqu'à énoncer tout de suite la solution. Ces façons de faire expliquent peut-être les différences observées par les élèves faibles replacés face au problème, qui doivent faire un très grand nombre d'essais (avec beaucoup d'hésitations) sans pourtant réussir. En effet, l'analyse des chroniques d'actions des élèves faibles montre que le réglage des valeurs critiques au regard de la compétence d'usinage visée ne semble pas réellement maîtrisée. Les résultats mettent en lumière que ces élèves effectuent de mauvais choix et sont confrontés à de nombreuses erreurs et ne réussissent pas la première opération d'usinage demandée (à savoir l'ébauche). Très souvent, ces « *élèves faibles* » n'identifient pas la solution à leur problème ne prenant pas en compte tous les paramètres de coupe et marquent de nombreux temps d'hésitation (*timer 30 s*) avant d'effectuer une action. Il reste que l'apprentissage des paramètres nécessaires pour réussir un usinage en ébauche et en finition ne semble jamais pouvoir être atteint par les élèves faibles, cherchant à réussir dans le jeu, ne se rendant pas attentifs aux consignes du professeur.

Concernant le mini-jeu « *le roi de la pref* »¹⁰⁸ et comme pour le mini-jeu précédent, les élèves sont aidés par l'enseignant qui définit l'objet de savoir de ce mini-jeu en rappelant tous les paramètres nécessaires au réglage de la MOCN¹⁰⁹ (Cf. Tableau 33 : Extraits du discours de

¹⁰⁸ Nous rappelons au lecteur que seul ce mini-jeu a été utilisé par l'enseignant E1

¹⁰⁹ « *Alors l'objet donc du jeu « le roi de la pref » c'est de tangenter une pièce de longueur connue par rapport à l'origine porte-pièce de façon à définir les pref... »*

l'enseignant E1 - 18 à 24 mn « *le roi de la pref* »). L'étude des chroniques d'actions des élèves montre que, malgré ces interventions de l'enseignant, l'élève faible ne semble pas profiter des indices proposés par le professeur. Il ressort de l'analyse des résultats des difficultés de ce type d'élèves quant au choix de l'ajustement des axes de déplacement (X ; Z) et des incréments, que cela a pour conséquence un nombre de coups trop important qui conduit l'élève faible vers des erreurs (*time out* : nombre de coups trop importants). L'élève fort quant à lui, semble bénéficier des régulations de l'enseignant ce qui se traduit comme pour le mini-jeu « *l'as de la fab* » par des réussites rapides associées à de pertinentes combinaisons des paramètres de réglage de la MOCN. Nous pouvons relever dans les chroniques d'actions de ces élèves un nombre de coups efficace et surtout des temps de réglages de la MOCN relativement corrects. De plus, l'étape de calcul est réussie systématiquement.

Pour résumer les “éF”, dès les premières actions, modifient les valeurs « incontournables » ce qui débouche vers plusieurs réussites successives. Ces réussites, mises en lumière au travers des chroniques d'actions d'élèves, nous semblent rendre compte de la dynamique qui préside à l'utilisation de Mecagenius dans ces classes. Nous faisons l'hypothèse que la direction d'étude, les rétroactions des mini-jeux dans la succession des séquences auxquels sont confrontés les élèves forts leur permettent de construire une bonne connaissance et une bonne maîtrise des savoirs cristallisés dans les deux mini-jeux. En effet, ces élèves “éF” ont repéré d'une part les enjeux de savoir implémentés dans Mecagenius, d'autre part, ils interprètent la situation d'apprentissage et réagissent aux intentions de l'enseignant¹¹⁰. Nous pensons que le processus de régulation mis en œuvre par les enseignants (Cf. Chapitre 2) joue un rôle dans les actions des élèves au regard de la manière dont ils décodent de façon pertinente le contrat didactique sous-jacent aux mini-jeux. Les élèves “éF”, face à un enjeu de savoir trop dense, marquent de multiples hésitations qui sont des révélateurs du décrochage de ces élèves. Les résultats mettent aussi en lumière qu'ils effectuent de mauvais choix ce qui se traduit par de nombreuses erreurs synonymes d'échecs répétés. Nous pouvons faire l'hypothèse que l'écart entre les connaissances antérieures de ces élèves et les savoirs sous-jacents aux compétences visées dans ce mini-jeu sont trop importants pour qu'il puisse constituer un milieu adidactique

¹¹⁰ On pourrait dire qu'ils agissent dans le contrat didactique visé par leur enseignant (Brousseau, 1986)

pertinent. Nous pensons à la suite de Brousseau (1986) que ces élèves n'arrivent pas à décoder de façon pertinente le contrat didactique sous-jacent aux mini-jeux, ils semblent rester dans un usage d'effectuation du mini-jeu sans tirer parti des indices Topaze de leur professeur. En effet, les chroniques d'actions des élèves faibles révèlent qu'ils n'interprètent pas la situation d'apprentissage malgré le processus de régulation mis en œuvre par leurs enseignants. L'étude des chroniques d'actions des élèves lors de l'utilisation des deux mini-jeux nous permet maintenant de produire un tableau synthétique qui tente de mettre au jour les stratégies de ces duos d'élèves contrastés. Il s'agit, dans l'idée, d'affiner encore la description, de proposer un tableau synthétisant les stratégies utilisées par les différents élèves observés rendant compte des trajectoires d'apprentissage différenciées en lien avec l'action du professeur.

Stratégies / élèves	Mini-jeu « l'as de la fab »				Mini-jeu « le roi de la pref »	
	(éf-E1)	(éf-E2)	(éf-E1)	(éf-	(éf-E1)	(éf-E1)
Maîtrise des valeurs critiques	++	++	-	---	+++	---
Hésitations	-	--	++	++		
Erreurs répétées	-	--	++	++	---	+++
Rapidité du réglage	++	++	--	---	+++	---
Combinaison pertinente des paramètres de réglage	++	++	--	---	+++	---

Tableau 78 : Synthèse des stratégies des élèves contrastés lors de l'utilisation de deux mini-jeux

Ce tableau récapitule les différences observées, il met en évidence la variété des trajectoires d'apprentissages des quatre élèves, chacun d'eux tirant plus ou moins profit de leurs actions de jeu eu égard aux savoirs visés dans les mini-jeux qui leur ont été proposés. Par exemple éf-E1 pour le mini-jeu « l'as de la fab », par comparaison à éf-E2, a peu de temps d'hésitation et d'erreurs répétées (un seul "-"). De même sa rapidité de réglage de la MOCN, la maîtrise des valeurs critiques sont meilleures (trois "+").

Après cette présentation des stratégies utilisées par les élèves face à deux mini-jeux « l'as de la fab » et « le roi de la pref », nous terminons cette partie en évoquant l'utilité de cette ana-

lyse fine des traces pour comprendre quels peuvent être les usages d'un *serious game* dans un enseignement dirigé. La méthode d'analyse des traces de type « petit grain » mise en œuvre s'est attachée à décrire chronologiquement les actions des élèves au regard des savoirs cristallisés dans deux mini-jeux en tenant compte des interventions didactiques de l'enseignant. Rappelons que notre objectif était de rendre compte des stratégies du parcours des élèves lors de l'usage de Mecagenius. Le repérage des actions des élèves grâce aux traces informatiques recueillies en lycée a pu être effectué selon trois types d'analyses, l'analyse globale, l'analyse de type « gros grain » et l'analyse de type « petit grain ». Nous pensons que cette méthodologie permet de répondre, dans une certaine mesure, à notre problématique. Il reste néanmoins que, seule l'analyse de type « petit grain » apporte des informations sur le fonctionnement des élèves suffisamment fines pour expliquer l'origine de leurs difficultés ou de leurs réussites ainsi que les dynamiques différentielles de co-construction de la référence comme en rend compte le tableau 78 dans un usage de Mecagenius sous guidage du professeur.

Ces constats nous ont amené dans la suite de notre étude à n'utiliser que le niveau d'analyse « petit grain » pour traiter les stratégies d'étudiants en IUT et à l'université. Ce choix est d'autant plus pertinent puisque, dans ces deux sites, d'une manière ou d'une autre les étudiants sont placés en autonomie durant situation d'utilisation du *serious game*. C'est pourquoi l'analyse des traces de type « petit grain » sera menée sans prendre en compte l'influence de l'enseignant sur les actions des élèves.

3. Les étudiants de l'IUT et de l'université

Nous allons dans ce qui suit nous intéresser aux étudiants de l'IUT et de l'université. Nous rappelons que l'étude des usages des professeurs (Cf. chapitre 2) a mis en évidence que les enseignants de l'IUT ont utilisé qu'un seul mini-jeu, « *l'as de la fab* ». Les enseignants de l'université n'ont utilisé que le mini-jeu « *le roi de pref* ». Comme nous l'évoquions précédemment, nous n'avons pas mené une analyse globale telle que nous l'avons fait pour le lycée. L'analyse des traces de type « petit grain » parce qu'elle permet de décrire et d'interpréter précisément les actions des élèves, produit en quelque sorte un « effet loupe » qui rend compte du didactique. Ainsi, nous examinons d'abord, pour les étudiants de l'IUT, les données de type « petit grain » qui rendent compte chronologiquement du détail des actions effectuées dans le mini-jeu « *l'as de la fab* ». Ensuite, pour les étudiants de l'université, nous analysons leurs actions dans le mini-jeu « *le roi de la pref* ». Ces différentes analyses à partir des chroniques d'actions des élèves lors de l'utilisation des mini-jeux permettront de repérer des similitudes avec les résultats du lycée. Le tableau ci-dessous présente les analyses des traces en fonction des différents sites.

Analyse des traces	Sites	Prof s	Forme d'utilisation de Mecagenius
• Séance n° 1 le 9 /3	IUT	E1	• Présence de l'enseignant • Mini-jeu utilisé : « <i>l'as de la fab</i> »
• Séance n° 1 le 6 /4	Université L3	E1	• TP en autonomie sans la présence de l'enseignant • Mini-jeu utilisé : « <i>le roi de la pref</i> »
• Séance n° 2 le 13 /4			
• Séance n° 3 le 20 /4			
• Séance n° 4 le 27 /4			
• Séance n° 1 le 8 /4	Université L3	E2	• TP en autonomie sans la présence de l'enseignant • Mini-jeu utilisé : « <i>le roi de la pref</i> »
• Séance n° 2 le 22 /4			
• Séance n° 1 le 7 /4	Université L3	E2	• TP en autonomie sans la présence de l'enseignant • Mini-jeu utilisé : « <i>le roi de la pref</i> »
• Séance n° 2 le 21 /4			

Tableau 79 : Synthèse des analyses « petit grain » des traces effectuées

Les résultats concernant l'analyse macroscopique de l'action didactique des enseignants ont permis de déceler un usage de délégation du *serious game* commun à la fois à l'IUT et à l'université. Nous étudions dans ce qui suit les deux sites où l'enseignant laisse une autonomie totale (université) ou partielle (IUT) afin de prendre en compte les stratégies de jeu

des élèves sans l'aide du professeur. Dans un premier temps, nous proposons une analyse des chroniques d'actions de deux élèves contrastés ("éF" « *étudiants forts* » et "éf" « *étudiants faibles* ») de l'IUT utilisant le mini-jeu « *l'as de la fab* » (Cf. Annexes 40 et 41). Il s'agit ici d'examiner successivement les actions et les stratégies pour chacun d'entre eux. Dans un deuxième temps, nous rendons compte de l'étude de deux étudiants contrastés de l'université aux prises avec le mini-jeu « *le roi de la pref* » (Cf. Annexes 42 à 43).

Nous précisons que suite à un problème informatique nous n'avons pas pu recueillir les traces informatiques de l'enseignant E2 de l'IUT, par conséquent seule l'analyse des chroniques d'actions de deux étudiants contrastés de l'enseignant E1 de l'IUT sera effectuée.

3.1. Les étudiants de l'IUT

3.1.1. Contexte de l'activité des étudiants de l'IUT

Rappelons que l'activité de l'enseignant E1 de l'IUT est centrée autour d'un seul mini-jeu qui est « *l'as de la fab* ». L'objet de savoir visé par ce mini-jeu est relatif à des questions liées au choix des conditions de coupe en ébauche et en finition. Les analyses macroscopiques et microdidactiques montrent que cet enseignant propose une activité de manipulation libre du mini-jeu « *l'as de la fab* », puis il lance un petit défi, une compétition entre les étudiants qui consiste à réaliser le meilleur score possible dans un temps donné. La séance se termine par une institutionnalisation qui est suivie d'une courte manipulation libre de ce mini-jeu (Cf. Chapitre 2). Durant cette séance d'utilisation de ce mini-jeu, cet enseignant avec une grande habileté pratique, essaie de responsabiliser ses étudiants dans leur propre démarche de découverte du mini-jeu et dans leur construction des connaissances comme nous avons pu l'observer lors de l'analyse microdidactique (Cf. Chapitre 2 - Tableau 60 : Extraits du discours de l'enseignant E1 - 4 à 12 min « *l'as de la fab* »). Nos analyses montrent aussi que lors de cette manipulation libre, l'enseignant laisse les étudiants en autonomie, il privilégie dans l'action didactique une forme de dévolution globale du mini-jeu (Brousseau, 1986). De ce fait, les étudiants ne seront confrontés qu'aux rétroactions offertes par le mini-jeu.

3.1.2. Etude des traces de type « petit grain » des étudiants de l'IUT

L'utilisation du mini-jeu « *l'as de la fab* » au cours de cette séance, est l'occasion d'analyser les actions des étudiants qui ont conduit ces derniers vers des réussites ou des erreurs. Le recueil des indices pertinents pour analyser les choix, les stratégies gagnantes des étudiants utilisant ce mini-jeu par des actions *ad hoc*, porte comme nous l'avons vu précédemment sur : {La profondeur de passe « Ap » - la vitesse de coupe « Vc » - la vitesse d'avance « f » - le rayon de bec de l'outil « R bec »}. Nous avons également relevé les erreurs affichées lors des échecs des étudiants comme par exemple « outil usé ; blocage ». De la même façon que l'étude menée au lycée la condensation des résultats dans les tableaux ci-après indique le nombre de parties jouées et les chroniques d'actions. Les résultats sont affichés en gris, ils montrent les valeurs finales relatives aux choix des étudiants à propos des quatre paramètres retenus¹¹¹.

3.1.3. Etude des traces de type « petit grain » de « *l'as de la fab* » des étudiants contrastés de la classe de l'enseignant E1

Elève (éF-E1)				Elève (éf-E1)					
Parties	Chroniques d'actions	Paramètres	Valeurs - Résultats	Paramètres	Valeurs - Résultats	Chroniques d'actions	Parties		
	C1	Vc	200	timer 30 s	tick 1	C1			
		ap/f	2/0.16	timer 30 s	tick 2				
		ap/f	2/0.25	ap/f	4/0.1				
		ap/f	2/0.1	ap/f	8/0.16				
		ap/f	2/0.4	timer 30 s	tick 3				
		ap/f	1/0.4	ap/f	4/0.16				
		ap/f	1/0.16	ap/f	4/0.25				
		ap/f	2/0.16	timer 30 s	tick 4				
		timer 30 s	tick 1	timer 30 s	tick 5				
		ap/f	2/0.1	timer 30 s	tick 6				
		ap/f	4/0.1	ap/f	2/0.25				
		Vc	300	ap/f	2/0.4				
		Vc	200	Etape	Ebauche				
		Rbec	1.2	Result	blocage				
		Rbec	0.8	ap/f	4/0.25				
		ap/f	4/0.16	Etape	Ebauche				
								C2	

¹¹¹ {Profondeur de passe « Ap » - vitesse de coupe « Vc » - vitesse d'avance « f » - rayon de bec de l'outil « R bec »}.

Elève (éF-E1)			Elève (éf-E1)				
P1		ap/f	2/0.16	Result	blocage	C3	P1
		ap/f	2/0.1	timer 30 s	tick 7		
		ap/f	2/0.16	ap/f	2/0.16		
		Etape	Ebauche	Etape	Ebauche		
	C2	Result	réussi	Result	outilUsed	C4	
		timer 30 s	tick 2	ap/f	2/0.1		
		Rbec	1.2	Etape	Ebauche		
	C3	Etape	Ebauche	Result	outilUsed	C5	
		Result	réussi	timer 30 s	tick 8		
	C4	Rbec	0.8	ap/f	1/0.4	C6	
		Choix Enregistrement	Oui	Etape	Ebauche		
	C4	timer 30 s	tick 3	Result	outilUsed	C7	
		Rbec	0.4	timer 30 s	tick 9		
		Vc	400	ap/f	2/0.1		
		ap/f	1/0.1	Etape	Ebauche		
		ap/f	1/0.16	Result	outilUsed		
		ap/f	1/0.25	Result	outilUsed		
		ap/f	2/0.25	ap/f	2/0.4		
		ap/f	2/0.16	ap/f	2/0.25		
		ap/f	2/0.1	ap/f	4/0.25		
		ap/f	1/0.1	ap/f	2/0.25		
		ap/f	1/0.16	timer 30 s	tick 10		
		timer 30 s	tick 4	ap/f	4/0.25		
		ap/f	1/0.1	ap/f	4/0.16		
		ap/f	2/0.1	ap/f	2/0.16		
		ap/f	4/0.1	Vc	200		
		ap/f	2/0.1	Vc	300		
		Vc	300	timer 30 s	tick 11		
		ap/f	4/0.1				
		Vc	200				
		ap/f	2/0.1				
	Vc	300					
	Etape	Finition					
C5	Result	réussi					
	timer 30 s	tick 5					
	Valider	Finition					
Bilan : ébauche + finition réussie 5 ticks			Bilan : ébauche non réussie 11 ticks 5 blocages 1 outil utilisé				

Tableau 80 : Traces « petit grain » du mini-jeu « l'as de la fab » des étudiants de l'IUT

Le tableau ci-dessus présente une partie relatant les actions des deux étudiants contrastés de l'IUT ("éF" « étudiant fort » et "éf" « étudiant faible ») dans l'utilisation du mini-jeu « l'as de la fab ». Nous allons maintenant examiner les résultats du duo d'étudiants "éF" et "éf".

Résultats de l'étudiant faible "éf"

Nous commençons, dans le cadre de cette étude par présenter les actions de l'étudiant faible "éf" (Cf. Colonne de droite du tableau 80). Les chroniques d'actions de cet étudiant recueillies au cours de cette séance (Cf. Annexe 41), montrent que "éf" marque des temps d'hésitation (*timer 30 s*) avant d'effectuer une action. En effet, nous remarquons dans le tableau ci-dessus (Cf. Tableau 80) que, dans la première chronique d'actions (Cf. Chronique d'actions C1), "éf" commence par un temps de réflexion (2 fois "*timer 30s*"). Ensuite, "éf" va modifier la variable didactique de commande (couple {profondeur de passe « Ap » - vitesse d'avance « f »}), puis "éf" marque encore un temps d'hésitation (1 fois "*timer 30 s*") avant de changer le couple {Ap-f}, ensuite il fait trois temps d'arrêt ("*timer 30s*") avant de retoucher aux paramètres {Ap et f}. A l'issue de cette manipulation, l'étudiant "éf" lance l'opération d'usinage qui débouche sur un blocage de la MOCN. Cette première chronique d'actions (C1) montre que "éf" n'a pas compris les critères de réalisation de la tâche expérimentale relative au choix des conditions de coupe car cet étudiant oublie de prendre en compte les valeurs pertinentes (vitesse de coupe V_c et rayon de bec de l'outil R_{bec}) déterminantes pour la réussite du jeu (considérées comme la variable de commande du mini-jeu « *l'as de la fab* »). Nous avons repéré lors des chroniques d'actions suivantes de "éf" (Cf. Chroniques d'actions C2 à C6) que seuls deux paramètres ({profondeur de passe « Ap » - vitesse d'avance « f »}) sont modifiés et que les deux autres paramètres ({vitesse de coupe « V_c » et rayon de bec de l'outil « R_{bec} »}) sont inchangés. Ce n'est qu'après six échecs successifs que la vitesse de coupe « V_c » va être enfin être changée lors de la dernière chronique d'actions (Cf. Chronique d'actions C7). Le rayon de bec de l'outil « R_{bec} » quant à lui ne sera pas du tout modifié ce qui explique que cet étudiant "éf" n'a jamais pu réussir ce mini-jeu. Ces échecs suggèrent que par défaut de connaissance "éf" ne décode pas quels sont les enjeux de savoirs implémentés dans le mini-jeu c'est-à-dire ceux liés à l'apprentissage des paramètres de coupe nécessaires pour réussir un usinage en ébauche. Notons que cet étudiant, tout comme l'élève faible de lycée de la classe de l'enseignant E1, n'abordera pas la problématique du choix des conditions de coupe pour la finition, car il ne réussira pas à franchir le cap de l'opération d'usinage en ébauche. Ainsi, l'ensemble des chroniques d'actions de "éf" nous laisse penser qu'il n'a pas repéré quelle est la situation proposée par ce mini-jeu. Nous faisons l'hypothèse que ces échecs successifs lors des essais réalisés proviennent d'une mauvaise compréhension de

l'importance de chaque paramètre. Nous constatons également un nombre de répétitions de temps d'arrêt importants (*timer 30 s*) lors de cette partie, il s'élève à 22 pour cet étudiant "éf". Nous pensons que, comme pour les élèves de lycée, ces temps d'arrêts sont des révélateurs de la difficulté dans laquelle s'est retrouvé cet étudiant "éf" pour la réalisation de cette situation offerte par ce mini-jeu « *l'as de la fab* ».

Pour conclure à propos de ces résultats de l'étudiant "éf" déclaré « *en difficulté scolaire* » par son enseignant, nous pouvons dire que l'analyse de ces actions a permis de pointer certaines tendances que nous résumons ainsi :

- Beaucoup d'erreurs successives sans modifier la stratégie (même en cas de dommages de la MOCN),
- Beaucoup de temps d'hésitations,
- Nombre de défaillances plus important (blocage de la MOCN, outil utilisé),
- Beaucoup plus de temps pour trouver comment configurer correctement l'ensemble des paramètres de coupe.

A la lumière de cette observation, nous pouvons proposer ce tableau de synthèse qui rassemble l'analyse des chroniques d'actions de l'étudiant "éf" lors de l'utilisation du mini-jeu « *l'as de la fab* ».

Critères	Remarques
Erreurs successives	6 fois avant de prendre en compte l'ensemble des paramètres (Vc et R bec pas touché)
Hésitations	22 fois "Timer" 30s
Erreurs importantes	2 fois : « blocage de la MOCN » 4 fois : « outil utilisé »
Réussite du mini-jeu	Aucune

Tableau 81 : Synthèse des actions de l'étudiant "éf" de l'IUT pour le mini-jeu « *L'as de la fab* »

Résultats de l'étudiant fort "éF"

Nous allons maintenant nous pencher sur les résultats de l'étudiant fort "éF" (Cf. Colonne de gauche du tableau 80). L'étude des chroniques d'actions de "éF", (Cf. Annexe 41) montre qu'il exploite son expertise pour répondre aux attentes du mini-jeu « *l'as de la fab* ». Le tableau ci-dessus fait apparaître que "éF" a, lors de sa première action (Cf. Chronique d'actions C1), réduit la vitesse de coupe de la MOCN ($V_c = 200$), action nécessaire pour réussir l'opération d'ébauche. Ensuite, "éF" va jouer sur le couple {profondeur de passe « A_p » - vitesse d'avance « f »} en modifiant les valeurs. Après avoir changé la vitesse de coupe V_c , "éF" va chercher à jouer sur le quatrième paramètre à savoir le rayon de bec « R_{bec} ». Suite à ces actions, l'étudiant "éF" lance l'opération d'usinage en ébauche qui sera réussie. Ses réussites sont engendrées, tout comme les "éF" de lycée, par de bonnes connaissances et une maîtrise des paramètres des conditions de coupe. Après avoir validé l'étape de l'ébauche (Cf. Chroniques d'actions C2 et C3), l'étudiant "éF" va réaliser l'étape de la finition (Cf. Chronique d'actions C4). Lors de cette opération de finition, la première action de "éF" consiste à réduire le rayon de bec « R_{bec} » ($R_{\text{bec}} = 0,4$) et à augmenter la vitesse de coupe « V_c » de la MOCN ($V_c = 400$), conditions nécessaires pour réussir cette opération de finition. Ensuite, "éF" va jouer sur le couple {profondeur de passe « A_p » - vitesse d'avance « f »} en modifiant les valeurs, recherchant l'efficacité optimale pour la finition. Contrairement à son camarade "éf", l'étudiant "éF" a repéré d'une part, les variables de commande du mini-jeu « *l'as de la fab* » (qui déterminent la réussite du jeu) et d'autre part il est capable de combiner ces paramètres pour pouvoir optimiser les conditions de coupe en ébauche et en finition. Il est également à noter que le nombre de temps d'arrêt (*timer 30 s*) lors de cette partie (P1) est relativement faible, il s'élève à cinq pour cet étudiant. Nous pensons que cet étudiant "éF" a tout à fait compris la situation de référence proposée par ce mini-jeu et qu'il a de suite repéré quels étaient les enjeux de savoir nécessaires à sa réussite. Il exploite ainsi l'ensemble des possibilités du mini-jeu en essayant d'affiner au maximum les critères afin d'atteindre les possibilités optimales de la MOCN. Au cours de cette partie cet étudiant ne fera aucune erreur, aucun échec ("outil usé" ou "blocage" de la MOCN). Pour conclure, l'étude des chroniques d'actions de cet étudiant "éF" nous laisse penser qu'il maîtrise parfaitement les variables de commande ainsi que l'enjeu du savoir de la situation de référence proposée par ce mini-jeu.

Tout comme nous l'avons fait pour l'étudiant "éf", nous pouvons dire pour cet étudiant "éF" que l'analyse de ses actions a permis de pointer certaines tendances que nous résumons ainsi :

- Nombre d'actions pour réussir une opération (ébauche ou finition) faible,
- Temps pour effectuer l'ébauche et la finition moins important,
- Peu d'hésitations,
- Pas d'erreurs dramatiques (aucun échec blocage de la MOCN, outil utilisé).

Le tableau 82 ci-après présente la synthèse des différents éléments relatifs à la stratégie de l'étudiant "éF" de l'IUT à propos de l'utilisation du mini-jeu « *l'as de la fab* ».

Critères	Remarques
Erreurs successives	Aucune
Hésitations	5 fois "Timer" 30s
Erreurs importantes	Aucune
Réussite du mini-jeu	En 18 fois l'ensemble des paramètres de coupe ont été choisis et validés

Tableau 82 : Synthèse des actions de l'étudiant "éF" de l'IUT pour le mini-jeu « *L'as de la fab* »

3.1.4. Conclusion relative aux stratégies du duo d'étudiants contrastés de l'IUT

Lors de cette étude des traces de type « petit grain » liées à l'utilisation du mini-jeu « *l'as de la fab* » à l'IUT, nous avons pu mettre en lumière certains constats que nous allons maintenant mettre en perspective au regard de la partie empirique de notre étude au lycée. Cette section fera une synthèse des stratégies des deux étudiants contrastés ("éF" et "éf") de l'IUT en autonomie face au mini-jeu « *l'as de la fab* ». Nous concluons cette section en discutant des similitudes de cette étude des chroniques d'actions des étudiants de l'IUT avec celle du lycée. Nous allons donc décrire de nouveau très brièvement l'étude des chroniques d'actions de "éf" que nous avons longuement analysé précédemment. Nous prélevons simplement les éléments qui nous semblent pertinents à rappeler dans cette conclusion. "éf" va connaître beaucoup d'échecs qui proviennent d'un manque de maîtrise des variables de commande du mini-jeu de « *l'as de la fab* ». Certaines valeurs pertinentes comme la vitesse de coupe (V_c) et le rayon de

bec de l'outil (R bec) qui, rappelons-le sont déterminantes pour la réussite du jeu, ne sont pas sélectionnées¹¹². Lors de l'utilisation de ce mini-jeu "éf" ne prendra pas en compte tous les paramètres de coupe nécessaires à la réussite de l'opération d'usinage en ébauche, de ce fait il ne pourra pas effectuer l'étape relative à la finition. Un autre aspect déjà repéré dans la section précédente pour les élèves de lycée apparaît de nouveau, il concerne les temps d'hésitations (*timer 30 s*) qui restent importants pour "éf" surtout lors de la première chronique d'actions (Cf. Chronique d'actions C1).

Nous en venons maintenant à la synthèse de l'étude des chroniques d'actions de "éF" qui nous permet d'identifier les informations importantes pour cette conclusion. Comme nous l'avons vu dans les analyses, l'incertitude de "éf" face aux variables de commande du mini-jeu de « *l'as de la fab* » et aux savoirs y est beaucoup plus faible que pour son collègue "éf". Nous pouvons raisonnablement constater que la stratégie de "éF" lui permet de « gagner au jeu » de manière rapide et concise. Nous faisons également une remarque sur les faibles temps d'hésitation (*timer 30 s*) de "éF" avant d'effectuer ses actions.

Ceci étant posé, nous pouvons faire un bilan de cette section de l'analyse « petit grain » des actions des deux élèves contrastés ("éF" et "éf"). Si la situation décrite ici est certes assez caricaturale, elle permet d'éclairer les similitudes des stratégies des élèves qui adviennent à propos de l'utilisation du mini-jeu « *l'as de la fab* ». Nous allons maintenant synthétiser les points de comparaisons entre ces duos d'élèves contrastés de deux sites différents (lycée et IUT) qui utilisent un même mini-jeu. Nous pouvons déjà établir une première règle qui concerne la manière de jouer à ce mini-jeu. Nous percevons dans l'analyse des chroniques d'actions des élèves "éF" une incertitude relativement faible. Les actions des "éF" sont rapides et pertinentes accompagnées de peu de temps d'hésitations donnant des réussites successives. Un autre aspect est aussi mis en évidence par le fait que les élèves "éF" des deux sites abordent la problématique des conditions de coupe pour les deux opérations (ébauche et finition). Nous avons aussi mis en évidence des similitudes des élèves faibles dans les classes des deux sites observés. Nous pouvons dire que le réglage des valeurs critiques au regard de la compétence d'usinage visée ne semble jamais être identifié par ces élèves comme étant l'élément clé de la réussite du mini-jeu. Les chroniques d'actions des "éf" dévoilent un cheminement confus et incertain vers la solution qui est notamment repérable par la multiplicité des erreurs et

¹¹² La vitesse de coupe V_c ne sera modifiée que lors de la dernière chronique d'actions (C7).

des échecs successifs qu'ils rencontrent lors de l'utilisation de ce mini-jeu. Très souvent, les "éF" ne réussissent pas la première opération d'usinage demandée (à savoir l'ébauche) et n'identifient pas la solution à leur problème. Ils ne prenant pas en compte tous les paramètres de coupe et marquent de nombreux temps d'hésitation (*timer 30 s*) avant d'effectuer une action. De plus, les "éF" abordent rarement la problématique de l'usinage en finition.

L'analyse des traces de type « petit grain » liée à l'utilisation du mini-jeu « *l'as de la fab* » à l'IUT a permis de pointer certaines tendances qui font écho avec les résultats que nous avons recueillis suite à l'étude que nous avons menée au lycée. Ce premier constat nous amène à faire quelques remarques sur la situation de la classe. Tout d'abord, il s'agit de constater qu'à l'IUT, l'enseignant laisse les élèves en autonomie quasi totale. Ainsi, l'utilisation du mini-jeu « *l'as de la fab* » se produit dans des circonstances très différentes de celles du lycée, pourtant les résultats que nous avons recueillis suite à l'étude des actions des deux élèves contrastés ("éF" et "éF") dans les classes mettent en relief de nombreuses similitudes. Deux interprétations peuvent être avancées :

- Les élèves faibles en lycée, dont nous avons vu qu'ils étaient peu attentifs, ou peu sensibles aux consignes d'action énoncées par le professeur, font finalement un usage de Mecagenius en quasi autonomie comme les étudiants de l'IUT, ils rencontrent les mêmes difficultés.
- Les élèves forts du lycée et à l'IUT trouvent dans les mini-jeux les rétroactions nécessaires pour développer des stratégies de jeu gagnantes et donc construisent les savoirs et les compétences visées. Pour ceux du lycée qui se rendent attentifs aux solutions apportées par les professeurs la production d'actions efficaces est renforcée.

A la lumière de cette comparaison, nous proposons de poursuivre notre étude de type « petit grain » avec l'étude des étudiants de l'université afin de confirmer ou d'infirmer ces traits.

3.2. Les étudiants de l'Université

Après ce tour d'horizon des différents types de traces et de leurs liens avec les diverses stratégies des élèves de deux sites, nous allons examiner successivement dans ce qui suit, à partir des traces produites par les étudiants de l'université, les stratégies utilisées par ces derniers lorsqu'ils sont confrontés aux savoirs cristallisés dans le mini-jeu « *le roi de la pref* » (Cf. Annexe 42 à 43).

3.2.1. Contexte de l'activité des étudiants de l'université

Après avoir organisé les groupes d'étudiants de licence 3, les deux enseignants (E1 et E2) de l'université donnent la consigne relative au choix du mini-jeu « *le roi de pref* ». Ensuite, ils les invitent à explorer ce mini-jeu en autonomie totale pendant qu'ils prennent en charge les autres groupes en situation de fabrication sur les MOCN. Cette utilisation de Mecagenius a été mise en place par ces enseignants pour leur permettre d'avoir un fonctionnement plus souple¹¹³ lors des travaux pratiques sur les MOCN. Le mini-jeu est donc utilisé par ces deux enseignants comme « *un complément d'enseignement sur la mise en œuvre des MOCN* ». Rappelons qu'à l'issue de l'analyse macroscopique nous avons conclu que l'usage « satellite » de ce mini-jeu était en articulation avec les travaux pratiques sur les MOCN et que le caractère ludique était perçu comme une variable pédagogique permettant d'aborder les méthodes de réglage sans risque eu égard de la MOCN, tout en mobilisant les étudiants (Cf. analyses macroscopique et microdidactique - Chapitre 2). Dans les sections qui suivent les étudiants étant en autonomie totale nous ne spécifions pas quels sont leurs enseignants.

¹¹³ Groupes allégés lors des TP sur les MOCN du fait qu'un des groupes utilise Mecagenius

3.2.2. Etude des traces de type « petit grain » des étudiants de l'université

Comme pour les sections précédentes, la population étudiée dans ce site concerne toujours un « étudiant fort » “éF” et un « étudiant faible » “éF”. Pour cette étude des traces de type « petit grain » des étudiants de l'université nous nous sommes préoccupé uniquement des données relatives au mini-jeu « *le roi de pref* », celui dont l'utilisation a été demandée par les enseignants au début du TP. Bien entendu, durant cette séance en autonomie les étudiants ont exploré plus ou moins longtemps d'autres mini-jeux, l'analyse fine des bandes-vidéo ainsi que les différents indices rendant compte chronologiquement du détail des actions effectuées le confirment. Cette remarque est d'autant plus cruciale quand on observe des séances ordinaires car elle permet aussi de comprendre pourquoi les temps d'utilisation et d'attente peuvent varier entre les étudiants observés (voir ci-après). Après avoir souligné une nouvelle fois l'aspect exploratoire de leur activité selon nous lié aux différentes dimensions ludiques offertes par le *serious game* (Cf. Les indices temporels globaux d'utilisation des mini-jeux en phase de découverte au lycée), nous abordons la question de l'étude des traces de type « petit grain » relatives au mini-jeu « *le roi de pref* ». Rappelons rapidement que, dans ce mini-jeu, le joueur doit déplacer la tourelle de la MOCN jusqu'à la pièce à usiner en utilisant les diverses commandes : axes de déplacement (X ; Z) ; sens (- ; +). Le joueur a aussi la possibilité de modifier l'incrément afin de faire varier la distance de déplacement et pouvoir ainsi diminuer le nombre de coups. Il est également demandé un calcul vectoriel relatif à « la prise de référence ». Ainsi, l'enjeu d'apprentissage mais aussi l'obstacle didactique de ce mini-jeu résident dans le choix de bons incréments associés aux axes correspondants pour un accostage précis n'entraînant pas la détérioration du palpeur. Des contraintes ludiques (limite de temps et limite du nombre de coups) permettent de proposer graduellement des difficultés pour contraindre l'étudiant à optimiser les réglages.

A propos de ce même mini-jeu, nous nous sommes penché dans les sections qui précèdent, sur l'analyse « petit grain » des actions de deux élèves contrastés dans les classes d'un enseignant de lycée (enseignant E1). Cette étude inaugurale a permis au lecteur de se rendre familier avec cette approche d'étude des chroniques d'actions des élèves. A l'université, nous sommes en présence de six groupes étudiés soit douze étudiants contrastés. La réduction des données est ici inévitable pour permettre d'avoir une vision claire de l'ensemble des traces recueillies.

Nous avons donc choisi, dans cette section, pour traiter des stratégies de ces duos d'étudiants aux prises avec ce mini-jeu, de fournir une description de niveau plus générique qui permet de bien synthétiser leurs actions. Pour cela nous proposons un tableau de synthèse qui permet de saisir rapidement, « ce qui se joue » à travers les différentes séances d'utilisation de ce même mini-jeu.

Pour établir ce tableau de condensation des données nous nous sommes appuyé sur la description détaillée des chroniques d'actions des douze étudiants afin d'identifier des traits récurrents permettant de rendre compte des stratégies utilisées. Nous présentons dans les sections suivantes les résultats de cette analyse de second degré. Il s'agit aussi, dans le même mouvement, de mettre à l'épreuve les conclusions tirées de l'utilisation de ce même mini-jeu au lycée (Cf. Etude des traces de type « petit grain » du « *roi de la pref* » des élèves contrastés de la classe de l'enseignant E1). Nous nous attachons à repérer à partir des données collectées (Cf. Annexes 42 à 43), les stratégies de jeu mises en œuvre et les trajectoires différentielles qui en résultent.

3.2.3. Etude des traces de type « petit grain » du « *roi de la pref* »

Dans le tableau ci-après, les deux étudiants contrastés de chaque groupe sont présentés horizontalement et distingués : la couleur grise des cellules correspond aux «éF», les cellules blanches rendent compte des «éf». Les étudiants forts et faibles sont suivis de la lettre du groupe (exemple «éF-a» est l'étudiant fort du groupe A).

Groupe	Elèves	Points Temps de réglage Remarques	Niveau de jeu débutant	Niveau de jeu confirmé	Niveau de jeu expert	
A	“éF”-a	Nombre - Points	6 fois - 50 pts	18 fois - 200 pts	0 fois - 0 pts	
		Temps de réglage	15,25 s - 15 coups	8,55 s - 20 coups		
		Faits marquants	erreur de signe (2) erreurs de calcul (3)	palpeur cassé (2) Erreur time out (44)		
	Séance 8/04/11	“éf”-a	Nombre - Points	2 fois - 50 pts	0 fois - 0 pts	9 fois - 600 pts
			Temps de réglage	26,6 s - 24 coups		8,5 s - 15 coups
			Faits marquants	erreur de signe (1)		manque de précision (2)
B	“éF”-b	Nombre - Points	3 fois - 100 pts	1 fois - 100 pts	1 fois - 200 pts	
		Temps de réglage	21,23 s - 23 coups	13,8 s - 18 coups	9,1 s - 16 coups	
		Faits marquants	erreur de calcul (1)			
	Séance 7/04/11	“éf”-b	Nombre - Points	3 fois - 50 pts	0 fois - 0 pts	0 fois - 0 pts
			Temps de réglage	19,8 s - 26 coups		
			Faits marquants	erreur de signe (1) erreur de calcul (1)		
C	“éF”-c	Nombre - Points	2 fois - 50 pts	2 fois - 100 pts	4 fois - 200 pts	
		Temps de réglage	38,05 s - 42 coups	13,2 s - 33 coups	8,3 s - 13 coups	
		Faits marquants	erreur de signe (1)		erreurs timeout (1) manque de précision (1)	
	Séance 6/04/11	“éf”-c	Nombre - Points	2 fois - 50 pts	3 fois - 100 pts	7 fois - 200 pts
			Temps de réglage	60,05 s - 66 coups	11 s - 23 coups	11,9 s - 17 coups
			Faits marquants	erreur de signe (1) erreurs de calcul (1)		erreurs timeout (3) erreurs de calcul (2)
D	“éF”-d	Nombre - Points	0 fois - 0 pts	5 fois - 300 pts	0 fois - 0 pts	
		Temps de réglage		11,26 s - 8 coups		
		Faits marquants		erreur timeout (1)		
	Séance 21/04/11	“éf”-d	Nombre - Points	0 fois - 0 pts	7 fois - 100 pts	0 fois - 0 pts
			Temps de réglage		12,2 s - 21 coups	
			Faits marquants		palpeur cassé (1) erreurs de calcul (3)	
E	“éF”-e	Nombre - Points	1 fois - 50 pts	1 fois - 100 pts	1 fois - 200 pts	
		Temps de réglage	13,7 s - 16 coups	10,6 s - 16 coups	11,2 s - 16 coups	
		Faits marquants				
	Séance 27/04/11	“éf”-e	Nombre - Points	4 fois - 0 pts	0 fois - 0 pts	9 fois - 400 pts
			Temps de réglage	24,9 s - 63 coups		9,7 s - 14 coups
			Faits marquants	palpeur cassé (1) erreurs de signe (2)		erreurs timeout (3) erreurs de signe (1) manque de précision (2)
F	“éF”-f	Nombre - Points	3 fois - 100 pts	2 fois - 0 pts	4 fois - 400 pts	
		Temps de réglage	26,75 s - 37 coups	12 s - 25 coups	13,3 s - 18 coups	
		Faits marquants		erreur de signe (1)	erreur time out (1)	
	Séance 20/04/11	“éf”-f	Nombre - Points	6 fois - 50 pts	0 fois - 0 pts	0 fois - 0 pts
			Temps de réglage	33,4 s - 92 coups		
			Faits marquants	palpeur cassé (2) erreurs de calcul (2)		

Tableau 83 : Condensation des traces de type « petit grain » liées au mini-jeu « le roi de la pref » licence 3 génie mécanique.

Ce tableau de condensation des données présente les résultats de l'analyse des 12 étudiants contrastés observés lors de six groupes de TP. Nous n'avons retenu de la complexité de notre corpus que les éléments de synthèse utiles à notre discussion. Ce tableau est un ensemble organisé qui regroupe les informations permettant d'inscrire l'interprétation dans la continuité de nos préalables études (lycée et IUT). Il rassemble les indicateurs les plus pertinents extraits de l'analyse des chroniques d'actions des étudiants contrastés "éF" et "éf" des 6 groupes observés. Il s'agit ici d'identifier les stratégies opérées par ces étudiants. Nous fournissons également en annexe (Cf. Annexes 43 à 47) les traces de type « petit grain ».

Pour chaque étudiant le tableau indique : la moyenne des temps de réglage de la MOCN, la moyenne des nombres de coups effectués pour réussir ce réglage. Nous avons ajouté à cette condensation des données les informations concernant les résultats "gros grain" : le nombre de fois que l'étudiant a joué à ce jeu (nombre), le nombre de points cumulés (points), ainsi que les erreurs et problèmes rencontrés rapportés dans la ligne faits marquants (les valeurs entre parenthèses indiquent le nombre de fois que l'erreur ou le problème sont rencontrés). Ces indications relèvent des mêmes indicateurs que ceux utilisés dans les analyses effectuées en lycée et à l'IUT. En effet, nous avons vu que seule l'analyse de type « petit grain » permet de faire émerger finement les difficultés ou réussites communes rencontrées et les façons différentes que trouvent les élèves pour les surmonter ou les contourner, nous pensons cependant intéressant de resituer ces informations au regard de l'analyse de type « gros grain ».

Résultats des étudiants forts "éF"

Nous souhaitons commencer l'analyse des stratégies des "éF" en rappelant que la maîtrise de l'étape de réglage de la MOCN est fonction de l'ajustement des axes de déplacement (X ; Z) ainsi que du choix des incréments, cela se traduit par un nombre de coups suffisant et des temps de réglages corrects (Cf. description présentée pour le lycée).

Le tableau suivant indique pour chaque "éF" les temps de réglages de la MOCN ainsi que le nombre de coups effectués pour ce réglage, il permettra au lecteur de faire rapidement le point sur les différences existantes.

Elèves	Niveau de jeu débutant	Niveau de jeu confirmé	Niveau de jeu expert
“éF”-a	15,25 s - 15 coups	8,55 s - 20 coups	Non joué
“éF”-b	21,23 s - 23 coups	13,8 s - 18 coups	9,1 s - 16 coups
“éF”-c	38,05 s - 42 coups	13,2 s - 33 coups	8,3 s - 13 coups
“éF”-d	Non joué	11,26 s - 8 coups	Non joué
“éF”-e	13,7 s - 16 coups	10,6 s - 16 coups	11,2 s - 16 coups
“éF”-f	26,75 s - 37 coups	12 s - 25 coups	13,3 s - 18 coups
Moyennes	23 s - 27 coups	11,56 s - 20 coups	10,47 s - 16 coups

Tableau 84 : Temps de réglage/nombre de coups des “éF” par niveau de jeu pour « le roi de la pref »

Détaillons la lecture de ce tableau. En comparant les données relatives aux temps de réglage de la MOCN pour le niveau débutant (première colonne), nous constatons, d’abord, que les durées des réglages varient entre les “éF” des différents groupes. La moyenne de temps de réglage est de 23 s. Pour “éF”-c elle atteint une durée de 38 s (soit 65 % d’augmentation par rapport à la moyenne). Pour “éF”-e par exemple, la durée de réglage est deux fois moins longue avec 13,7 s (40 % de moins par rapport à la moyenne). Conformément à ce que nous avons indiqué ci-dessus, ces écarts sont le reflet des choix d’ajustements des axes de déplacement (X ; Z) et des incréments différents. De même, nous retrouvons des conclusions similaires à propos du nombre de coups, ce résultat est logique car le temps de réglage de la MOCN est fonction du nombre de coups effectués. Pour résumer, ces résultats mettent en lumière que les stratégies mises en œuvre par les étudiants peuvent être différentes lors de l’utilisation d’un même mini-jeu et au niveau de jeu similaire. Nous pouvons faire l’hypothèse que les “éF” n’interprètent pas de la même façon la situation d’apprentissage proposée par ce mini-jeu ; cela se traduit par des dynamiques différentielles qui rendent compte de stratégies variées, nous y reviendrons dans les sections suivantes à travers la conclusion de la contribution au programme cognitif. Autrement dit, le *serious game* ne fait pas « milieu » de la même façon pour ces étudiants-là. Enfin, nous constatons que “éF”-d n’utilise pas ce niveau de jeu (niveau débutant). Regardons maintenant, si ces différences pour le niveau de jeu débutant existent pour les autres niveaux de jeu (confirmé et expert). Les résultats mettent en évidence qu’elles sont moins accentuées que pour le niveau de jeu débutant. En effet, pour le niveau de jeu confirmé, les écarts des temps de réglage de la MOCN par rapport à la moyenne sont moins importants (26 % de moins que la moyenne pour “éF”-a et 19 % de plus pour “éF”-b). Il en est de même pour le niveau expert où nous relevons des écarts des temps de réglage plus

faibles par rapport à la moyenne. Nous pouvons distinguer que deux étudiants (“éF”-d et “éF”-a) n’utilisent pas ce niveau de jeu expert. Il apparaît clairement que les stratégies de mises en œuvre par les étudiants (durée de réglage, nombre de coups) sont différentes lors de l’utilisation d’un même mini-jeu quel que soit le niveau de jeu. La comparaison fait cependant apparaître un trait commun : l’amélioration des temps de réglage et du nombre de coups au fur et à mesure du passage du niveau de jeu débutant au niveau expert. (Cf. Moyennes observées, tableau 84). Examinons maintenant les résultats des étudiants faibles au cours de l’utilisation du même mini-jeu. Pour cela nous allons étudier les stratégies des “éF” dans la section suivante.

Résultats des étudiants faibles “éF”

Etudiants	Niveau de jeu débutant	Niveau de jeu confirmé	Niveau de jeu expert
“éF”-a	26,6 s - 24 coups	Non joué	8,5 s - 15 coups
“éF”-b	19,8 s - 26 coups	Non joué	Non joué
“éF”-c	60,05 s - 66 coups	11 s - 23 coups	11,9 s - 17 coups
“éF”-d	Non joué	12,2 s - 21 coups	Non joué
“éF”-e	24,9 s - 63 coups	Non joué	9,7 s - 14 coups
“éF”-f	33,4 s - 92 coups	Non joué	Non joué
Moyennes	32,95 s - 54 coups	11,6 s - 22 coups	10,03 s - 16 coups

Tableau 85 : Temps de réglage/nombre de coups des “éF” par niveau de jeu pour « *le roi de la pref* »

De la même façon que pour les résultats précédents, nous allons étudier les données relatives aux temps de réglage de la MOCN et au nombre de coups nécessaires pour cette opération-là. Il est important de noter que pour les “éF” nous avons, comme pour les “éF”, de grandes variabilités des durées de réglage entre les différents groupes. Pour le niveau débutant, nous repérons notamment que, dans ce tableau, les valeurs atteignent des durées de réglage importantes (60,05 s) pour “éF”-c soit, près de 50 % de plus que la moyenne des “éF”. Il s’agit bien ici de voir « ce qui fait signe » au-delà des variations interindividuelles de ces “éF” dans ce niveau de jeu débutant. Pour le niveau confirmé, nous repérons également des écarts entre les temps de réglage de la MOCN, mais ce qui est le plus marquant c’est que seuls les étudiants (“éF”-c et “éF”-d) utilisent ce niveau confirmé. Regardons maintenant, comment les “éF” parcourent le niveau de jeu expert. Notons en premier lieu que les variations interindividuelles

des temps de réglage diminuent et sont sensiblement situées autour de la moyenne des quelques élèves qui jouent à ce niveau de jeu (c'est aussi le cas au niveau de jeu confirmé pour "éf"-c et "éf"-d). Ce qui nous paraît le plus significatif c'est qu'un seul élève parcourt tous les niveaux de jeu ("éf"-c). Beaucoup d'entre eux ne jouent pas au niveau de jeu confirmé et expert, "éf"-b et "éf"-f ne jouent à aucun des deux. Ces derniers constats pointent des différences interindividuelles selon les niveaux de jeu. L'interprétation de ces deux tableaux (Cf. Tableaux 83 et 84) semble montrer que les stratégies des étudiants ne sont pas tout à fait de la même nature. Comparons donc maintenant, les stratégies des élèves forts et des élèves faibles.

Comparaison des résultats des étudiants "éF" et "éf"

	Niveau de jeu débutant	Niveau de jeu confirmé	Niveau de jeu expert
Nombre de parties non jouées "éF"	1	0	2
Nombre de parties non jouées "éf"	1	4	3
Moyennes des "éF"	23 s - 27 coups	11,56 s - 20 coups	10,47 s - 16 coups
Moyennes des "éf"	32,95 s - 54 coups	11,6 s - 22 coups	10,03 s - 16 coups

Tableau 86 : Tableau de comparaison "éF" et "éf" par niveau de jeu pour « le roi de la pref »

Le tableau ci-dessus propose de considérer de manière synoptique le couple {temps de réglage - nombre de coups} et le nombre de parties non-jouées entre les "éf" et les "éF" selon les trois niveaux de jeu du mini-jeu « le roi de la pref » qui apparaissent comme un indicateur des stratégies mises en œuvre. Ce tableau donne à voir les différences entre ces étudiants contrastés, son analyse nous amène à proposer les observations suivantes :

- Le couple {temps de réglage - nombre de coups} relève d'une stratégie gagnante plus efficace pour les "éF" au niveau de jeu débutant. Par contre pour les deux autres niveaux de jeu (confirmé et expert) il n'y a pas de différences notoires.
- Le nombre d'étudiants qui ne jouent pas au niveau de jeu confirmé et expert est plus élevé pour les "éf", pour le niveau de jeu expert cette différence est moins importante.

Ces résultats semblent confirmer certaines tendances que nous avons pu relever au lycée à l'occasion de l'analyse de cas d'élèves confrontés à ce même mini-jeu¹¹⁴. A la lumière de cette comparaison, nous allons proposer un tableau de synthèse qui rassemble l'ensemble des tableaux produits jusqu'ici dans la perspective de donner à voir les différences de dynamique d'apprentissage entre les étudiants et de repérer des indices des stratégies de jeu utilisées. Ce point fera l'objet de discussion dans la section suivante où nous présentons en guise de conclusion l'étude comparative entre les "éf" et les "éF" de l'université à propos de l'utilisation de ce mini-jeu « *le roi de la pref* ».

Mini-jeu « <i>le roi de la pref</i> »												
Elèves / Stratégies	éF-a	éf-a	éF-b	éf-b	éF-c	éf-c	éF-d	éf-d	éF-e	éf-e	éF-f	éf-f
Temps de réglage débutant	+++ (15 s)	+ (27 s)	++ (21 s)	++ (20 s)	- (38 s)	--- (60 s)	Non joué	Non joué	++ +	++ (25 s)	+ (27 s)	- (33 s)
Temps de réglage confirmé	+++ (8,6 s)	Non joué	--- (14 s)	Non joué	-- (13 s)	+ (11 s)	- (11 s)	-- (12 s)	+ (10 s)	Non joué	-- (12 s)	Non joué
Temps de réglage expert	Non joué	++ +	++ (9,1 s)	Non joué	++ +	- (12 s)	Non joué	Non joué	- (11 s)	+ (10 s)	-- (12 s)	Non joué
Faits marquants Palpeur cassé	-							-		-		--
Faits marquants Erreur calcul	---		-	-		---		---				--
Faits marquants Manque précision		--		-						--		
Faits marquants Erreur de signe	--				-					--		
Faits marquants Erreur <i>timeout</i>	---				-	---				---		-

Tableau 87 : Tableau de synthèse des stratégies de jeu utilisées par "éF" et "éf"

L'intérêt de ce tableau réside dans sa potentialité comparative, il rend compte des différences à plusieurs niveaux entre les duos d'élèves contrastés. Nous notons que les temps de réglages varient et que certains faits marquants présentent des écarts significatifs. Nous allons nous attarder dans la section suivante sur la description de ces différences.

¹¹⁴ Rappelons qu'au lycée "éF" (par rapport à "éf") met peu de temps pour venir palper la face de la pièce. Le nombre de coups utilisés pour obtenir le réglage est relativement faible et le choix des incréments est judicieux. "éF" de par ses actions obtient des réussites relativement rapides avec des temps de réglages relativement courts.

3.2.4. Conclusion relative aux stratégies des étudiants contrastés de l'université

Dans cette section nous revenons sur les faits marquants relatifs aux erreurs des élèves faibles et forts dans ce mini-jeu. Nous commençons, dans le cadre de cette analyse des stratégies des étudiants “éf” déclarés par leurs enseignants comme étant en difficulté. Nous rappelons brièvement que les remarques mises au jour lors de l'étude des “éf” (Cf. Tableau 85) concernent l'absence d'utilisation de certains niveaux de jeu (confirmé et expert) ainsi que des temps de réglage et nombre de coups utilisés plus longs. Il nous paraît pertinent de repérer aussi dans le tableau de synthèse (Cf. Tableau 83) certaines erreurs « marquantes » (erreur palpeur cassé) notamment pour les “éf-d”, “éf-e” et “éf-f”. Ces échecs plaident en faveur d'un manque de maîtrise de l'étape de réglage de la MOCN qui se manifeste par un accostage trop brutal entraînant la casse du palpeur. Nous pouvons aussi relever des erreurs de type « manque de précision » plus élevées pour les étudiants “éf”. Ces deux types d'erreurs nous amènent à penser que l'ajustement des axes de déplacement (X ; Z) et le choix des incréments ne sont pas identifiés par ces étudiants comme étant des critères décisifs pour la réussite de la tâche puisqu'ils vont jusqu'à faire des erreurs irréversibles (palpeur cassé). Rappelons que nous avons vu dans l'analyse *a priori* de mini-jeu qu'il s'agissait de critères centraux dans l'acquisition d'une compétence d'usinage. Ces constats renvoient aux difficultés récurrentes que rencontrent les étudiants (Cf. Chapitre 1: L'étude des besoins des enseignants), qui n'arrivent pas à identifier et/ou à maîtriser les axes de déplacement (X ; Z), les sens (- ; +)¹¹⁵ ainsi que l'incrément¹¹⁶. Ces compétences ne sont pas encore maîtrisées, l'absence de prise en compte de la variable incrémentielle de la MOCN et les tâtonnements successifs qui débouchent sur des erreurs (palpeur cassé ; manque de précision) suggèrent que la compétence visée dans ce mini-jeu est pour le moins en début de développement. Rappelons que pour atteindre cette compétence visée dans ce mini-jeu « *Procéder à des réglages (PREF et DEC)* », il est nécessaire que les étudiants puissent mobiliser *a minima* des savoirs relatifs aux notions d'axes et de sens tel que ceux impliqués dans la compétence du curriculum de formation en génie mécanique : « *Se déplacer en manuel sur une MOCN* ». De façon générale, les stratégies des élèves faibles re-

¹¹⁵ Cela se traduit par des “erreurs de signe” plus importantes pour les “éf” (Cf. Tableau 79).

¹¹⁶ Pour réussir cette manipulation la solution réside dans le choix d'un grand déplacement dès le départ afin de pouvoir déplacer la tourelle rapidement, puis il faut ensuite réduire l'incrément afin d'affiner l'accostage

posent sur une succession d'essais-erreurs pour arriver au résultat attendu et ont pour incidence un nombre de coups trop élevé (liés à des déplacements trop réduits de la tourelle) ou la détérioration du palpeur (en raison de déplacements trop importants). Autrement dit, cette stratégie de jeu correspond à une suite de petites valeurs de déplacement pour déplacer à vitesse constante la MOCN et donc de limiter la casse de cette dernière.

Nous pouvons raisonnablement penser que ces difficultés représentent des obstacles pour les étudiants "éF" ce qui les empêche de produire les stratégies attendues par le milieu didactique qui leur est proposé ici le mini-jeu « *le roi de la pref* ». Est-ce à dire que ce mini-jeu ne fournit pas les rétroactions nécessaires pour l'étude des étudiants les plus faibles s'exerçant en autonomie ? Nous reviendrons sur cette question dans la conclusion de ce chapitre. Par ailleurs l'analyse pointe que ces étudiants ont cliqué plus souvent que les élèves forts sur « l'aide » lors des parties jouées sur ce mini-jeu. Cette stratégie de jeu conduit le joueur à s'appuyer sur les réponses fournies dans le mini-jeu pour surmonter ses problèmes ce qui ne permet pas de trancher quant à la construction la compétence visée.

Nous allons voir maintenant quelles sont les stratégies qui sont spécifiquement mobilisées par les "éF". Ces stratégies sont très différentes de celles que nous venons d'examiner. Tout d'abord selon une approche « gros grain », nous constatons que pour les "éF" les scores, au regard du nombre de fois qu'ils ont utilisé le mini-jeu, sont de manière générale plus élevés. Ceci corrobore les résultats que nous avons trouvés lors des chapitres précédents (lycée et IUT). Nous pouvons souligner que ces étudiants testent presque tous les niveaux de jeu en marquant des points dans chacun d'entre eux. Comme nous avons pu le voir lors de la comparaison des résultats des étudiants "éF" et "éF", les étudiants forts utilisent notamment davantage le niveau de jeu « confirmé » et un peu plus le niveau « expert », mini-jeu le plus difficile. Nous constatons également l'existence des stratégies de jeu qui consistent à une accumulation de points (*farming*) chez certains étudiants restant beaucoup de temps sur un même niveau de jeu pour augmenter leur score (600 points pour "éF-a"). Cette stratégie est aussi présente au lycée.

Selon l'approche plus fine de type « petit grain » nous observons que le couple {temps de réglage - nombre de coups} est meilleur pour les "éF" (Cf. Tableau de comparaison des résultats des étudiants "éF" et "éF"). Comme pour les élèves de lycée, au regard des savoirs visés dans ce mini-jeu, les actions des "éF" peuvent se résumer par un nombre de coups

utilisés faible pour obtenir le réglage de la MOCN et par conséquent des temps de réglage beaucoup plus courts.

Pour résumer, nous pouvons dire que d'une manière générale, l'analyse de ces traces de type « petit grain » liée à l'utilisation du mini-jeu « *le roi de la pref* » à l'université a permis de pointer des stratégies qui font écho avec celles que nous avons pointées lors de l'étude menée au lycée. Mais, nous avons vu que cette étude des chroniques d'actions des étudiants présente la particularité du contexte didactique de la classe dans laquelle s'est déroulée l'utilisation de ce mini-jeu. Ce contexte caractérisé par l'autonomie « imposée » par les deux enseignants de l'université est totalement différent de celui que nous avons pu rencontrer au lycée. Nous reviendrons sur ce point dans la prochaine section.

L'usage de Mecagenius en autonomie totale à l'université, nous conduit à la remarque suivante : les chroniques d'actions produites sont le reflet du jeu de l'étudiant autonome et expérimentateur. Ces étudiants engagés dans le serious game font des expériences, découvrent un nouvel univers lié à leur choix d'orientation professionnel en génie mécanique, développent leur autonomie au regard de l'usage réel de la MOCN qu'ils auront avec leur enseignant lors de la suite du TP. Il reste que leur activité dans le jeu n'est jamais médiée par le professeur contrairement au lycée où nous avons vu que par son intervention « didactise » le milieu proposé par le serious game (parfois en dirigeant très fortement le mini-jeu).

Toutefois, les étudiants placés en autonomie ne sont pas sans avoir quelques interactions avec les autres joueurs. Les enregistrements vidéo montrent que de multiples échanges entre les étudiants apparaissent. Nous ne les avons pas inclus dans notre protocole de recherche. Les traces verbales des documents vidéo n'étant pas toujours suffisamment exploitables en termes de transcription. C'est sans doute une limite de cette étude et il nous semble qu'une perspective de recherche pourrait être de prendre en compte dans la description ces différentes coopérations qui peuvent à l'arrivée modifier les chroniques d'actions des étudiants. Nous pensons que ces échanges et le fait que les «éf» fassent des impasses sur certains niveaux de jeu (niveau confirmé notamment et expert) peuvent être expliqués du fait de la faiblesse des rétroactions des mini-jeux pour ces élèves-là. En effet, il semble que les étudiants ne trouvent pas dans ce milieu les objets spécifiques qui leur permettraient de jouer et gagner aux différents jeux d'apprentissage spécifiques voulus par le *serious game*.

4. Conclusion sur les stratégies des élèves et des étudiants : contribution au programme cognitif

Dans cette conclusion nous mettons en perspective les principaux résultats discutés dans ce chapitre. Il s'agit de revenir brièvement sur les synthèses conduites précédemment. Nous avons abordé dans ce chapitre l'étude des stratégies des élèves aux prises à l'ensemble des mini-jeux puis à deux mini-jeux. Dans cette approche exploratoire, nous avons dans un premier temps analysé l'utilisation de l'ensemble des mini-jeux dans les activités de découverte proposées par les enseignants de lycée. Cette première étude « globale » nous a permis de relever certaines tendances mais elles ne constituent pas un élément fondamental pour comprendre les stratégies des élèves. Dans un deuxième temps, nous nous sommes intéressés à l'analyse « gros grain » puis « petit grain » selon deux mini-jeux : « *l'as de la fab* » et « *le roi de la pref* » au lycée. Comme nous avons pu le voir lors des conclusions de chaque site, cette approche a révélé des résultats intéressants mais elle a aussi pointé certaines limites et notamment le constat qu'une étude des grains de description plus fins est nécessaire pour rendre compte chronologiquement du détail des actions effectuées par les élèves. Donc, dans un troisième temps nous avons mis en lumière au travers de l'analyse des chroniques des élèves les stratégies réelles des élèves selon les trois sites (lycée - IUT - Université). Les conclusions relatives à chaque site mettent en lumière que les résultats de cette analyse des chroniques d'actions des étudiants contrastés se révèlent être une sérieuse piste pour mieux comprendre les différences de dynamique d'apprentissage au regard des objets de savoir visés par les différents mini-jeux (Galaup & al., 2012a, 2012b).

Dans cette recherche exploratoire, les outils que nous avons construits mettent en évidence des différences de dynamique d'apprentissage entre les étudiants. L'analyse des traces a donc permis de repérer des indices des stratégies de jeu utilisées. Nos résultats suggèrent par ailleurs que les mini-jeux et plus globalement le jeu sérieux Mecagenius offre une situation d'action dans laquelle l'élève est confronté à un milieu didactique avec lequel il interagit, ce qui va dans le sens des travaux menés par Sanchez (2011). En effet, l'étude des chroniques d'actions des élèves montre qu'ils prennent des initiatives, des décisions et s'engagent dans le *serious game*. Ces éléments semblent accréditer l'idée d'une certaine adidacticité du dispositif Mecagenius. Cependant, nous avons pu voir que parfois les élèves ne trouvent pas dans ce

milieu les objets spécifiques pour gagner aux jeux d'apprentissage cristallisés dans Mecagenius. D'une certaine manière, nos résultats nuancent ceux de Sanchez (2009) en montrant que l'adidacticité de l'artefact ne semble pas pouvoir toujours être « garantie » ; notamment, nous avons montré que cette adidacticité dépend du niveau des joueurs et des formes d'utilisation dans la classe. Nous pensons par ailleurs qu'il s'avère nécessaire, à certains moments, que l'enseignant puisse « didactiser » ce milieu pour aider les élèves à surmonter les obstacles didactiques rencontrés dans Mecagenius. Ce constat permet de poser la question essentielle du caractère rétroactif accordée au *serious game*. Est-ce que les mini-jeux tels qu'ils ont été conçus sont suffisamment rétroactifs ? Autrement dit, sont-ils des milieux didactiques suffisamment pertinents pour permettre aux élèves faibles de développer et de construire les compétences d'usinage ciblées ? L'ensemble des résultats que ce soit sur « *l'as de la fab* » ou sur « *le roi de la pref* » laisse penser que les rétroactions de ces mini-jeux ne sont pas suffisantes pour les élèves faibles même s'ils peuvent trouver de l'aide et des solutions dans ces derniers¹¹⁷. Il pourrait être extrêmement utile de poser la question de l'accompagnement didactique dans ces mini-jeux. Dans l'utilisation des mini-jeux au lycée, nous avons vu dans le chapitre 2 que les enseignants étaient extrêmement présents et faisaient de nombreuses régulations souvent en surplomb dans une logique de monstration de la réponse efficace. Nous pouvons nous poser la question de la fonction de ces rétroactions qui amènent les élèves forts à décoder dans les indices qu'apporte l'enseignant les éléments de savoir qu'il faut activer dans le mini-jeu de façon très rapide. Ceci permet d'ailleurs d'expliquer les réussites assez grandes parfois de même nature que celles des étudiants de licence 3 qui sont en autonomie à l'université. Par contre nous pouvons peut-être penser que les étudiants forts de l'université maîtrisent les éléments de l'usinage car contrairement aux élèves de lycée ils réussissent sans les effets didactiques de l'enseignant (effets Topaze, régulations, consignes, ...). Ces questions mettent en lumière deux grands axes ressortant de l'analyse des trajectoires d'apprentissage : la rétroaction didactique de Mecagenius et l'accompagnement didactique de l'enseignant, nous reviendrons sur ces deux points dans la discussion finale.

La méthodologie, que nous avons choisie à partir des préconisations de Leutenegger (2003) nous a conduit à observer les conduites de deux élèves contrastés (“éF” et “éf”) désignés par

¹¹⁷ Nous pensons ici au *debriefing* et au compagnonnage proposé par le *serious game*

l'enseignant. Cette méthodologie nous a aidé à mieux comprendre la dynamique des processus d'apprentissage des élèves aux prises avec un *serious game*, ce « carottage » selon la terminologie de Schubauer-Leoni et Leutenegger (2002) nous a aussi permis de suivre les traces de ces élèves contrastés et de mettre en avant des différences significatives entre les étudiants. A la suite de Leutenegger (2003), nous considérons que le « carottage » de deux élèves contrastés par leur position d'excellence dans la classe s'avère être un révélateur du fonctionnement du système didactique observé, et notamment des formes différentielles qui président aux trajectoires d'apprentissage qui sont toujours singulières. Notons par ailleurs, au-delà de ces singularités, que les conduites des élèves, identifiés par chaque enseignant, comme étant faible ou fort recourent en partie les relations qu'ils entretiennent et que nous avons mis en évidence avec les connaissances cristallisées dans le *serious game*. Les analyses menées suggèrent par ailleurs qu'une analyse *in situ* permet de mettre en lumière certains phénomènes transpositifs à l'œuvre lorsque des artefacts informatiques sont utilisés en situation d'enseignement-apprentissage. Une analyse ascendante confirme que les postures d'excellence des élèves influencent les manières dont les savoirs et les compétences visés par le *serious game* peuvent être ou non mis à l'étude.

Pour finir, une autre contribution du programme cognitif que nous avons mené réside dans le développement de logiciels permettant d'affiner les indicateurs à retenir pour les soumettre à un traitement statistique plus approfondi. Le développement en cours de ce logiciel offrira l'occasion de s'intéresser à grande échelle aux chroniques d'actions des élèves pour rendre compte de leur évolution au regard des compétences visées par les mini-jeux. Ces programmes implémentés dans les futurs *serious games* permettront de fournir des informations aux acteurs du système didactique ainsi que des traits génériques de l'action des apprenants. Ils feront l'objet de nouvelles recherches que nous souhaiterions poursuivre à l'avenir.

DISCUSSION CONCLUSIVE

1. Discussion sur les résultats des trois études effectuées.

Au terme de l'ensemble des analyses que nous venons d'effectuer, il convient de développer et de discuter des phénomènes de transposition didactique liés à la conception puis à l'usage d'un *serious game* dans les classes. Comme évoqué dans le premier chapitre, la contribution originale de notre travail associé à ce projet relève de postures différentes, celle d'un ingénieur de conception et celle d'un chercheur s'intéressant aux usages possibles d'un *serious game*. Rappelons que l'étape de conception fut plutôt un travail collectif et collaboratif où nous étions effectivement en situation de concepteur impliqué dans ce projet, alors que dans l'étape d'évaluation du *serious game* Mecagenius en classe, nous étions en position de chercheur observateur qui avait pour but de décrire et de comprendre comment les utilisations en classe ordinaire de Mecagenius. Dans cette discussion conclusive nous revenons dans un premier temps sur les résultats du chapitre 1 relatifs à l'analyse épistémologique et technologique des savoirs de Mecagenius. Dans un deuxième temps, nous discutons des résultats du chapitre 2 et du chapitre 3 qui portent sur le fonctionnement du système didactique aux prises avec l'artefact Mecagenius (les usages d'un *serious game*). Notre recherche s'attachant à rendre compte du travail d'étude dans les classes ordinaires selon les trois programmes épistémologique, didactique et cognitif dont l'articulation selon Schubauer-Leoni et Leutenegger (2005) contribue à éclairer les phénomènes de transposition didactique, nous terminerons cette première section conclusive en revenant sur les questions de recherche y afférant. Ces éléments ouvriront à la conclusion générale de la thèse.

1.1. Discussion sur les choix lors de la conception

A la suite des résultats relatifs à notre contribution au programme épistémologique dans le cadre du travail de conception de Mecagenius, revenons sur les choix transpositifs qui ont été opérés. Comme nous l'avons souligné dans le chapitre "retour sur la conception", la construc-

tion des mini-jeux a reposé sur un découpage tentant de gérer la contradiction entre : élémentarisation importante liée aux référentiels (scolaires et professionnels) et construction de mini-jeux en phase avec l'activité des opérateurs utilisant une MOCN.

Un des points positifs est que ce découpage permet de maintenir une certaine vigilance épistémologique pendant la construction de Mecagenius dans le cadre du travail de l'équipe pluridisciplinaire de conception. Une des limites des compromis que nous avons réalisés lors du travail de conception est une relative élémentarisation des savoirs. Rappelons que cette dernière s'est imposée à la fois du fait des contraintes industrielles (temporelles, économiques, techniques, informatiques : il fallait que le *serious game* puisse être opérationnel dans des délais compatibles avec la perspective industrielle) mais aussi en raison du fonctionnement de l'équipe pluridisciplinaire rassemblant industriels, informaticiens, génie mécaniciens, didacticiens, qui chacun pour leur part devait en temps utile proposer puis implémenter les différents « éléments » du *serious game*. Par ailleurs, les traditions de recherche dans chacune des disciplines (génie mécanique, informatique, didactique) imposaient de se mettre d'accord sur un ensemble d'éléments permettant d'avancer le projet industriel qui n'avait qu'une durée de deux ans.

D'une certaine manière, la problématique de conception des mini-jeux n'a pu complètement obéir aux démarches de la didactique professionnelle qui stipulent que l'analyse de l'activité doit permettre de dégager des compétences critiques et de construire des situations-problèmes autour de ces dernières. Ainsi les étapes d'une problématique de constitution des mini-jeux n'ont pas pu totalement obéir à une logique d'analyse de l'activité pour déterminer des situations-problèmes. Toutefois, l'enquête que nous avons menée auprès des enseignants, l'expérience des concepteurs en génie mécanique, le travail de thèse de Becerril Ortega (2008) en didactique professionnelle nous a amené quand même à retenir des compétences reconnues comme critiques pour concevoir ce *serious games*. A ce sujet nous avons vu, dans le chapitre 2, que les compétences visées dans les deux mini-jeu « *l'as de la fab* » et « *le roi de la pref* » (mais aussi certains mini-jeux de la version finale non étudiés dans cette thèse) répondent aux exigences de l'activité ainsi qu'à des problématiques liées aux obstacles didactiques et aux difficultés d'apprentissage énoncées par les enseignants. Le degré d'élémentarisation des savoirs varie selon la densité des enjeux épistémiques visés dans chacun des mini-jeux (à titre d'exemple, d'enjeux épistémiques « plus faibles » parce que ne correspondant pas à des obstacles d'apprentissage : « les porte-outils »). Cette

élémentarisation a permis cependant de produire les mini-jeux et plus globalement de concevoir Mecagenius dans une perspective d'utilisation à différents niveaux de la scolarité secondaire et universitaire mais aussi dans l'optique d'une utilisation pour la formation professionnelle même si nous n'avons pas pu tester cela dans le cadre de notre recherche.

Nous tenons cependant à poser des limites et revenir sur ces choix transpositifs. Nous pouvons nous demander à l'issue du troisième chapitre des résultats si le type d'élémentarisation des savoirs (au cœur de tout phénomène de transposition didactique externe) au sein des mini-jeux n'explique pas une partie des difficultés rencontrées par les élèves faibles, difficultés qui s'accroissent dès lors que les enjeux relèvent des obstacles d'apprentissage au regard des concepts pragmatiques critiques (Becerril Ortega, 2008). Au terme de ce travail de recherche et pour mieux prendre en compte une problématique « activité » nous développons actuellement des outils permettant de repenser les formes transpositives qui pourraient être mis en place dans les *serious games* avec pour perspective de contrebalancer les effets d'élémentarisation des savoirs qui, pour leur part, sont plus faciles à traiter d'un point de vue informatique lors de la construction des mini-jeux. C'est pourquoi nous continuons dans l'équipe du projet à développer des outils d'aide à la conception de *serious game*. Le projet appelé "Simugame" a pour but de développer un outil d'aide à la scénarisation didactique de *serious game* sous la forme d'une application web. Il s'agit de repenser les graphes de dépendance en ne partant plus des compétences des référentiels mais de l'expérience professionnelle des formateurs et des activités qui, selon eux sont les plus pertinentes des compétences visées. La finalité est de pouvoir modéliser l'articulation savoirs-compétences-activité afin de permettre un traitement formel par la plateforme d'aide à la scénarisation.

Par ailleurs d'autres contraintes transpositives ont dû être résolues. Comme nous l'avons montré dans l'exemple relatif au mini-jeu « *l'as de la fab* », le joueur n'a pas accès à la totalité des dimensions de la situation professionnelle de référence. Lors de la conception nous nous sommes heurté à la contrainte de reproduction de la fidélité des situations de travail dans toutes ses dimensions. Cette problématique fait écho à celle des simulateurs développée par Pastré (2006) : « On sait que dans le travail réel les opérateurs disposent de toute une série de raccourcis ou de substituts qui leur évitent d'avoir à mobiliser des savoirs qui sont généralement coûteux » (p. 8). Il nous semble important que les enseignants utilisant Mecagenius aient conscience de ces problèmes. En effet, dans les « usages didactiques du *serious game* » qu'ils vont proposer aux élèves et qui vont être des supports d'apprentissage, les enseignants

doivent pouvoir mesurer les limites de certains mini-jeux. Les nombreux effets ou indices Topaze ainsi que les institutionnalisations précoces que nous avons mis en évidence au chapitre 2, les problématiques d'absence de rétroactions pour les élèves les plus faibles, pourraient être davantage prises en compte.

Enfin, nous avons vu que, suivant les sites et suivant le niveau des élèves en génie mécanique, le *serious game* peut être utilisé sous forme de découverte ou sous forme d'une problématique de simulation, ces deux types d'usages relèvent selon nous de problématiques transpositives différentes. Dans une optique découverte, les stratégies gagnantes des joueurs devraient être davantage liées à la question des scores, du jeu, de l'intérêt qui permet d'explorer un univers de génie mécanique. Par contre, dans l'utilisation de type "simulation" se pose la question, comme nous l'avons vu dans le chapitre 3, des rétroactions nécessaires du milieu didactique que constitue le mini-jeu et donc de la capacité pour le professeur de pouvoir relancer l'activité des élèves sans pour autant leur donner directement la solution comme trop souvent nous l'avons observé au lycée. Ce point ouvre à un débat sur les collaborations possibles entre chercheurs issus des EIAH, de la didactique professionnelle et de la didactique de la technologie.

Il ouvre aussi sur des réflexions possibles pour l'utilisation de Mecagenius en formation des enseignants, afin de les amener à se questionner sur les contraintes et les possibilités d'usage du *serious game* comme nous le traitons ci-après. Notre étude suggère qu'il est souhaitable d'alterner des phases d'apprentissage avec Mecagenius et des phases d'apprentissage en situation réelle, nous y reviendrons plus précisément en fin de ce chapitre conclusif.

1.2. Discussion autour des utilisations du *serious game* Mecagenius en classe

Après avoir porté un regard sur le programme épistémologique ainsi que sur la conception de Mecagenius au regard des choix transpositifs effectués, nous allons dans ce qui suit, discuter du fonctionnement du système didactique aux prises avec l'artefact Mecagenius à partir des résultats du chapitre 2. Rappelons que notre recherche s'attache, à partir d'une analyse ascen-

dante de la transposition didactique (Schubauer-Leoni & Leutenegger, 2005) à mettre en évidence comment les enseignants et les élèves de différentes institutions (lycée, IUT et université) utilisent Mecagenius. Il s'agissait de décrire et comprendre, à partir d'une analyse *in situ* en contexte d'enseignement, comment professeur et élèves agissent au regard des objets mis à l'étude par le *serious game* et en lien avec les compétences visées. Les résultats des deux types d'analyses macroscopique et microdidactique ont permis de mieux comprendre les usages de l'artefact en classe. Nous pointons ici, que son utilisation repose sur l'expérience professionnelle des enseignants observés. D'une façon globale les résultats montrent une hétérogénéité de l'utilisation de Mecagenius par les enseignants selon les différents sites. Nos résultats ont mis en lumière que ce *serious game* pouvait être utilisé pour développer une politique de projets (IUT), pour un usage de délégation (université), comme palliatif à des problèmes d'ordre pédagogiques (IUT et université). C'est finalement davantage au lycée que l'usage de Mecagenius a été au service d'une intentionnalité didactique spécifique des savoirs du génie mécanique. Le premier constat est que face à un même artefact, différentes utilisations sont possibles selon les institutions mais aussi selon les enseignants. Nous avons déjà évoqué ce problème dans la section précédente en discutant des problématiques transpositives spécifiques qui sous-tendent un usage de type découverte *vs* un usage de type simulation. Globalement, les enseignants ont, sans problème aucun, intégré Mecagenius dans leurs pratiques car il offre une large flexibilité d'utilisation. Les deux modalités initialement prévues dans le projet Mecagenius, en présentiel, à distance, laissent entrevoir des possibilités de formations mixtes "*blended learning*" qui pourraient alterner ces deux modes d'usage de cet artefact.

Nous avons pu observer, lors des séances en présentiel, que les enseignants font expérimenter des solutions, questionnent puis valident des réponses qui émergent de la pratique des élèves. Les traits pertinents dans la réalisation des tâches des élèves sont repris et l'enseignant, au regard des objets de savoir, les communique à la classe. Ainsi, les observations de l'enseignant dans l'action conjointe avec ses élèves le conduisent à sélectionner des expériences compatibles en vue de son projet d'enseignement. Les régulations didactiques sont ciblées et portent le plus souvent sur les enjeux épistémiques cristallisés dans Mecagenius. Néanmoins, lors de l'étude en lycée, nous avons constaté que les enseignants avaient parfois certaines réticences à laisser les élèves expérimenter Mecagenius et qu'ils prenaient trop souvent à leur charge la responsabilité d'indiquer les solutions permettant de gagner au jeu. Nous pensons que ce guidage « serré » empêche les élèves d'effectuer les essais-erreurs, les tâtonnements et les explo-

rations prévues au départ par les concepteurs du *serious game*. D'autre part, toute la dimension ludique ayant un caractère « dévoluant » qui est sous-jacente au *serious game* risque de disparaître avec pour possible conséquence un manque d'intérêt des élèves. Nous avons vu que les deux enseignants de lycée (sous des formes cependant différentes) utilisent les mini-jeux plutôt sous forme d'exercice. Ils ne semblent pas percevoir la dimension « adidactique » des situations que représentent les mini-jeux que les concepteurs ont tenté de modéliser. Ces constats suggèrent que les enseignants de lycée incorporent Mecagenius à leur pratique d'enseignement sans pour autant toujours la modifier. Nos descriptions ont cependant mis en évidence différentes formes d'incorporation à la pratique. En reprenant Rabardel (1995), nous pouvons dire que la genèse instrumentale de l'artefact s'est opérée sur un bagage de techniques didactiques éprouvées que le *serious game* n'a pas beaucoup transformé notamment pour un des deux enseignants de lycée. Ces manières de faire permettent sans doute, comme nous l'avons montré aux élèves les plus forts, de mieux tirer parti du jeu notamment au niveau des variables critiques de réglage de la MOCN dans les deux mini-jeux que sont « *l'as de la fab* » et « *le roi de la pref* ». En revanche, nous considérons que la prise en charge par l'enseignant de certaines réponses à produire dans le mini-jeu (les nombreux indices ou effets Topaze que nous avons décrits, les institutionnalisations précoces) ne permettent pas aux élèves les plus faibles de se situer par rapport aux enjeux épistémiques sous-jacents aux mini-jeux et donc de développer des stratégies de jeu très efficaces. Nous avons fait l'hypothèse en comparant les élèves forts et les élèves faibles que, les élèves faibles trop immergés les jeux, et non dans l'apprentissage, n'étaient pas attentifs à ces régulations indiquant les solutions à produire. Globalement les résultats de ces analyses nous ont permis de dégager, pour le lycée et au moins pour un enseignant de l'IUT, une utilisation intégrant l'artefact à une intentionnalité didactique spécifique au savoir du génie mécanique parfois même articulée avec une pédagogie de projet (à l'IUT). L'ensemble de ces résultats accrédite l'idée que, sous certaines conditions d'utilisation, Mecagenius peut devenir une ressource utile aux enseignants et contribuer à faire avancer le savoir dans la classe.

Nous avons pu aussi observer une certaine liberté accordée aux élèves dans l'utilisation de Mecagenius en classe. Cet usage facilite la gestion de groupes notamment à l'université. L'usage de Mecagenius comme dispositif didactique permettant un travail en autonomie des élèves ou des étudiants est présent à des degrés différents sur l'ensemble des sites observés. Il n'est pas sans effet sur les trajectoires différentielles d'apprentissage des élèves, ce qui fera

l'objet de la section suivante. Pour conclure notre regard porté sur les utilisations d'un *serious game* en classe accrédite l'idée que le rôle que peut jouer l'enseignant est une brique indispensable pour optimiser l'impact de Mecagenius sur le développement des compétences de génie mécanique des élèves.

1.3. Discussion à propos des stratégies des élèves confrontés aux mini-jeux

Dans cette section, nous discutons des résultats relatifs à la troisième étude en lien avec le programme cognitif. Nous nous sommes intéressé aux modalités d'usage du *serious game* par les élèves pour éclairer les processus d'apprentissage mis en œuvre. A la suite de Schubauer-Leoni et Leutenegger (2002), nous avons suivi, dans les différents sites d'observation, deux élèves contrastés par leur niveau qui se sont avérés être des révélateurs du fonctionnement du système didactique observé. Cela nous a permis notamment de rendre compte des interactions entre les élèves et le *serious game* et de pointer dans ce type de contexte, deux pôles entrelacés : un pôle didactique qui selon nous est lié aux stratégies de jeu en lien avec les apprentissages et un pôle ludique relatif au plaisir du joueur. Nous pensons que ces deux pôles renvoient à la définition même du *serious game* (Cf. Chapitre 1), c'est-à-dire un artefact permettant aux élèves de développer d'eux-mêmes des stratégies de jeu favorisant l'apprentissage. D'ailleurs, comme nous l'avons souligné dans nos résultats, Mecagenius offre des situations d'action (les mini-jeux) dans laquelle l'étudiant est « théoriquement » confronté à un milieu qui se veut « adidactique » avec lequel il interagit comme cela est développé par Sanchez (2011). Nous pointons là l'arrière-plan constructiviste au fondement même de l'idée de *serious game*¹¹⁸. Dans notre revue de question à leur sujet, nous nous interrogeons sur la solidité des arguments montrant que les jeux créent un environnement d'apprentissage davantage motivant, permettant aux élèves d'apprendre par l'action. Si nos observations macroscopiques semblent accréditer l'idée d'une « certaine » adidacticité du dispositif Mecagenius, puisque les traces informatiques mettent en lumière que les élèves prennent des initiatives, des décisions, et s'engagent dans le *serious game* il reste que l'analyse selon les positions d'excel-

¹¹⁸ Notre recherche en nuance l'effectivité.

lence des élèves met en évidence une hétérogénéité laissant penser que la confrontation aux mini-jeux ne relèvent pas toujours d'un apprentissage constructiviste, tel que présumé par les discours apologétiques des promoteurs des *serious games*. La possibilité de dévolution n'est pas intrinsèque à l'artefact. D'une certaine manière, en présentiel, elle reste à charge du professeur, ce qui dans nos études de cas est apparu finalement assez sporadique.

Les résultats de la troisième étude ont permis de mettre en évidence des dynamiques différentielles d'apprentissage selon les élèves. Ces résultats nuancent eux aussi la rhétorique contemporaine fondée sur l'apport des environnements de type *serious games* considérés comme une alternative aux méthodes d'enseignement traditionnelles que ce soit en termes de compétences transversales ou disciplinaires. Or, l'analyse fine des stratégies des élèves nous a permis de relever un ensemble d'éléments importants. Nous avons vu que les mini-jeux ne font pas « milieu » de la même façon pour tous les élèves. Nous avons fait l'hypothèse dans la section précédente, que l'enseignant lors des usages en présentiel, puisse contribuer par ses régulations à enrichir les rétroactions du milieu proposé par les mini-jeux pour que les élèves puissent surmonter les obstacles rencontrés. Ainsi, même si ce *serious game* est conçu à partir d'une combinaison de scénarios ludiques et utilitaires qui laisse penser qu'il peut se suffire presque à lui-même dans un objectif d'apprentissage, il n'en demeure pas moins que certains élèves ont parfois peu d'opportunités de faire l'expérience dans les mini-jeux des rétroactions suffisantes leur permettant de « jouer » et de « gagner » au jeu d'apprentissage. Il est donc important de nuancer l'idée selon laquelle les *serious games* pourraient relever de « situations adidactiques » comme commence à le discuter Sanchez (2011). Cette discussion n'est pas sans rappeler aussi celle menée par Sauvé, Renaud et Kaufman (2010)   propos de l'efficacité des jeux en termes de développement de stratégies de résolutions de problèmes. Elle la spécifie cependant dans la mesure où dans notre étude nous avons pris en compte la spécificité des savoirs et des compétences visées. Ainsi, notre analyse des usages par les professeurs et les élèves laissent penser que, pour que ces derniers puissent dépasser certains obstacles, le professeur doit être en mesure de « didactiser » le *serious game* en proposant explicitement ou implicitement des réaménagements qui vont donner lieu à des formes d'apprentissage complémentaires plus ou moins spécifiques des savoirs cristallisés dans le *serious game*. Nous pensons que la mise en œuvre de médiations « satellites » du professeur donne lieu à des aides potentielles pour construire des stratégies qui permettront aux élèves de gagner aux jeux

d'apprentissage. Pour autant, nous pensons que l'activité ludique repose sur l'accès à l'autonomie, à la responsabilisation et à une certaine liberté de l'élève. Il est nécessaire pour garantir cet enseignement avec Mecagenius, de trouver un juste milieu car nous avons montré que l'énoncé systématique de la solution peut « tuer » le jeu au double sens ludique et apprentissage. Nous rejoignons ainsi Marquet (2003) lorsqu'il montre que la prise en compte des phénomènes d'instrumentalisation de l'artefact et d'instrumentation des opérations¹¹⁹ revêt un intérêt particulier car « ils sont susceptibles d'interférer entre eux et de priver l'apprenant de l'accès à l'instrument didactique » (p. 123).

Enfin d'un point de vue méthodologique, il nous paraît être utile ici de discuter du traitement manuel exploratoire que nous avons effectué dans le cadre de cette recherche. Moins systématisée que lors d'un traitement logiciel, l'analyse des traces manuelles permet de repérer quelques erreurs ou indices des stratégies de jeu utilisées qu'il serait utile de standardiser. Les développements actuels au sein de l'équipe pluridisciplinaire envisagent un logiciel pour reproduire cette analyse manuelle sur tous les élèves concernés avec une fiabilité plus importante. Un des prolongements de cette recherche s'actualise aujourd'hui dans la proposition d'un modèle informatique pour mettre en relation les actions et le comportement du joueur appelé "*Kidigame*" qui est un outil de suivi de l'apprenant dans un *serious game*. Les objectifs de ce modèle sont de fournir un outil de diagnostic des compétences du joueur, un outil de visualisation de l'évolution des compétences au cours du jeu. Ce projet en cours vise d'une part à systématiser la possibilité d'une évaluation diagnostique des niveaux des joueurs, mais aussi de proposer des outils d'évaluation certificative du niveau d'apprentissage et de validation des caractéristiques pédagogiques de futurs *serious game*. Nous sommes conscient que cet outil « hypothétique » d'aide à la décision qui pourrait avoir quelques pertinences pour les enseignants utilisateurs de *serious game*, nécessite des travaux supplémentaires ce qui ouvre des perspectives de recherches futures. Ces éléments de discussion plaident aussi pour une plus grande articulation des travaux de recherches ("sur" et "pour" selon les formulations de Marcel, 2010), dès lors que l'on produit des artefacts logiciels pour la classe comme l'a aussi discuté Trouche (2005) : dimension parfois négligée par certains développeurs.

¹¹⁹ Réunis dans la notion de genèse instrumentale

1.4. Retour sur la problématique et les questions de recherche

L'articulation des deux postures et des trois études a permis de mettre au jour certains phénomènes transpositifs liés à la conception de l'artefact (transposition didactique externe) et à ses usages (transposition didactique interne). Rappelons que notre problématique de recherche consistait à tenter de comprendre en situation quelle est la dynamique dans laquelle l'élève et le professeur agissent et réagissent aux situations proposées par Mecagenius. Dans une perspective didactique nous avons proposé d'identifier les conditions d'usage en contexte de l'artefact Mecagenius par les enseignants et les élèves pour construire une connaissance scientifique des pratiques telles qu'elles existent dans leur diversité. Une des spécificités de notre travail a été de nous appuyer sur un cadre conceptuel permettant de fournir à la fois des outils pour la conception du *serious game* et pour l'analyse de ces usages, dans la perspective d'alimenter la réflexion et les recherches sur les *serious games*. Pour accéder au fonctionnement du système didactique nous avons fait l'hypothèse, qui s'est avérée féconde, que les trois programmes (épistémologique, didactique et cognitif) permettent d'identifier les phénomènes transpositifs à l'œuvre. Pour résumer, l'originalité de cette recherche réside dans l'articulation d'une double approche de ces phénomènes : descendante et ascendante ce qui nous a permis de circuler sur toute la chaîne transpositive allant de la conception d'un *serious game* à son utilisation en classe en vue de développer des apprentissages, c'est-à-dire de comprendre les processus mis en œuvre par les acteurs, professeur et élève (s) lorsqu'ils utilisent Mecagenius dans le cadre d'un enseignement et d'un apprentissage des savoirs du génie mécanique.

Avant de clore véritablement cette première partie de la discussion conclusive nous souhaitons rappeler nos questions de recherche et brièvement indiquer quelles sont les éléments de réponse que nous y apportons dans cette thèse.

Concernant la première étude relative à l'analyse épistémologique nos questions étaient les suivantes :

- En quoi l'analyse épistémologique détermine-t-elle certains types de mini-jeux ?
- Quelles sont les contraintes transpositives qui pèsent sur la conception du *serious game* ?

- Quelles conséquences pouvons-nous tirer de ces analyses dans une perspective de conception des *serious games* ?

Lors de la conception du *serious game* Mecagenius nous avons mis en exergue les contraintes transpositives rencontrées, nous avons également pointé le rôle crucial de l'analyse épistémologique (Cf. Discussion sur les choix lors de la conception). Il ressort de notre travail la nécessité de penser le niveau d'élémentarisation pertinent qui permet à la fois de concevoir une progressivité dans chaque mini-jeu et dans la structuration globale du *serious game* mais aussi de maintenir vif un rapport adidactique aux enjeux épistémiques constitutifs de la compétence visée. Les mini-jeux « *l'as de la fab* » et « *le roi de la pref* » parmi d'autres mini-jeux (qui, compte tenu de l'évolution du projet, n'ont pas fait partie du travail empirique présenté) constituent de bons exemples des conditions et des contraintes à réunir pour qu'un *serious game* puisse porter des intentions didactiques en lien avec les compétences critiques qu'une analyse de l'activité avait permis de mettre au jour.

Relativement à l'analyse didactique des usages en classe nos questions de recherche étaient les suivantes :

- Quels sont les usages de Mecagenius par les enseignants et les élèves en lien avec les enjeux épistémiques cristallisés dans les mini-jeux ?
- Comment sont exploités les milieux didactiques fournis par Mecagenius ? Avec quels effets dans le fonctionnement du système didactique ?

Nous avons dans la discussion autour des utilisations du *serious game* en classe souligné la pluralité des usages possibles de Mecagenius par les enseignants des différents sites. Nous avons constaté, suite au retour d'expériences que certaines conditions n'étaient pas toujours réunies pour un usage judicieux ou pertinent du *serious game*. En référence à Rabardel (1995) et Marquet (2003) nous les avons discutées en termes de genèse instrumentale d'un artefact. Nous avons identifié que les enseignants n'intègrent parfois pas toute la potentialité de Mecagenius, en réduisant fortement sa dimension ludique notamment par des guidages serrés, ils « empêchent » les élèves de bénéficier des rétroactions prévues au départ par les concepteurs du *serious game*. D'autres usages sont possibles, comme l'a montré l'analyse de l'enseignant E1 de l'IUT et à un moindre degré l'enseignant E2 de lycée. L'intégration du *serious*

game à des pratiques professionnelles peut se faire sur deux modes. Un mode d'assimilation à des pratiques antérieures assez directives (enseignant E1 de lycée). Un mode d'adaptation réciproque des pratiques et de l'artefact en fonction de l'intention didactique (en partie pour l'enseignant E2 de lycée et pour E1 de l'IUT).

Enfin, concernant l'analyse des stratégies des élèves confrontés à Mecagenius nos questions étaient les suivantes :

- Quelles sont les difficultés, voire les obstacles rencontrés par les élèves au regard des acquisitions visées par Mecagenius ?
- Mecagenius contribue-t-il à l'avancée des connaissances au regard des savoirs cristallisés dans ce jeu sérieux ?

L'analyse des stratégies et des trajectoires d'apprentissage des élèves obtenue par le suivi du joueur au sein de Mecagenius s'est avérée très pertinente pour mettre en évidence des dynamiques différentielles (Cf. Discussion précédente à propos des stratégies des élèves confrontés aux mini-jeux). Le *serious game* en lui-même ne permet pas à tous les élèves de s'approprier les enjeux de savoirs et de développer les compétences visées. Ces constats posent des questions pour un usage à distance auxquelles notre recherche ne peut apporter de réponse en l'état actuel. Nous avons plaidé dans notre thèse pour la notion de "*blended learning*" qui pourrait permettre aux élèves les plus faibles de bénéficier de régulations favorables sous certaines conditions à leurs apprentissages.

Par ailleurs, un des apports de la méthodologie utilisée (traces portant sur les éléments de savoir cristallisés dans les mini-jeux construits pour la recherche) pourrait avoir un développement en termes d'outils pour l'intervention de l'enseignant. En effet, nous pensons que le suivi du joueur est particulièrement important pour le repérage des obstacles et des difficultés rencontrés et donc pour fournir des indications d'évaluation formative utiles aux enseignants. D'après nos résultats la pertinence d'une telle approche est manifeste et suggère des développements logiciels (Cf. *Kidigame*).

Nous terminerons sur la dernière question relative à la relation entre l'avancée des connaissances et Mecagenius qui nous paraît finalement cruciale. Nous avons indiqué, lors des trois discussions précédentes, la nécessité d'articuler trois programmes interdépendants pour rendre compte de la potentialité de Mecagenius. Nous avons aussi vu que les enseignants n'identi-

fient pas toujours ces potentialités. Cette dernière remarque plaide pour mieux explorer la dimension formative du *serious game*, c'est pourquoi il nous paraît logique d'aborder dans la conclusion générale de la thèse une discussion sur les dispositifs de formation à mettre en œuvre pour aider les enseignants à mieux utiliser les *serious games*. Nous envisageons ces derniers aspects comme une retombée possible de notre recherche.

2. Conclusion générale

Au terme de cette recherche de thèse qui a été réalisée dans le cadre d'un projet de recherche pluridisciplinaire financé par le Ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi dans le cadre d'une politique de développement des usages numériques dans une perspective éducative (plan de relance numérique pour la réalisation d'outils logiciels pour les entreprises recourant à des techniques issues du jeu vidéo) nous souhaitons revenir sur la dimension formative que peuvent constituer les *serious games*. En effet, la mise en perspective de certaines modalités des fonctionnements observés lors des usages du *serious game* nous amène à ouvrir notre champ d'investigation vers des perspectives de formation.

2.1. Articuler une recherche didactique en sciences de l'éducation et un projet industriel de développement de ressources pour l'enseignement

Avant de développer les problématiques de formation suggérées par cette recherche nous souhaitons revenir sur certaines caractéristiques de notre travail en termes de contraintes et de postures de recherche. Nous avons déjà indiqué que, dans ce projet situé à l'interface d'enjeux académiques et industriels, financé sur une durée relativement courte (24 mois), nous avons été soumis à des contraintes temporelles, économiques, techniques, informatiques, etc. inhérentes au fonctionnement même d'une recherche-développement. A celles-ci se sont ajoutées d'autres contraintes liées aux collaborations pluridisciplinaires qui ont permis le développe-

ment de Mecagenius (génie mécanique, informatique, scénarisation, didactique, etc.). La gestion de ces différentes contraintes a eu pour conséquences des arbitrages théoriques et technologiques que nous avons discutés par ailleurs. D'autre part, nous avons mis en exergue tout au long de cette thèse les tensions existant entre les postures de recherche que nous avons endossées à la fois et/ou successivement, celle d'un ingénieur-concepteur et celle d'un chercheur-observateur soucieux de produire des connaissances "sur" les usages d'un *serious game* en classe ordinaire. D'une certaine manière, dans cette thèse, nous avons tenté de concilier, voire d'articuler tout en les distinguant comme le discute Marcel (2010), les perspectives de recherche "pour" et "sur" l'éducation. Cela nous amène à faire le point de manière synthétique sur ces deux postures en tension.

Classiquement on oppose, en Sciences de l'Éducation, les visées descriptives, compréhensives et les visées praxéologiques des recherches dont on regrette parfois la dimension prescriptive (Bru, 2002). Cette opposition, qui distingue des objectifs heuristiques (visant à produire des connaissances) des objectifs praxéologiques (visant à agir) peut être discutée (Marcel, 2010). Cet auteur montre la nécessité, pour un chercheur en sciences de l'éducation, de prendre en charge les demandes sociales d'amélioration, ou d'optimisation des pratiques éducatives. Notons que ce point n'est pas orthogonal avec les attendus même de l'appel à projet du Ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi à l'origine du contrat Mecagenius. En tant que didacticien, nous sommes inévitablement amené à nous situer dans ce débat. Dans cette thèse, nous pouvons dire qu'en tant que chercheur en didactique, nous avons endossé selon les phases du développement du projet soit une posture en intelligibilité, soit une posture orientée par l'aide à la décision, les deux étant parfois difficiles à démêler. Par exemple, dans la phase de conception, l'enquête sur les besoins des enseignants contribue au programme épistémologique et met en exergue comment une posture descriptive peut être utile au développement de la conception didactique. Plus classiquement, l'analyse des pratiques des enseignants et des élèves aux prises avec le *serious game* Mecagenius relève d'une posture en intelligibilité. Celle du chercheur "ingénieur-concepteur" que nous avons adoptée dans le cadre du travail collectif d'élaboration des différents mini-jeux, renvoie davantage pour sa part, aux démarches en usages dans les recherches praxéologiques, encore appelées en didactique "d'aide à la décision" (Martinand, 1987), c'est-à-dire d'une intention visant l'introduction d'un changement dans les pratiques éducatives dont on postule qu'il améliorera leur efficacité. On est bien là dans une visée en optimisation.

La structuration de notre travail en trois études montre comment au fil de la thèse et de notre implication dans l'équipe Mecagenius, nous avons tenté d'articuler une recherche didactique en sciences de l'éducation et un projet industriel de développement de ressources pour la formation en génie mécanique. Pour ce faire, nous avons fait se rejoindre deux types d'analyses de la transposition didactique, l'une éclairant l'autre et réciproquement. Dans une posture d'ingénieur concepteur de dispositifs didactiques nous avons tenté d'opérationnaliser les pré-supposés constructivistes implicites inhérents aux *serious game* en effectuant des choix transpositifs tentant de prendre en compte à la fois les référentiels scolaires, universitaires et professionnels et l'état des connaissances disponibles sur l'activité des opérateurs des MOCN. La gestion des contraintes temporelles, industrielles et informatiques ainsi que les arbitrages qui ont dû nécessairement être opérés ont eu pour conséquence certaines modalités d'élémentarisation des savoirs (transposition didactique externe). C'est l'analyse menée dans une posture d'observateur, visant à décrire les modes d'incorporation du *serious game* aux pratiques d'enseignement et les stratégies de jeu utilisées par les élèves qui, en retour, sur la base d'une analyse ascendante de la transposition didactique interne, ont permis de nuancer les discours habituellement tenus sur l'efficacité de ces artefacts. Nous pensons avoir montré que recherche "pour" et recherche "sur" sont non seulement complémentaires mais s'enrichissent mutuellement dans un projet visant la mise au point de ressources pour l'enseignement, tout en discutant les conditions de son efficacité. Ce propos rejoint celui tenu par Amade-Escot (2002) à propos de la contribution des recherches didactiques en sciences de l'éducation, lorsqu'elle montre en quoi les visées d'aide à la décision ne sont pas antinomiques des visées d'avancement des connaissances sur le fonctionnement des systèmes didactiques. Il reste que les constats effectués au fil des trois chapitres des résultats suggèrent que l'ambition d'une transformation des pratiques d'enseignement et d'étude via l'utilisation de *serious game* ne va pas de soi, ce qui nous amène, de façon prospective, à envisager quelles pourraient être les formes et les conditions d'un accompagnement au changement espéré.

2.1. Perspective ouverte par la recherche dans une optique de formation intégrant les *serious games*

L'ensemble des résultats produits par ce travail nous a permis d'étudier, selon une double posture, les effets de la mise en œuvre de Mecagenius dans les classes ordinaires et certains aspects de la conception. Cela nous a permis d'ouvrir des pistes de réflexion concernant le travail en classe et la formation des enseignants. Quelle pourrait être l'utilisation de l'artefact Mecagenius à des fins de formation des enseignants ou à des fins de formation de formateurs ? A notre sens, une formation professionnelle efficace doit intégrer l'ensemble des pistes de réflexion recensées dans cette thèse. En effet, nous pensons à la suite de Baron (2006) « qu'il y a un enjeu important à ce que les enseignants puissent continuer à inventer, à développer des outils didactisés à fort potentiel » (p. 15). Il nous semble, que deux axes forts peuvent être retenus. D'une part, en lien avec ce que nous avons avancé concernant la conception, le premier axe nous conduit à prendre en compte et à nous interroger sur la dimension épistémologique. D'autre part, la deuxième dimension vise à réfléchir sur les conditions de mise en œuvre de situations d'enseignement-apprentissage avec les *serious games*.

2.1.1. Vers une prise en compte de la dimension épistémique

Il nous paraît important que les enseignants puissent être formés à l'utilisation des *serious games* en les guidant lors de la formation initiale et continue des professeurs vers une réflexion sur les usages potentiels. Il est aussi souhaitable, à la suite des multiples questions qui ont jalonné la conception du *serious game*, de revenir sur la dimension épistémologique. Afin d'augmenter leur efficacité potentielle auprès des élèves, nous considérons qu'une formation à l'analyse des dimensions épistémiques constitutives du *serious game* est nécessaire. Cela favoriserait selon nous le développement d'une « vigilance épistémologique » permettant notamment une meilleure maîtrise des savoirs à enseigner au regard des concepts et modèles théoriques à la base du génie mécanique. En effet, ce *serious game*, comme tous les *serious games*, a un rôle dans la production et la diffusion du savoir, c'est pour cela qu'il nous semble

important, en tant que didacticien, de former et d'informer les utilisateurs de sa conception et des possibilités qu'il offre mais aussi de ses limites. Nous pensons qu'il est nécessaire de maîtriser la conception et plus précisément l'épistémologie des savoirs cristallisés dans un *serious game* pour mieux réfléchir aux formations des étudiants afin d'avoir un meilleur impact sur les apprentissages. La pertinence d'une telle focale, pourrait aussi s'envisager au travers d'une possible articulation des pratiques associant l'enseignement en ligne et l'enseignement en présentiel. Comme nous l'avons vu, Mecagenius offre une flexibilité d'utilisations possibles. Nous pensons que l'alternance entre différentes situations {présentiel - à distance} ou situations mixtes {réelles - avec Mecagenius} pourrait enrichir la formation professionnelle et amorcer un mouvement de transformation. A la suite de Baron et Burkhardt (2011), nous pensons que de telles procédures favorisent selon nous une possible articulation des pratiques avec les démarches didactiques ce qui pourrait permettre de développer une meilleure maîtrise des savoirs à enseigner via les artefacts.

2.1.2. Vers un équilibre mieux maîtrisé

Notre réflexion se fonde aussi sur une remise en question des conditions d'utilisation du *serious game*. Nous avons montré notamment, que lors de l'étude menée en lycée les enseignants avaient parfois certaines réticences à laisser les élèves expérimenter Mecagenius et qu'ils prenaient parfois à leur charge la responsabilité d'indiquer les solutions qui permettaient de gagner au jeu. Ce guidage « serré » va à l'encontre de la conception initiale du *serious game*, qui prévoit que les élèves puissent effectuer des essais-erreurs, tâtonner explorer diverses possibilités de réponses aux problèmes posés par les mini-jeux. D'autre part, toute la dimension ludique et « dévoluante » sous-jacente au *serious game* risque de disparaître avec pour possible conséquence un manque d'intérêt des élèves. Il nous semble important que les futurs formateurs utilisateurs de Mecagenius, au cours de leur formation initiale ou continue, puissent avoir connaissance des différentes possibilités d'utilisation de Mecagenius pour un usage pertinent conduisant vers de nouveaux apprentissages. De ce fait, il apparaît qu'un équilibre mieux maîtrisé entre ce qu'il est nécessaire de dévoiler et de ne pas dévoiler aux élèves devrait pouvoir être pris en compte. Ces éléments suggèrent de réfléchir

aux usages non plus des utilisateurs mais des formateurs, ce qui pourrait être une nouvelle recherche. De la même manière, les enseignants doivent être informés des modalités de mise en œuvre de situations didactiques favorisant selon nous les effets potentiels des usages de Mecagenius.

2.1.3. Vers de nouvelles formes de recherche à initier

La construction de situations d'enseignement-apprentissage ainsi que leur évaluation, permettrait d'enrichir la formation des futurs utilisateurs de Mecagenius et de proposer une réflexion sur l'élaboration collaborative de stratégies débouchant sur des expérimentations. Les arguments développés dans la section précédente nous laissent penser qu'un des moyens de favoriser la formation des utilisateurs enseignants à l'usage des *serious games* est de concevoir des ingénieries coopératives (Sensevy & Mercier, 2007) et d'expérimenter ces nouveaux dispositifs didactiques greffés sur les pratiques ordinaires de professeurs. Ce travail collaboratif, ces ingénieries didactiques élaborées conjointement entre chercheurs et professeurs pourraient recouvrir un double aspect. D'abord, ils permettraient d'articuler un protocole de recueil de données adapté aux besoins précis de la recherche tout en fournissant des matériaux pertinents pour les enseignants qui permettront une meilleure compréhension de l'activité des élèves. Ensuite, l'aspect de ce travail coopératif pourrait faire l'objet d'une réflexion sur l'élaboration collaborative de stratégies débouchant sur des expérimentations et des situations favorables aux apprentissages. Cette coopération aurait pour objectif de construire des dispositifs permettant de prendre en compte tout le potentiel du *serious game* ainsi que la diversité des utilisations possibles mises en évidence dans notre thèse.

2.1.4. Quelques prolongements et nouvelles expérimentations en cours

Il nous semble important de souligner que ce travail ne saurait être considéré en aucune façon comme une fin en soi, à l'inverse, il nous incite à explorer de nouvelles pistes. La recherche

de la réponse à cette problématique augure nos futurs travaux dans le domaine. Nous avons déjà commencé à mettre en place¹²⁰ des expérimentations pour tenter d'élargir nos corpus dans des domaines d'application variés. Depuis deux ans, nous travaillons en collaboration avec le lycée aéronautique d'Airbus. A ce jour deux conventions viennent d'être signées (régions Ile de France¹²¹ et région Midi-Pyrénées¹²²) pour la mise en place d'expérimentations en collaboration avec plusieurs laboratoires de recherche¹²³. Deux grands axes seront évalués, ils concernent la poursuite de l'étude des dynamiques d'apprentissage ainsi que l'étude du plaisir des joueurs. Cette dimension évoquée lors de l'analyse des stratégies de jeu des élèves mérite d'être approfondie en tant que ressort d'apprentissage au travers des *serious games*. En nous appuyant sur ces contributions, nous espérons être un jour en mesure de proposer des analyses sur des corpus constitués d'un large échantillon permettant d'affiner la construction de modèles didactiques favorables à la dynamique d'apprentissage. Nous souhaitons qu'en retour ces expérimentations, puissent contribuer à nourrir de futurs programmes de recherche à venir.

2.3. En guise d'ouverture : retour sur le débat jeu - éducation via les possibles ouverts par les *serious games*

Ce n'est pas le jeu en lui-même qui contribue à l'éducation c'est l'usage du jeu comme moyen dans un ensemble maîtrisé qui lui permet d'apporter sa contribution indirecte à l'éducation. L'éducateur doit savoir utiliser à son profit cette force brute de la nature, et seul ce contrôle garantit le résultat (Brougère, 1995, p 259).

Pour finir, il nous semble qu'une thèse sur les *serious games* ne peut se terminer sans revenir sur quelques éléments relatifs à la question du rapport du jeu et de l'apprentissage. Comme nous l'avons montré, cette question se pose aujourd'hui d'une façon renouvelée avec

¹²⁰ Mecagenius bénéficie des soutiens d'aerospace Valley et mecanic Vallée mais aussi du secrétariat d'Etat à l'économie numérique.

¹²¹ Avec le soutien du pôle ASTech (pôle aéronautique et espace).

¹²² Dans le cadre des projets d'avenir région.

¹²³ Laboratoire de génie mécanique (ICA), laboratoire de Sociologie (CERTOP), laboratoire de didactique (EFTS), laboratoire de psychologie (TRIGONE), école supérieure des arts et métiers (ESAM) et le Serious Game Research Lab (Université Champollion Albi).

l'apparition des jeux vidéo et des jeux sérieux sur le marché des produits éducatifs, comme le suggère aussi l'appel d'offre du ministère pour ce projet de recherche. Les débats sur le jeu en éducation sont toujours autant présents aujourd'hui et sont loin d'être stabilisés. Dans la conception, dans l'utilisation de *serious game* en classe ou dans les recherches associées, les différents acteurs doivent être sensibilisés à cette tension jeu vs apprentissage pour pouvoir ouvrir de nouvelles pistes. Nous pensons que d'autres recherches sont nécessaires car elles permettront d'améliorer la compréhension de cette relation. Notre travail de recherche conforte, tout en la nuancant, l'hypothèse selon laquelle les *serious games* offrent une occasion d'entrer en « résonance » avec l'apprentissage. Il reste que l'évaluation didactique de ces derniers doit être encore poursuivie comme l'ont montré de nombreuses études et comme le suggère Brougère (2005) dans la conclusion de son ouvrage *jouer/apprendre* : « dans bien des cas les joueurs n'apprennent rien en jouant, ils peuvent même éviter toute situation qui pourrait avoir un tel effet pour s'en tenir à un plaisir immédiat » (p. 166). Nos analyses empiriques nous ont permis de constater que l'utilisation effective de Mecagenius par les professeurs souffre aussi de certains déséquilibres. Parmi ceux-ci, nous retenons tout particulièrement certains mésusages d'utilisations qui vont à l'encontre des dimensions ludiques et constructivistes du *serious game*. En plagiant Brougère, (1995, 2005) nous pouvons dire que le statut du jeu sérieux ne peut être que paradoxal. De ce fait, nous pensons qu'il est utile d'alimenter le questionnement autour des outils méthodologiques avec lesquels nos analyses didactiques, dans le champ de la théorie de l'action conjointe, ont été conduites.

Ceci étant posé, la prise en compte des avancées théoriques et méthodologiques produites par cette recherche pourrait pallier certaines faiblesses méthodologiques soulignées par Sauvé, Renaud et Gauvin (2007). Ces auteurs mettent en exergue lors de leurs analyses systématiques des écrits sur les impacts du jeu sur l'apprentissage : « que les auteurs ne définissent pas toujours de façon systématique les impacts qu'ils identifient et certains présentent des résultats en n'indiquant pas s'ils sont significatifs. Cette lacune méthodologique identifiée chez certains auteurs entraîne un effort d'interprétation des résultats, ce qui en limite, bien sûr, la validité. » (p. 100). Notre recherche, qui s'inscrit dans une démarche qualitative, n'est pas en mesure non plus de proposer des assertions statistiquement significatives. Ses soubassements méthodologiques envisagent plutôt la validité eu égard à la triangulation des données, plutôt que sur la base de vérifications statistiques entre les performances établies par

les sujets d'un groupe expérimental vs témoin. Notre étude se veut une contribution à une compréhension plus claire des enjeux didactiques que peuvent véhiculer les *serious games*, ayant pour horizon une conception artefactuelle plus pertinente et une intégration plus réussie des activités d'apprentissage qu'ils proposent. Nous espérons qu'elle ouvrira à d'autres travaux sur le fonctionnement des systèmes didactiques aux prises avec des *serious games*.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- Agarwal, R., & Karahanna, E. (2000). Time Flies When You're Having Fun: Cognitive Absorption and Beliefs about Information Technology Usage. *MIS Quarterly*, 24(4), 665-694.
- Altet, M. (1988). Les styles d'enseignement : un instrument d'analyse de la stabilité et de la variabilité des pratiques enseignantes, un outil de formation à l'auto-analyse, in *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*, Caen, Cerse, n° 4-5, p. 65 et suivantes.
- Altet, M. (1990). Pour faire un diagnostic de nos pratiques enseignantes : un descripteur : les styles d'enseignement. *Cahiers pédagogiques*, n° 289, 54-56.
- Alvarez, J. (2007). *Du jeu vidéo au serious game, approches culturelle, pragmatique et formelle*. (Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse).
- Alvarez, J., & Michaud, L. (2008). *Serious Games: Advergaming, edugaming, training and more*. IDATE.
- Amade-Escot, C. (1998). Apport des recherches didactiques à l'analyse de l'enseignement : une étude de cas, le contrat didactique. In C. Amade-Escot, J-P. Barrué, J-C. Bos, F. Dufor, M. Dugrand, A. Terrise (Eds.), *Recherches en EPS : Bilan et Perspectives*. (pp. 253-265). Paris : Revue EPS.
- Amade-Escot, C. (2002). Etude du travail de l'enseignant d'éducation physique dans la classe : contribution des recherches didactiques à l'analyse des pratiques effectives. In J.F. Marcel (Eds.), *Les Sciences de l'Education : des recherches, une discipline*, (pp. 53-78). Paris : L'Harmattan, Collection Savoir et Formation.
- Amade-Escot, C. (2003). La gestion interactive du contrat didactique en volley-ball : agencement des milieux et régulations du professeur. In C. Amade-Escot (Eds.), *Didactique de l'éducation physique - Etat des recherches* (pp. 240-264). Paris : Edition. Revue EPS.
- Amade-Escot, C., & Marsenach, J. (1995). *Didactique de l'éducation physique et sportive: Questions théoriques et méthodologies*. Grenoble : La pensée sauvage.
- Amade-Escot, C., & Venturini, P. (2009). Le milieu didactique : d'une étude empirique en contexte difficile à une réflexion sur le concept. *Education & Didactique*, 3(1), 7-43.
- Amato, E. A. (2011). Les utilités du jeu vidéo sérieux : finalités, discours et mises en corrélation. *La revue canadienne de l'apprentissage et de la technologie*, 37(2).
- Anderson, C. A. (2004). An update on the effects of playing violent videogames. *Journal of Adolescence*, 27(2), 113-122.
- Anderson, C. A., & Bushman, B. J. (2001). Effects of violent video games on aggressive behavior, aggressive cognition, aggressive affect, physiological arousal, and prosocial behavior: a meta-analytic review of the scientific literature. *Psychological Science*, 12(5), 353-359.
- Aristote. (1990). *Les Politiques, trad. Pierre Pellegrin*. Paris : Flammarion.
- Aristote. (1965). *Poétique trad. J. Hardy*. Paris : Les Belles Lettres.
- Artigue, M. (1990). Ingénierie didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 9(3), 281-308. La Pensée Sauvage. Grenoble.
- Barab, S., Warren, S., & Ingram-Goble, A. (2008). Academic Play Spaces. *Handbook of Research on Effective Electronic Gaming in Education* (pp. 1-20). Hershey, Pennsylvania. IGI Global publications.

Baron, G. L. (2006). Réflexions sur les TIC en éducation. Formation et Profession. Bulletin du CRIFPE, centre de recherche interuniversitaire sur la formation et la profession enseignante, Vol 12, n° 3, juin 2006 <<http://formation-profession.org/>>.

Baron, G. L. & Burkhardt, J. L. (2011). Education, formation et apprentissages à l'horizon 2030 : éléments issus d'un atelier de prospective pour la recherche. *STICEF*, Volume 18.

Becerril Ortega, R. (2008). *Contexte professionnel, contexte de la formation supérieure technologique, approche didactique. Les cas des formations utilisant des simulateurs informatiques*. Toulouse.

Becker, K. (2008). *The invention of good games: Understanding learning design in commercial video games*. (PhD thesis, University of Calgary).

Bensley, L., & Van Eeywyk, J. (2001). Video games and real-life aggression: review of the literature. *Journal of Adolescent Health*, 29(4), 244-257.

Berry, V. (2007). Les Guildes de joueurs dans l'univers de Dark Age of Camelot : apprentissages et transmissions dans un monde virtuel. *Revue française de pédagogie*, n°160, 75-86.

Beume, N., Danielsiek, H., Eichhorn, C., Naujoks, N., Preuss, M., Stiller, K., et al. (2008). Measuring flow as concept for detecting game fun in the Pac-Man game. *2008 IEEE Congress on Evolutionary Computation IEEE World Congress on Computational Intelligence*, 3448-3455.

Borba, M. C., Villarreal, M. E. (2005). *Humans-with-media and the reorganization of mathematical thinking: Information and communication technologies, modeling, visualization and experimentation*. New York: Springer.

Blanchard, E. G., & Frasson, C. (2007). Un système tutoriel intelligent inspiré des jeux vidéo pour améliorer la motivation de l'apprenant. *STICEF*, 1-17.

Brougère, G. (1995). *Jeu et éducation*. Paris : L'Harmattan.

Brougère, G. (2005). *Jouer/Apprendre*. Paris : Economica-Anthropos.

Brougère, G. (2008). Jeux vidéo et mise en scène du jeu. *MédiaMorphoses BrysurMarne. Les jeux vidéo un bien culturel*.

Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 7(2), 33-115.

Brousseau, G. (1988). Le contrat didactique : le milieu. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 9(3), 309-336.

Brousseau, G. (1996). *Les stratégies de l'enseignant et les phénomènes typiques de l'activité didactique*. Actes de la VIII école et université d'été de didactique des mathématiques. Clermont-Ferrand : IREM. 16-28.

Brousseau, G. (1997). *La Théorie des situations*. Cours donné à l'Université de Montréal. http://perso.orange.fr/daest/guy-brousseau/textes/TDS_Montréal.pdf.

Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques, en mathématique*. Grenoble : La pensée sauvage.

Brousseau, G. (2008). *Premières notes sur l'observation des pratiques de classes*.

http://visa.inrp.fr/visa/presentation/Seminaires/Journees_inaugurales/premieres_notes_observation.pdf. Consulté le 12/07/2012.

Bru, M. (2002). *Pratiques enseignantes : des recherches à conforter et à développer*. Revue Française de Pédagogie, n° 138.

Bru, M. (2004). Les pratiques enseignantes comme objet de recherche. In J.F. Marcel (Dir.) *Les pratiques enseignantes hors de la classe* (pp. 281-299). Paris/ L'harmattan, Savoir et Formation.

Bushman, B. J., & Gibson, B. (2010). Violent Video Games Cause an Increase in Aggression Long After the Game Has Been Turned Off. *Social Psychological and Personality Science*, 2(1), 29-32.

Caillois, R. (1958). *Les jeux et les hommes*. Paris : Gallimard.

Calmettes, B. (1996). *Contribution à l'étude de curriculums : le cas de l'enseignement de l'électrotechnique dans les classes du second degré des Lycées d'Enseignement Général et Technologique*. (Thèse en didactique des disciplines scientifiques, Université Paul Sabatier, Toulouse).

Castel, A. D., Pratt, J., & Drummond, E. (2005). The effects of action video game experience on the time course of inhibition of return and the efficiency of visual search. *Acta Psychologica*, 119(2), 217-230.

Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). *La charge cognitive*. Paris : Armand Colin.

Château, J. (1962). *Rousseau, Sa philosophie de l'éducation*. Paris : Vrin.

Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*. La Pensée Sauvage, Grenoble.

Chevallard, Y. (2007). « Education & didactique » : une tension essentielle. *Education et didactique*, 1(1), 9-27.

Chevallard, Y. (2009). La notion d'ingénierie didactique, un concept à refonder. Questionnement et éléments de réponse à partir de la TAD. *Cours donné à la 15e école d'été de didactique des mathématiques*. Clermont-Ferrand.

Cobb, P., Confrey, J., Disessa, A., Lehrer, R., & Schaube, L. (2003). Design Experiments. *Educational Research. Educational Researcher*, 32 (1), 9-13.

Coller, B. D., & Scott, M. J. (2009). Effectiveness of using a video game to teach a course on mechanical engineering. *Computation Education*, 53(1), 900-912.

Conseil Canadien sur l'apprentissage. (2009). *Jeux vidéo : influence néfaste sur le comportement, mais bénéfique sur l'apprentissage ?* Conseil Canadien sur l'apprentissage.

Cordova, D. I., & Lepper, M. (1996). Intrinsic motivation and the process of learning: Beneficial effects of contextualization, personalization, and choice. *Journal of Educational Psychology*, 88(4), 715-730.

Cowley, B., Charles, D., Black, M., & Hickey, R. (2008). Toward an understanding of flow in video games. *Computers in Entertainment CIE*, 6(2), 20.

Crawford, C. (2003). *Chris Crawford on game design*. Indianapolis: New Riders.

Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. New York, Harper and Row.

Csikszentmihalyi, M. (2006). *La créativité : psychologie de la découverte et de l'invention*. Robert Laffont.

De Freitas, S., & Maharg, P. (2010). *Digital Games and Learning*. London & New York: Continuum Press.

Egenfeldt-Nielsen, S. (2005). *Beyond Edutainment Exploring the Educational Potential of Computer Games* (PhD thesis, Université de Copenhague, Danemark).

Egenfeldt-Nielsen, S. (2006). Overview of research on the educational use of video games. *Digital Kompetanse*, 1(3), 184-213.

Esposito, N. (2005). A Short and Simple Definition of What a Videogame Is. In D. C. Suzanne & J. Jennifer (Eds.), *Changing Views: Worlds in Play: Proceedings of the 2005 Digital Games Research Association Conference* (p. 6). Vancouver: University of Vancouver.

Fastein, N. (2005). Understanding Fun: The Theory of Natural Funativity. *Introduction to Game Development*, 71-98.

Félicia, P. (2011). Literature review and best practice Objective of this Presentation. *Technology*.

Fenouillet, F. (1998). La nature de l'intérêt. *Revue de Psychologie de l'Éducation*, 3, 269-284.

Fenouillet, F. (2009). Serious games et motivation. *EIAH 2009* (pp. 41-52). Le Mans, Conférence EIAH.

Fenouillet, F. (2009a). *Vers une intégration des conceptions théoriques de la motivation. 1ère partie : Présentation du modèle intégratif de la motivation*. Paris : Université Paris Ouest Nanterre La Défense (Paris X).

Fenouillet, F. (2009b). *Vers une intégration des conceptions théoriques de la motivation. 2e partie : Présentation intégrée de 101 conceptions théoriques de la motivation*. Paris : Université Paris Ouest Nanterre La Défense (Paris X).

Fenouillet, F., Jonathan, K., & Nora, Y. (2009). Serious games et motivation. *Noûs*, 1-12.

Freedman, J. L. (2001). 'Evaluating the Research on Violent Video Games'. *Paper presented to the Playing the Rules Conference*. Chicago: Key Canadian academic who examines and critiques Anderson and Bushman's (2001) findings.

Freinet, C. (1960). *L'éducation du travail*, Paris, Delachaux et Niestlé.

Frété, C. (2002). *Le Potentiel des jeux vidéo pour l'éducation*. Genève : Université de Genève.

Freud, S. (1920). *Au-delà du principe de plaisir*. Paris : Payot, coll. "Petite Bibliothèque Payot".

Fu, F., Su, R., & Yu, S. (2009). EGameFlow: A scale to measure learners' enjoyment of e-learning games. *Computers & Education*, 52(1), 101-112.

Gagnepain, J. J. & André, J. C. (1996). Les savoirs des ingénieurs. In JM. Barbier (dir). *Savoirs théoriques et savoirs d'action*. Paris : PUF. p 91-100.

Galaup, M., Viallet, F., Amans-Passaga, C. (2010). *Conception d'un jeu sérieux en génie mécanique : identification des compétences et des savoirs à enseigner*. Séminaire doctoral de l'Ardist.

Galaup, M., & Lelardeux, C. (2012). Sur les traces des savoirs étudiés dans Mecagenius, un Serious Game en génie mécanique. *Septièmes rencontres scientifiques de l'Ardist*. Bordeaux.

Galaup, M., Amade-Escot, C., Montaut, T., & Viallet, F. (2012a). Mecagenius, a serious game for mechanical engineering in higher education : A trace driven analysis of knowledge and learning. Paper presented in network ICT in Education and Training. European Conference on Educational Research (ECER), Association: EERA, Cadix – 17-21 September.

Galaup, M., Lelardeux, C., & Lagarrigue, P. (2012b). Mesures et impacts de Mecagenius, un Serious Game en génie mécanique. *Colloque scientifique international du e-virtuoses 2012 « Evaluer et mesurer l'impact du serious game »*. Valenciennes, 23 Mai 2012.

Garris, R., Ahlers, R., & Driskell, J. (2002). Games, Motivation, and Learning: A Research and Practice Model. *Simulation & Gaming, 33*(4), 441-467.

Gee, J. P. (2003). *What video games have to teach us about learning and literacy*. New-York: Palgrave, Macmillan

Gee, J. P. (2004). *Situated Language and Learning: A Critique of Traditional Schooling*. London: Routledge.

Genvo, S. (2006). Les conditions de validité de l'immersion vidéoludique : pour une approche descriptive de la jouabilité. *Ludovia*. Saint-Lizier.

Genvo, S. (2008). "les jeux vidéo rendent-ils accro ?". *Actes du colloque éponyme* (p. 98). Poitiers : Éditions Rurart.

Gillet, P. (1991). *Construire la formation. Outils pour les enseignants et les formateurs*. Paris : Presses Universitaires de France.

Go, H. L. (2009). Des ingénieries didactiques de l'oeuvre, *Éducation et didactique, 3*(2), 7-45. Disponible sur <http://educationdidactique.revues.org/454>. Consulté le 28/09/2012.

Green, C. S., & Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature, 423*(6939), 534-537.

Green, C. S., & Bavelier, D. (2006). Enumeration versus multiple object tracking: the case of action video game players. *Cognition, 101*(1), 217-245.

Greenfield, P. (1994). Les jeux vidéo comme instruments de socialisation cognitive. *In Réseaux n° 67 CNET*, 33-56.

Greenfield, P. M., Brannon, C., & Lohr, D. (1994). Two-dimensional representation of movement through three-dimensional space: The role of video game expertise. *Journal of Applied Developmental Psychology, 15*(1), 87-103.

Griffiths, M. (1999). Violent video games and aggression: A review of the literature. *Aggression and Violent Behavior, 4*(2), 203-212.

Gunter, G. A., Kenny, R., & Vick, E. (2008). Taking educational games seriously: using the RETAIN model to design endogenous fantasy into standalone educational games. *Educational Technology Research and Development, 56*(5-6), 511-537.

Habgood, M. P., & Ainsworth, S. (2009). Motivating children to learn effectively: exploring the value of intrinsic integration in educational games. *The Journal of the Learning Sciences, 20*(2), 169-206.

Hall, S. (1883). *The Contents of Children's Minds*. Princeton Review.

Hamon, C. (2012). *Des enseignements techniques aux sciences de l'ingénieur. Analyse didactique et historique du processus de disciplinarisation depuis la Libération*. (Thèse de doctorat, Université Paris Descartes).

Hamon, C. & Lebeaume, J. (2013). La configuration curriculaire de la technologie au lycée : proposition pour une extension des approches comparatistes. In B. Daunay, Y. Reuter et A. Thépaut (Éds). *Les contenus disciplinaires*. Villeneuve d'Ascq : PUS.

Haninger, K., Ryan, M. S., & Thompson, K. M. (2004). Violence in Teen-Rated Video Games. *MedGenMed Medscape general medicine*, 6(1).

Hays, R. T. (2005). The Effectiveness of Instructional Games: A Literature Review and Discussion. *Distribution*, 106(2005-004), 63.

Henriot, J. (1989). *Sous couleur de jouer*. Paris : José Corti.

Heutte, J. (2011). *La part du collectif dans la motivation et son impact sur le bien-être comme médiateur de la réussite des étudiants : complémentarités et contributions entre l'autodétermination, l'auto-efficacité et l'autotélisme*. Paris : Université Paris Ouest Nanterre La Défense.

Heutte, J., & Fenouillet, F. (2010). Propositions pour une mesure de l'expérience optimale (état de Flow) en contexte éducatif. *Actes du 8e congrès international d'actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF)* (pp. 1-8). Genève.

Huizinga, J. (1951). *Homo ludens : essai sur la fonction sociale du jeu*. Paris : Gallimard.

Husain, L. (2011). *Getting serious about math: serious game design framework and an example of a math educational game*. Lunds University, Sweden.

Jaillet, A. (2009). Traces et histoires de traces. Dans F. Larose, & A. Jaillet, *Le numérique dans l'enseignement et la formation - Analyses, traces et usages* (pp. 15-36). Paris : L'Harmattan.

Johsua, S. (1998). Des « savoirs » et de leur étude : vers un cadre de réflexion pour l'approche didactique, (pp. 1-15), In AFIRSE (Eds), *L'année de la recherche en sciences de l'éducation*. Paris : PUF.

Kant, E. (1989). *Réflexions sur l'éducation Traduction, (1803) par A. Philonenko*. Paris : Vrin Librairie Philosophiques.

Kebritchi, M., Hirumi, A., & Bai, H. (2010). The effects of modern mathematics computer games on mathematics achievement and class motivation. *Computers & Education*, 55(2), 427-443.

Kirriemuir, J., & McFarlane, A. (2004). Literative review in games and learning. *Future-Lab Report*, 1-39.

Lebeaume, J. (2000). *L'éducation technologique. Histoires et Méthodes*. Paris : ESF.

Lebeaume, J. (2010). *Vers la technologie pour tous les collégiens : genèse d'une discipline. Pour une approche curriculaire de l'histoire des enseignements scolaires*. Colloque international. Réformer les disciplines scolaires XIXe-XXe siècles. Caen 29 et 30 septembre.

Lebeaume, J. (2011). L'éducation technologique au collège : un enseignement pour questionner la refondation du curriculum et les réorientations des disciplines. *Éducation & Didactique*, 5(2), 7-22.

Lebeaume, J., & Cartonnet, Y. (2003). Quelques orientations introductives pour un bilan de recherches en didactique des disciplines technologiques, *Actes du séminaire des didactiques des disciplines technologiques*, Cachan (2001-2002). Ed : Association Tour 123. p. 31-42

Le Boterf, G. (1995). De la compétence, essai sur un attracteur étrange. Paris : Les Editions d'organisation.

Le Boterf, G. (1997). Compétence et navigation professionnelle. Paris : Les Editions d'organisation.

Lee, J., Luchini, K., Michael, B., Norris, C., & Soloway, E. (2004). More than just fun and games: assessing the value of educational video games in the classroom. *CHI '04 extended abstracts on Human factors in computing systems*, 1375-1378.

Lesne, M. (1977). Travail pédagogique et formation d'adultes : éléments d'analyse. Paris : PUF.

Leutenegger, F. (2000). *L'observation en classe ordinaire de mathématiques*. Colloque « autour de la théorie des situations didactiques », Bordeaux, France.

Leutenegger, F. (2001). Un atelier de mathématiques : pratiques enseignantes. Dans M. Bru, J.J. Maurice (Eds.), *Les pratiques enseignantes-contribution plurielle*. Dossiers de sciences de l'éducation, n° 5. Toulouse : Presses Universitaires du Mirail.

Leutenegger, F. (2003). *Etude des interactions didactiques en classe de mathématiques : un prototype méthodologique*. Numéro spécial Bulletin de psychologie, tome 56(4), 466, 559-571.

Leutenegger, F. (2009). *Le temps d'instruire. Approche clinique et expérimentale du didactique ordinaire en mathématique*. Berne : Peter Lang.

Levrieux, G. (2011). *Mesure de la difficulté dans les jeux vidéo*. (Thèse de doctorat, CNAM, Paris).

Lieberman, D. A. (2001). Management of chronic pediatric diseases with interactive health games: theory and research findings. *The Journal of ambulatory care management*, 24(1), 26-38.

Lobato, J., Clarke, D. & Ellis, A. (2005). Initiating and Eliciting in Teaching : A Reformulation of Telling. *Journal for Research in Mathematics Education*. 36(2), pp 101-136.

Loveless, A. M. (2002). Literature Review in Creativity, New Technologies and Learning. *Learning*, 4, 1-40.

Lynch, J., Aughwane, P., & Hammond, T. M. (2010). Video games and surgical ability: a literature review. *Journal Of Surgical Education*, 67(3), 184-189.

Mackinnon, M., Gallant, M., & Herbert, R. (2000). The first day of class: breaking the ice. *Nurse Educator*, 25(3), 107-113.

Malone, T. W. (1980). What makes things fun to learn ? A study of intrinsically motivating computer games. *Pipeline*.

Malone, T. W. (1981). What makes computer games fun ? *Byte*, 6(12), 258-276.

Malone, T. W., & Lepper, M. R. (1987). Making learning fun: A taxonomy of intrinsic motivations for learning. *Aptitude, Learning and Instruction*, 223-253.

Marcel, J. F. (2010). De tensions entre le « sur » et le « pour » dans la recherche en éducation : question (s) de postures (s). *Cahiers du CERFEE*, 27-28, p. 41-64.

Marcel, J. F., Orly, P., Rothier-Bautzer E. et Sonntag M. (2002). Les pratiques comme objet d'analyse, *Revue française de pédagogie*, n° 138, 135-170.

Margolinas, C. (1993). *De l'importance du vrai et du faux dans la classe de mathématique*. Grenoble : La pensée sauvage.

Marlot, C., Sensevy, G. (2004). La dévolution du rapport aux objets du milieu dans le travail du professeur : une étude de cas. Symposium *Travail du professeur et dévolution dans les classes ordinaires*. Actes du cinquième congrès d'actualité de la recherche de l'AECSE. Paris, septembre 2004, CNAM.

Marquet, P. (2003). L'impact des TIC dans l'enseignement et la formation : mesures, modèles et méthodes. Contribution à l'évolution du paradigme comparatiste des usages de l'informatique en pédagogie. (HDR soutenue le 3 octobre 2003).

Martinand, J. L. (1981). Pratiques sociales de référence et compétences techniques. A. Giordan & J.L. Martinand (Eds.). *In Actes des 3ème JIES*. Chamonix.

Martinand, J. L. (1983). Questions pour la recherche : la référence et le possible dans les activités scientifiques scolaires, in G. Delacôte & A. Tiberghien (coord.) *Recherche en didactique de la physique : les actes du premier atelier international*. Paris : Editions du CNRS. p. 227-249.

Martinand, J. L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.

Martinand, J. L. (1987). Quelques remarques sur les didactiques des disciplines. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*. n° 1-2.

Martinand, J.-L. (1989). Pratiques de référence, transposition didactique et savoirs professionnels en sciences techniques. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*, n° 2, 23-29.

Martinand, J. L. (1996). D'où est venue la didactique ? *Education*, n° 7, 22-25.

Martinand, J. L. (2001). Pratiques de référence et problématique de la référence curriculaire. In A. Terrisse (Eds.), *Didactique des disciplines. Les références au savoir*. Bruxelles : De Boeck Université, 17-24.

Mercier, A. (1992). L'élève et les contraintes temporelles de l'enseignement, un cas en calcul algébrique. (Thèse de doctorat. IREM d'Aquitaine, Bordeaux).

Martinand, J. L. (2003). *La question de la référence en didactique du curriculum*. Disponible sur http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID100/v8_n2_a2003.pdf. Consulté le 17/09/2012. p. 125-130.

Michael, D., & Chen, S. (2006). *Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform*. Boston: Thomson Publishing.

Mitchell, A., & Savill-Smith, C. (2004). The use of computer and video games for learning: A review of the literature. *Learning and Skills development agency*.

Murillo, A., Becerril, R., & Fraysse, B. (2011). Les prises d'information dans les activités professionnelles : des éléments à prendre en compte en formation. *Travail et apprentissages*, 8, 30-47.

Nachez, M., & Schmoll, P. (2003). Violence et sociabilité dans les jeux vidéo en ligne. *Sociétés*, 82(4), 5-17.

Navarro, E. O., & Hoek, A. V. (2007). Comprehensive Evaluation of an Educational Software Engineering Simulation Environment. *20th Conference on Software Engineering Education Training CSEET07*, pp. 195-202.

- Noss, R., & Hoyles, C. (1996). *Windows on mathematical meanings: learning cultures and computers*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Novak, T. P., & Hoffman, D. L. (1997). Measuring the flow experience among web users. *Interval Research Corporation*, 31.
- Novak, T. P., Hoffman, D. L., & Yung, Y. F. (2000). Measuring the flow construct in online environments: A structural modeling approach. *Interval Marketing Science*, 19(1), 22-42.
- Okagaki, L., & French, P. A. (1994). Effects of video game playing on measures of spatial performance: Gender effects in late adolescence. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 15(1), 33-58.
- Owston, R., Wideman, H., Ronda, N., & Brown, C. (2009). Computer game development as a literacy activity. *Computers & Education*, 53(3), 977-989.
- Papastergiou, M. (2009). Digital Game-Based Learning in high school Computer Science education: Impact on educational effectiveness and student motivation. *Computers & Education*, 52(1), 1-12.
- Pastré, P. (1992). Requalification des ouvriers spécialisés et didactique professionnelle. *Éducation permanente*, n° 111. p. 33-54.
- Pastré, P. (1999). La conceptualisation dans l'action : bilan et nouvelles perspectives. *Éducation Permanente* n° 139, p. 13-35.
- Pastré, P. (2005). La conception de situations didactiques. In P. Rabardel & P. Pastré (Ed), *Modèles du sujet pour la conception*. Collection travail & activité humaine. Toulouse : Octares. p. 73-107.
- Pastré, P. (2006). Apprendre par l'action, apprendre par la simulation. *Éducation Permanente* n° 168. p. 205-216.
- Pastré, P., Mayen, P. & Vergnaud, G. (2006). La didactique professionnelle. Note de synthèse. *Revue Française de Pédagogie* n° 154, p. 145-198.
- Perrenoud, P. (1994). Curriculum : le réel, le formel, le caché. In Houssaye, J. (dir.) *La pédagogie : une encyclopédie pour aujourd'hui*, Paris, ESF, 2e édition, pp. 61-76.
- Perrot, N. (2010). *Réforme de la série STI : « Une déprofessionnalisation complète et assumée des enseignements »*. Entretien accordé à l'AEF. Agence d'informations spécialisées - enseignement et formation. 22 décembre 2010. Dépêche n° 142758.
- Perriault, J. (1994). L'acquisition et la construction de connaissances par les jeux informatisés. *Réseaux* (67).
- Piaget, J. (1967). *Biologie et connaissance : Essai sur les relations entre les régulations organiques et les processus cognitifs*. Paris : Gallimard.
- Piaget, J. (1974). *La prise de conscience*. Paris : PUF.
- Platon. (1968). *Mimèsis, la représentation de la réalité dans la littérature occidentale*. trad. E. Auerbach. Gallimard.
- Prensky, M. (2001). Digital Natives. *Digital Immigrants*, 6(5), 458-463.
- Prensky, M. (2003). Digital Game-Based Learning. *Computers in Entertainment*, 1, p. 21.
- Prensky, M. (2006). *Don't bother me mom - I'm learning!* Paragon House Publishers.

Rabardel, P. (1995). Eléments pour une approche anthropocentrique des techniques dans le système éducatif, *Actes du Séminaire de didactiques des disciplines technologiques*, Cachan, (1993-1994). Ed : Association Tour 123. p. 5-18.

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains*, Paris : Armand Colin.

Rabardel, P., & Duvenci-Langa, S. (2004). « Dynamique des compétences et dynamique des situations ». In R. Samurçay & P. Pastré (Eds.), *Recherches en didactique professionnelle* (pp. 67-81). Toulouse : Octares.

Radford, L. (2003). Gestures, Speech, and the Sprouting of Signs: A Semiotic-Cultural Approach to Students' Types of Generalization, *Mathematical Thinking and Learning*, 5(1), 37-70.

Rankin, Y. A., & Shute, M. W. (2010). Re-purposing a recreational video game as a serious game for second language acquisition. Dans J. Cannon-Bowers & C. Bowers (Eds.), *Serious game design and development: Technologies for training and learning* (pp. 178-195). Floride, USA: Hershey, PA: Information Science Reference.

Reuter, Y. (ed). (2007). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques*. Bruxelles : De Boeck.

Rey, B. (1996). *Les compétences transversales en question*. Paris : ESF, Collection pédagogie.

Rogalski, J. (2004). La didactique professionnelle : une alternative aux approches de « cognition située » et « cognitiviste » en psychologie des acquisitions. *Revue @ctivites*, n° 1. Disponible sur [http:// www.activites.org/v1n2/Rogalski.pdf](http://www.activites.org/v1n2/Rogalski.pdf). Consulté le 12/07/2012. p. 103-120.

Rosser, J. C., Lynch, P., Cuddihy, L., Gentile, D., Klonsk, J., & Merrell, R. (2007). The impact of video games on training surgeons in the 21st century. *Archives of surgery*, 142(2), 181-186.

Roubidoux, M. A., Chapman, C. M., & Piontek, M. E. (2002). Development and Evaluation of an Interactive Web-Based Breast Imaging Game for Medical Students. *Academic Radiology*, 9(10), 1169-1178.

Rousseau, J. L. (1762). *L'Émile ou de l'éducation*. Paris : Garnier-Flamarion.

Rowe, J. P., Shores, L. R., Mott, B. W., & Lester, J. C. (2010). Integrating learning and engagement in narrative-centered learning environments. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 166-177.

Ryan, R. M., & Deci, E. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 54-67.

Ryan, R. M., & Deci, E. (2002). Overview of self-determination theory: An organismic-dialectical perspective. *Handbook of Self-determination Research* (pp. 3-33). University of Rochester Press.

Ryan, R. M., Rigby, C. S., & Przybylski, A. (2006). The Motivational Pull of Video Games: A Self-Determination Theory Approach. *Motivation and Emotion*, 30(4), 344-360.

Salen, K., & Zimmerman, E. (2003). *Rules Of Play: Game Design Fundamentals*. Cambridge: The MIT press.

Samurçay, R., & Rabardel, P. (2004). Modèles pour l'analyse de l'activité et des compétences, propositions. In R. Samurçay & P. Pastré (Eds.), *Recherches en didactique professionnelle* (pp. 161-180). Toulouse : Octares.

Sanchez, E. (2009). Playing in the Classroom to Learn Geology: An Empirical Study about the Uses of a Serious Game. *ESERA 2009*. Istanbul (Turquie): ESERA.

Sanchez, E., & Prieur, M. (2009). Spore, un jeu sérieux pour comprendre l'évolution biologique ? *Dossiers de l'ingénierie éducative*, n° 65, 18-21.

Sanchez, E. (2011). Usage d'un jeu sérieux dans l'enseignement secondaire : modélisation comportementale et épistémique de l'apprenant. Jeux sérieux, révolution pédagogique ou effet de mode ? *Revue d'Intelligence Artificielle, numéro spécial Serious Game*, 25(2), 203-222.

Sanchez, E., Ney, M., & Labat, J. M. (2011). Jeux sérieux et pédagogie universitaire : de la conception à l'évaluation des apprentissages. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire / International Journal of Technologies in Higher Education*, 8(1-2), 46-57.

Sauvé, L., Renaud, L., Kaufman, D., Kaszap, M., IsaBelle, C., Gauvin, M., et al. (2005). *Revue systématique des écrits (1998-2005) sur les impacts du jeu, de la simulation et du jeu de simulation*. Teleuniversité. Québec : SAGE et SAVIE.

Sauvé, L., Renaud, L., & Gauvin, M. (2007). Une analyse des écrits sur les impacts du jeu sur l'apprentissage. *Revue des sciences de l'éducation*, 33(1), 89-107.

Sauvé, L., & Kaufman, D. (2010). *Jeux de simulations éducatifs : Etudes de cas et leçons apprises*. Québec, Canada : Presse de l'Université du Québec.

Sauvé, L., Renaud, L., & Kaufman, D. (2010). L'efficacité des jeux et des simulations sur l'apprentissage. Dans L. Sauvé, & D. Kaufman, *Jeux et Simulations Educatifs. Etude de cas et leçons apprises* (pp. 339-364). Québec : Presses de l'Université du Québec.

Sauvé, L., Villardier, L., & Probst, W. (2010). Les jeux en ligne multijoueurs. Un outil puissant pour apprendre à communiquer et à travailler en équipe. Dans L. Sauvé, & D. Kaufman, *Jeux et Simulations Educatifs. Etude de cas et leçons apprises* (pp. 237-262). Québec : Presses de l'Université du Québec.

Sawyer, B., & Smith, P. (2008). *Serious Games Taxonomy*. Serious Game Initiative.

Schiller, F. (1795). *Lettres sur l'éducation esthétique de l'homme*. Paris : Aubier. Traduction et préface : R Leroux, première publication en 1943.

Schmoll, L., & Schmoll, P. (2010). Communautés de jeu et motivations à apprendre. Les hypothèses didactiques de Thélème, un jeu multi-joueurs en ligne pour l'apprentissage des langues. *Eurocall Conférence* (pp. 1-4). Bordeaux : Eurocall.

Schubauer-Léoni, M. L. (1998). Les sciences didactiques parmi les sciences de l'éducation : L'étude du projet scientifique de la didactique des mathématiques. *Raisons Educatives*, n° 1-2, 329-352.

Schubauer-Léoni, M. L. (2008). *La construction de la référence dans l'action conjointe professeur-élèves*. In N. Wallian, M. P. Poggi, & M. Musard (Eds.). *Co-construire des savoirs : les métiers de l'intervention dans les APSA* (pp. 67-86). Besançon : Presses Universitaires de Franche Comté.

Schubauer-Léoni, M. L. & Leutenegger, F (2002). Expliquer et comprendre dans une approche clinique/expérimentale du didactique ordinaire. In F. Leutenegger et M. Saada-Robert

(Eds.). *Expliquer et comprendre en sciences de l'éducation*. (pp. 227-251). Bruxelles : De Boeck, Raisons éducatives.

Schubauer-Léoni, M. L. & Leutenegger, F. (2005). Une relecture des phénomènes transpositifs à la lumière de la didactique comparée. *Revue Suisse des Sciences de l'éducation*, 27, 407-429.

Sensevy, G. (2001). Modèle de l'action du professeur, nécessités, difficultés in *Usages et mésusages des théories de l'enseignement*, Mercier, A. Lemoyne, G. & Rouchier, A. (éds), Bruxelles : De Boeck Université.

Sensevy, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action conjointe. In G. Sensevy et A. Mercier (Eds.). *Agir ensemble, l'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (pp. 13-49). Presse universitaire de Rennes.

Sensevy, G. (2011). *Le Sens du Savoir. Eléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. Bruxelles : De Boeck.

Sensevy, G. & Mercier, A. (2007). Agir ensemble : l'action didactique conjointe. In G. Sensevy & A. Mercier (dir), *Agir ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Rennes : Presses Universitaires de Rennes.

Sensevy, G., Mercier, A., & Schubauer-Léoni, M. L. (2000). Vers un modèle de l'action didactique du professeur à propos de la course à 20. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 20, 3, 263-304.

Shaffer, D. W. (2006a). Epistemic Frames for Epistemic Games. *Computers and Education*, 46(3), 223.

Shaffer, D. W. (2006b). How video games help children learn. *Science Education*, 92, 378-381.

Sherry, J. L. (2001). The effects of violent videogames on aggression: a meta analysis. *Human Communication Research*, 27(3), 409-431.

Sherry, J. L. (2004). Flow and Media Enjoyment. *Communication Theory*, 14(4), 328.

Siekpe, J. S. (2005). An examination of the multidimensionality of flow construct in a computer-mediated environment. *Journal of Electronic Commerce Research*, 6(1), 31-43.

Sitzmann, T., Ely, K., Bell, B., & Bauer, K. (2010). The effects of technical difficulties on learning and attrition during online training. *Journal of Experimental Psychology Applied*, 16(3), 281-292.

Sorensen, B., & Meyer, B. (2007). Serious Games in language and learning a theoretical perspective. *Digital Games Research Association 2007 Conference* (pp. 559-566). Situated Play, Tokyo: Digital Games Research Association.

Squire, K., & Barab, S. (2004). Replaying history: engaging urban underserved students in learning world history through computer simulation games. *Proceedings of the 6th international conference on Learning sciences*. (pp. 505-512). Santa Monica: International Society of the Learning Sciences.

Squire, K., & Jean, M. (2007). Mad City Mystery: Developing Scientific Argumentation Skills with a Place-based Augmented Reality Game on Handheld Computers. *Journal of Science Education and Technology*, 16(1), 5-29.

Squire, K., Barnett, M., Grant, J., & Higginbotham, T. (2004). Electromagnetism super-charged! Dans *ICLS 04 Proceedings of the 6th international conference on Learning sciences* (pp. 513–520). Los Angeles.

Steinkuehler, C., & Duncan, S. (2009). Informal scientific reasoning in online virtual worlds. *Journal of Science Education & Technology*.

Subrahmanyam, K., Greenfield, P., Kraut, R., & Gross, E. (2001). The impact of computer use on children's and adolescents' development. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 22(1), 7-30.

Sutter Widmer, D., & Szilas, N. (2011). Un temps pour jouer, un temps pour écouter ? L'effet de la position des explications théoriques dans un jeu pédagogique sur l'immersion et les performances en algèbre élémentaire. *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Conférence EIAH 2011*, 423-433.

Sweetser, P., & Wyeth, P. (2005). GameFlow: a model for evaluating player enjoyment in games. *Computers in Entertainment*, 3(3).

Thorne, K. (2003). Blended learning: how to integrate online and traditional learning. London : Kogan Page.

Tisseron, S. (2000). *Enfants sous influence : les écrans rendent-ils les jeunes violents ?* Paris : Armand Colin.

Toprac, P. (2011). Motivating by design: an interesting digital-game based learning environment. In P. Felicia (Ed), *Improving learning and motivation through educational games: multidisciplinary approaches*. Hershey: Idea Group Reference.

Trémel, L. (2001). Les "jeux vidéo" : un ensemble à déconstruire, des pratiques à analyser. *Revue Française de Pédagogie n° 136*, 147-157.

Trouche, L. (2005). Des artefacts aux instruments, une approche pour guider et intégrer les usages des outils de calcul dans l'enseignement des mathématiques. *Actes de l'Université d'été de Saint-Flour. Le calcul sous toutes ses formes*. Accès : http://www3.ac-clermont.fr/pedago/maths/pages/site_math_universite/CD-UE/Texte_16.doc.

Tüzün, H., Yılmaz-Soylu, M., Karakuş, T., İnal, Y., & Kızılkaya, G. (2009). The effects of computer games on primary school students achievement and motivation in geography learning. *Computers & Education*, 52(1), 68-77.

Van Eck, R. (2010). *Interdisciplinary Models and Tools for Serious Games: Emerging Concepts and Future Direction*. (I. Global, Éd.) R. Van Eck, Ed.

Verscheure, I. (2005). *Dynamique différentielle des interactions didactiques et co-construction de la différence des sexes en Education Physique et Sportive : Le cas de l'attaque en volley-ball en lycées agricoles*. Thèse de doctorat en Sciences de l'éducation, non publiée, Université Paul Sabatier, Toulouse III, 25 novembre.

Vergnaud, G. (1990). La théorie de Champs Conceptuels. *Recherches en didactiques de mathématiques, Vol 10, n° 2.3*. Grenoble : La Pensée Sauvage. p. 133-170.

Vérillon, P. (1998). Unité et diversité de la technologie, *Actes du Séminaire de didactiques des disciplines technologiques*, Cachan, (1996-1997). Ed : Association Tour 123. p. 5-16.

Vérillon, P. (2001). Relecture de l'ouvrage: How engineers know and how they know it: analytical studies from aeronautical history de W.G.Vicenti (1992). *Actes du Séminaire de di-*

dactiques des disciplines technologiques, Cachan, (1999-2001). Ed : Association Tour 123. p. 144-153.

Verret, M. (1975). *Le temps des études*. Librairie Honoré Champion, Paris.

Vidal-Gomel, Ch. & Rogalski, J. (2007). La conceptualisation et la place des concepts pragmatiques dans l'activité professionnelle et le développement des compétences. *Revue activités vol 4 n° 1*. Disponible sur <http://www.activites.org>. Consulté le 12/07/2012.

Wallon, H. (1941). *L'évolution psychologique de l'enfant*. A. Colin, Paris.

Wainess, R. (2007). The potential of games & simulations for learning and assessment. *The future of the Test-based Educational Accountability*. Los Angeles, CA: the 2007 CRESST Conference.

Wastiau, P., Kearney, C., & Van den Berghe, W. (2009). How are digital games used in schools? Complete results of the study. 1-174.

Winicott, D. W. (1971). *Jeu et réalité, l'espace potentiel*. Gallimard.

Wouters, P., Van der Spek, E., & Van Oostendorp, H. (2009). Current practices in serious game research: a review from a learning outcomes perspective. Dans T. a. Connolly, *Games-Based Learning Advancements for Multi-Sensory Human Computer Interfaces: Techniques and Effective Practices* (p. 394). IGI Global.

Young, M. F., Slota, S., B. Cutter, A., Jalette, G., Mullin, G., Lai, B., et al. (2012). Our Princess Is in Another Castle: A Review of Trends in Serious Gaming for Education. *Review of Educational Research*, 82(1), 61-89.

Zyda, M. (2005). From Visual Simulation to Virtual Reality to Games. *IEEE Computer Society*, 38(9), 25-32.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION GENERALE	9
------------------------------------	----------

PREMIERE PARTIE : Cadre théorique et méthodologies	13
---	-----------

Chapitre 1 : Le jeu - les jeux et les perspectives éducatives : état de la question	14
--	-----------

1. Le(s) jeu(x) et l'éducation	16
---	-----------

1.1. Une problématique transversale à plusieurs champs des sciences humaines et sociales	16
1.1.1. Jeu et éducation selon l'approche philosophique	16
1.1.2. Les approches anthropologiques et socioculturelles du jeu	18
1.1.3. Jeu et éducation selon l'approche psychanalytique	20
1.1.4. Jeu et éducation selon l'approche psychologique	21
1.1.4.1. Le jeu, nécessité biologique	21
1.1.4.2. Le jeu dans le développement psychologique de l'enfant et de l'adolescent	22
1.2. Le(s) jeu(x) et les problématiques d'éducation et de formation	24
1.2.1. Le débat sur le jeu en éducation	24
1.2.2. Une problématique de l'école nouvelle et des mouvements pédagogiques	25
1.2.3. Jeu - jeux et didactique	26
1.3. Conclusion	28

2. Jeux vidéo et des jeux sérieux en contexte éducatif	29
---	-----------

2.1. Vers une définition des jeux vidéo et des jeux sérieux	30
2.2. Les impacts éducatifs des jeux vidéo et des jeux sérieux	33
2.2.1. Jeux vidéo, jeux sérieux et motivation	33
2.2.2. La contribution controversée quant au développement des joueurs	36
2.2.2.1. Capacités attentionnelles	36
2.2.2.2. Habiletés perceptives et motrices	37
2.2.2.3. Impacts en termes de socialisation	39
2.3. Jeux vidéo et jeux sérieux en milieu scolaire et universitaire	40
2.3.1. Jeux vidéo et jeux sérieux et développement de compétences transversales	41
2.3.2. Jeux vidéo et jeux sérieux et acquisitions de savoirs disciplinaires	43
2.3.2.1. L'enseignement des sciences et des techniques	43
2.3.2.2. L'enseignement des disciplines littéraires	45
2.4. Pour conclure de l'intérêt des jeux vidéo et des jeux sérieux dans l'enseignement et la formation	47
2.5. Que retenons nous de cet état de l'art ?	48

Chapitre 2 : Une inscription théorique de la recherche en didactique	51
---	-----------

1. Economie générale de la thèse	52
---	-----------

2. Situer notre recherche parmi les démarches d'essais et évaluations de prototypes didactiques	53
--	-----------

2.1. Le <i>Design Experiment</i>	54
2.2. L'ingénierie didactique	54
2.3. L'ingénierie didactique coopérative	55
2.4. L'essai-évaluation	56
2.5. Caractériser notre recherche	57

3. Une recherche en didactique	59
3.1. La transposition didactique	59
3.1.1. Les théories de la transposition didactique	59
3.1.2. Savoirs - compétences - contenus d'enseignement	61
4. Cadres conceptuels	63
4.1. Le programme épistémologique	63
4.1.1. Filiation avec la recherche antérieure <i>Mouv</i>	64
4.1.1.1. Les fondements de la didactique professionnelle	64
4.1.1.2. Les points d'appuis sur la recherche <i>Mouv</i> : analyse des activités des opérateurs	68
4.1.2. L'analyse des curriculums et les choix transpositifs pour le serious game de l'action conjointe professeur-élèves	71
4.2. Le programme didactique	73
4.2.1. Les descripteurs de l'action conjointe professeur-élèves	73
4.2.2. Le concept de milieu didactique	75
4.2.3. Le concept de contrat didactique	76
4.3. Le programme cognitif	77
4.4. Conclusion sur le cadre conceptuel	78
5. Mecagenius : un artefact permettant d'interroger le fonctionnement du système didactique ?	79

Chapitre 3 : Problématique et questions de recherche.....82

1. Environnement dans lequel s'insère la recherche de thèse : projet Mecagenius	83
1.1. Cadre général du projet	83
1.1.1. L'étape de la conception	84
1.1.2. Présentation du projet Mecagenius	84
1.1.3. Le <i>serious game</i> Mecagenius	85
1.1.4. Fonctionnement de l'équipe de conception dans le projet	87
1.1.5. Conduite du projet Mecagenius	89
1.2. Structure de Mecagenius	92
1.2.1. Les mini-jeux	92
1.2.2. Le méta-jeu	94
1.2.3. La boîte noire : enregistrement du parcours de jeu	94
2. Postures de recherche	95
3. Problématique et questions de recherche	98

Chapitre 4 : Méthodes de recherche mises en oeuvre102

1. Méthodes mises en œuvre relativement au programme épistémologique	103
1.1. L'analyse des référentiels scolaires et professionnels	104
1.2. L'étude des besoins des enseignants	106
1.2.1. Construction de la grille d'entretien	106
1.2.2. Tester la grille d'entretien	107
1.2.3. Le recueil des données	108
1.2.4. Le traitement des données	108
2. Méthodes mises en œuvre pour la contribution au programme didactique	109
2.1. Contexte de l'étude	109
2.2. Le recours à une méthodologie d'observation du didactique ordinaire	110
2.2.1. Les sites d'observation	110
2.2.2. Modalités de recueil des données	111

2.2.2.1. Entretien <i>ante</i> séance	111
2.2.2.2. Déroulement des observations	112
2.2.2.3. Entretien <i>post</i> séance	113
2.3. Traitement des données d'observation	113
2.3.1. L'analyse macroscopique des observations	113
2.3.2. L'analyse microdidactique de courts épisodes et d'événements significatifs	114
2.3.3. Les synopsis des séances observées	115
2.3.4. Le repérage des courts épisodes ou événements remarquables	116
2.3.5. L'analyse des épisodes et des événements remarquables	117
3. Méthodes mises en œuvre pour la contribution au programme cognitif	117
3.1. Fondement théorique de la méthode utilisée	118
3.2. Description de la méthode mise en œuvre	118
3.2.1. L'analyse des traces informatiques	119
3.2.1.1. Segmentation du corpus	120
3.2.2. Description des mini-jeux : analyse a priori	122
3.2.2.1. Les indices d'usinage retenus	122
3.2.2.2. Le mini-jeu « le roi de la pref »	123
3.2.2.3. Le mini-jeu « l'as de la fab »	125
3.3. Inférer des stratégies de jeu à partir des traces informatiques : Traitement des données	126
4. Conclusion sur les méthodes de recherche mises en œuvre	128

DEUXIEME PARTIE : Résultats.129

Chapitre 1 : Analyse épistémologique et technologique des savoirs de Mecagenius (contribution à la conception d'un *serious game*)130

1. La prise en compte des référentiels scolaires et professionnels	131
1.1. Contribution d'analyse à la construction des mini-jeux	132
1.2. Conclusion	135
2. L'étude des besoins des enseignants	136
2.1. Analyse des classes de discours des enseignants de génie mécanique	139
2.1.1. Classe 3 : Enjeux disciplinaires, culture technique et difficultés des élèves	139
2.1.2. Classe 2 : Les difficultés d'utilisation des MOCN	141
2.1.3. Classe 1 : L'organisation de l'enseignement du génie mécanique à l'université	144
2.2. Commentaires sur les discours des enseignants	146
3. Contribution de ces deux études à la réalisation de Mecagenius	147
4. Conclusion de l'analyse épistémologique et technologique des savoirs de Mecagenius	150
4.1. Synthèse du travail effectué	150
4.2. Retour sur la conception : contraintes de l'artefact et problèmes transpositifs	151
4.2.1. Retours sur les choix lors de la conception des mini-jeux	151
4.2.2. Regards sur la conception de l'ensemble des mini-jeux	153

Chapitre 2 : Le fonctionnement du système didactique aux prises avec l'artefact Mecagenius (usages didactiques du *serious game*)154

1. Brève présentation des observations effectuées	156
--	------------

2. L'analyse macroscopique	157
2.1. Les enseignants de lycée	157
2.1.1. L'enseignant E1 de lycée	157
2.1.2. L'enseignant E2 de lycée	161
2.1.3. Conclusions pour les enseignants de lycée	163
2.2. Les enseignants de l'IUT	164
2.2.1. L'enseignant E1 de l'IUT	164
2.2.2. L'enseignant E2 de l'IUT	166
2.2.3. Conclusions pour les enseignants de l'IUT	168
2.3. Les enseignants de l'université	168
2.3.1. L'enseignant E1 de l'université	169
2.3.2. L'enseignant E2 de l'université	170
2.3.3. Conclusions pour les enseignants de l'université	172
2.4. Conclusion générale de l'analyse macroscopique	173
3. L'analyse microdidactique	175
3.1. Les enseignants de lycée	177
3.1.1. L'enseignant E1 de lycée	177
3.1.1.1. Analyse microdidactique de quelques extraits de la séance n° 1	178
3.1.1.2. Analyse microdidactique de quelques extraits de la séance n° 2	188
3.1.1.3. Analyse microdidactique de quelques extraits de la séance n° 3	200
3.1.1.4. Analyse microdidactique de quelques extraits de la séance n° 4	205
3.1.1.5. Pour conclure sur les usages de Mecagenius par E1	208
3.1.2. L'enseignant E2 de lycée	208
3.1.2.1. Analyse microdidactique de quelques extraits de la séance n° 1	208
3.1.2.2. Analyse microdidactique de quelques extraits de la séance n° 2	216
3.1.2.3. Pour conclure sur les usages de Mecagenius par E2	221
3.2. L'enseignant de l'IUT	222
3.2.1. Analyse microdidactique de quelques extraits de la séance n° 2	222
3.2.2. Pour conclure sur l'enseignant E1 de l'IUT	230
4. Conclusion sur les usages de l'artefact Mecagenius dans un fonctionnement didactique en présentiel	230

Chapitre 3 : Stratégies des élèves confrontés à deux mini-jeux233

1. Contexte de l'étude	234
1.1. Rappel de la méthodologie utilisée	234
1.2. Présentation des résultats	236
2. Les élèves de lycée	237
2.1. Les indices temporels globaux d'utilisation des mini-jeux en phase de découverte	238
2.1.1. Contexte de l'activité des élèves de lycée	238
2.1.2. Analyse globale des traces au cours de la séance de découverte en lycée	238
2.2. L'étude des traces de type « gros grain »	241
2.2.1. Le mini-jeu « l'as de la fab » au lycée	241
2.2.2. Le mini-jeu « le roi de la pref » au lycée	244
2.2.3. Conclusion de l'étude des traces de type « gros grain »	246
2.3. L'étude des traces de type « petit grain » de deux mini-jeu	247
2.3.1. Etude des traces de type « petit grain » des élèves contrastés de la classe de l'enseignant E1 « le roi de la pref »	248
2.3.2. Etude des traces de type « petit grain » des élèves contrastés de la classe de l'enseignant E1 « l'as de la fab »	252
2.3.3. Etude des traces de type « petit grain » des élèves contrastés de la classe de l'enseignant E2 « l'as de la fab »	256

2.4. Conclusion de l'étude des traces de type « petit grain » de deux mini-jeu	259
3. Les étudiants de l'IUT et de l'université	264
3.1. Les étudiants de l'IUT	265
3.1.1. Contexte de l'activité des étudiants de l'IUT	265
3.1.2. Etude des traces de type « petit grain » des étudiants de l'IUT	266
3.1.3. Etude des traces de type « petit grain » de « l'as de la fab » des étudiants contrastés de la classe de l'enseignant E1	266
3.1.4. Conclusion relative aux stratégies du duo d'étudiants contrastés de l'IUT	271
3.2. Les étudiants de l'Université	274
3.2.1. Contexte de l'activité des étudiants de l'université	274
3.2.2. Etude des traces de type « petit grain » des étudiants de l'université	275
3.2.3. Etude des traces de type « petit grain » du « roi de la pref »	276
3.2.4. Conclusion relative aux stratégies des étudiants contrastés de l'université	283
4. Conclusion sur les stratégies des élèves et des étudiants : contribution au programme cognitif	286
DISCUSSION CONCLUSIVE.	289
1. Discussion sur les résultats des trois études effectuées.	290
1.1. Discussion sur les choix lors de la conception	290
1.2. Discussion autour des utilisations du <i>serious game</i> Mecagenius en classe	293
1.3. Discussion à propos des stratégies des élèves confrontés aux mini-jeux	296
1.4. Retour sur la problématique et les questions de recherche	299
2. Conclusion générale	302
2.1. Articuler une recherche didactique en sciences de l'éducation et un projet industriel de développement de ressources pour l'enseignement	302
2.2. Perspective ouverte par la recherche dans une optique de formation intégrant les <i>serious games</i>	305
2.1.1. Vers une prise en compte de la dimension épistémique	305
2.1.2. Vers un équilibre mieux maîtrisé	306
2.1.3. Vers de nouvelles formes de recherche à initier	307
2.1.4. Quelques prolongements et nouvelles expérimentations en cours	307
2.3. En guise d'ouverture : retour sur le débat jeu - éducation via les possibles ouverts par les <i>serious games</i> ...	308
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	311
TABLE DES MATIERES	326
TABLE DES ANNEXES	336

TABLE DES ANNEXES

Projet Mecagenius	4
ANNEXE 1 : Fonctionnement de l'équipe de conception de Mecagenius	4
ANNEXE 2 : Calendrier prévisionnel initial	6
ANNEXE 3 : Rapport final de l'UMR EFTS	8
Etude des référentiels scolaires et professionnels	13
ANNEXE 4 : Livrable des compétences, savoir et savoir faire du rôle « apprenti »	13
Etude des conceptions des enseignants	25
ANNEXE 5 : Codification Alceste	25
ANNEXE 6 : Entretien - analyse des besoins des enseignants de génie mécanique	27
ANNEXE 7 : Transcriptions des entretiens	30
ANNEXE 8 : Rapport de synthèse Alceste	72
Entretiens ante séance	75
ANNEXE 9 : Enseignant E1 de lycée séance N° 1	75
ANNEXE 10 : Enseignant E1 de lycée séance N° 2	78
ANNEXE 11 : Enseignant E1 de lycée séance N° 3	80
ANNEXE 12 : Enseignant E1 de lycée séance N° 4	82
ANNEXE 13 : Enseignant E2 de lycée séance N° 1	84
ANNEXE 14 : Enseignant E1 de lycée séance N° 2	86
ANNEXE 15 : Enseignant E1 de l'IUT séance N° 1	88
ANNEXE 16 : Enseignant E2 de l'IUT séance N° 1	91
ANNEXE 17 : Enseignant E1 de l'université séance N° 1	93
ANNEXE 18 : Enseignant E2 de l'université séance N° 1	96
Entretiens post séance	98
ANNEXE 19 : Enseignant E1 de lycée séance n° 1	98
ANNEXE 20 : Enseignant E1 de lycée séance n° 2	100
ANNEXE 21 : Enseignant E1 de lycée séance n° 3	102
ANNEXE 22 : Enseignant E1 de lycée séance n° 4	104
ANNEXE 23 : Enseignant E2 de lycée séance n° 1	106
ANNEXE 24 : Enseignant E2 de lycée séance n° 2	109
ANNEXE 25 : Enseignant E1 de l'IUT séance n° 1	111
ANNEXE 26 : Enseignant E2 de l'IUT séance n° 1	114
ANNEXE 27 : Enseignant E1 de l'université séance n° 1	116
ANNEXE 28 : Enseignant E2 de l'université séance n° 1	118
Analyse microdidactique.....	121
ANNEXE 29 - E1-Lycée - séance n° 1	121
ANNEXE 30 - E1-Lycée - séance n° 2	123
ANNEXE 31 - E1-Lycée - séance n° 3	127
ANNEXE 32 - E1-Lycée - séance n° 4	130
ANNEXE 33 - E2-Lycée - séance n° 1	132
ANNEXE 34 - E2-Lycée - séance n° 2	136
ANNEXE 35 - E1-IUT - séance n° 1	139
Etudes des traces informatiques	143
ANNEXE 36 : Exemple de traces "globales" d'un élève de l'enseignant E1 de lycée	143
ANNEXE 37 : Exemple de traces gros grain de l'enseignant E1 de lycée	144
ANNEXE 38 : Traces petit grain de l'élève "éF" lycée « l'as de la fab »	145
ANNEXE 39 : Traces petit grain de l'élève "éF" lycée « l'as de la fab »	147

ANNEXE 40 : Traces petits grains de l'élève "éF" lycée « l'as de la fab » E2	149
ANNEXE 41 : Traces petit grain « l'as de la fab » pour l'élève "éF" de l'IUT	153
ANNEXE 42 : Traces petit grain « l'as de la fab » pour l'élève "éF" de l'IUT	154
ANNEXE 43 : Analyse de traces petit grain « le roi de la pref » à l'université	155
ANNEXE 44 : Analyse de traces petit grain « le roi de la pref » à l'université	159
ANNEXE 45 : Analyse de traces petit grain « le roi de la pref » à l'université	160
ANNEXE 46 : Evolution des temps de réglage machine pour les étudiants « "éF" - "éF" »	161
ANNEXE 47 : Extraits de traces « le roi de la pref » à l'université	162
ANNEXE 48 : Analyse de traces petits grains « le roi de la pref » au lycée	164

Résumé

Cette thèse, réalisée dans le cadre d'un projet de recherche pluridisciplinaire financé par le Ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi, étudie le fonctionnement de systèmes didactiques scolaires et universitaires dans un contexte d'apprentissage médiatisé par un *serious game* dédié au génie mécanique appelé Mecagenius®. Les travaux ont pour partie contribué à produire des outils de conception de ce *serious game* et à étudier les usages didactiques de professeurs et d'élèves dans des classes de lycée, d'IUT et d'université. Le processus de conception et d'évaluation s'est appuyé sur trois études emboîtées relevant de programmes épistémologique, didactique et cognitif. Les résultats ont permis de rendre compte de l'usage didactique de Mecagenius® dans des classes ordinaires à travers la manière dont les professeurs l'utilisent et d'identifier les stratégies d'études individualisées mises en œuvre par des élèves contrastés selon leur position d'excellence dans la classe. La recherche met en évidence des usages contrastés d'intégration de l'artefact à la pratique des enseignants allant de modalités transmissives à des formes de genèse instrumentale spécifiques leur permettant, au fil des interactions avec les élèves, d'utiliser le *serious game* en plus ou moins grande adéquation avec les choix didactiques ayant présidé à sa conception. Du côté des élèves, les résultats pointent des stratégies différentielles pouvant contribuer pour les meilleurs au développement de compétences spécifiques de génie mécanique ; les plus faibles n'étant pas en mesure de dépasser les obstacles à l'apprentissage rencontrés dans le jeu. La conclusion envisage des pistes pour la formation des enseignants relative à l'usage des *serious games* en classe.

Mots-clés : Didactique, *Serious Game*, Génie mécanique, Mecagenius, Théorie de l'action conjointe en didactique.

Abstract :

This thesis, as part of a multidisciplinary research project financed by the Ministry of Economy, Industry and Employment, examines the process of educational systems using a serious game dedicated to mechanical engineering called Mecagenius® in schools and universities. The study partly contributed to produce engineering tools of that serious game and explore how students and teachers used it in high school, IUT and university classes. The design and evaluation process relied on three related studies based on epistemological, cognitive and didactic programs. The findings report on the didactic use of Mecagenius® in regular classes and identify individualized learning strategies implemented by students according to their contrasting level of excellence in the classroom. The research highlighted differences in the way teachers integrated the artifact to their teaching methods ranging from transmissive to specific forms of instrumental genesis allowing them over the interactions with students, to use the serious game in ways that are nearly consistent with the educational choices that led to its design. Concerning students, the results showed different strategies that could help high skilled students in acquiring specific skills on Mechanical Engineering but could not help the weakest ones to go through the learning obstacles encountered in the game. The conclusion is about ways to train and support teachers with use of serious games in classroom.

Keywords: Teaching, "*Didactique*", Serious Game, Mechanical Engineering, Mecagenius, Learning Theory.