

Préface

Un ouvrage bien venu
Une entreprise heureuse

Wallon, en son siècle, formulait des questions qui forment un arrière-plan pour l'ouvrage offert au lecteur. Il s'interrogeait sur le devenir de la notion de présence d'un être pour un enfant placé devant un poste de radio, c'est-à-dire sur la possibilité d'assigner à des impressions de la vue et de l'ouïe combinée une même qualité spatiale. Sur l'évolution des rapports de temps et d'espace qu'avaient élaborés ceux qui arpentaient l'étendue et la durée avec le compas de leurs jambes, les pas de leurs troupeaux. Il est impossible disait-il que, par ses rapides contractions de l'espace dans le temps, l'avion n'apporte pas de modification. La vitesse éprouvée dans son extrême variabilité pourrait rendre plus concrets, plus vivants, plus intimes les rapports de l'espace et du temps...

La technique était culture pour Vygotski, Léontiev et Wallon qui disait avec d'autres encore qu'elle se faisait nature aussi, humaine nature, jusqu'à transformer radicalement les conditions de construction par chaque être humain des notions immémoriales qui sous-tendent nos conjugaisons intimes de l'espace et du temps.

Ces interrogations prémonitoires deviennent aujourd'hui centrales pour la conception, l'ingénierie et les usages des dispositifs de formation, de travail et de vie. La sensation de présence de l'autre, mais aussi la sensation plus étrange peut-être encore, de soi-même à la fois ici et dans d'autres temps et lieux, est ainsi au cœur des travaux sur la réalité virtuelle que les didactiques et les ingénieries formatives ou pédagogiques entreprennent déjà de fréquenter. A ces interrogations semble répondre comme en écho l'introduction : il est aujourd'hui possible de réaliser des dispositifs de formation modifiant profondément les dimensions de

Préface rédigée par Pierre RABARDEL.

temps et d'espace, de concevoir des modes d'éducation et de formation partiellement ou totalement à distance. Il est aujourd'hui possible de...

Wallon s'interrogeait sur nos rapports ressentis au monde et aux autres, rapports, perçus, éprouvés, évalués au compas des corps agissants. Les explorateurs réunis dans ce livre nous interrogent autrement : puisque nous pouvons maintenant, dans les mondes que nous façonnons, modifier les rapports anciens des espaces et des temps formatifs, puisque nous en sommes capables, que faut-il faire de ce pouvoir et de ces capacités nouvelles ? Que peut-on en faire ? Que doit-on en faire ? Et pourquoi ? Et pour qui ? Avec qui ? Et comment aussi ?

Ces questions ne sont pas écrites tout à fait avec ces mots dans les pages du livre, mais de toutes ses pages elles sourdent ou plutôt, de leur ensemble polyphonique. La boussole qui guide les auteurs est celle d'une approche instrumentale où usage et conception se nourrissent mutuellement. La conception se poursuit dans les temps des usages au sein des activités des enseignants et des élèves, des apprenants et des formateurs, les uns comme les autres sujets capables, agissant et connaissant tout à la fois, dans des mouvements souvent contradictoires. Chacun, pour pouvoir travailler avec les outils qui lui sont disponibles, doit les faire sien, les élaborer comme instruments médiateurs aux objets de savoir et d'action, aux autres et à lui-même. De ces activités constructives d'appropriation et d'élaboration au sein des usages, les technologies et les schèmes se polissent, s'articulent, des nouveautés émergent, matières inspiratrices pour des activités et des temps de conception plus formels.

On l'aura déjà compris, ce livre est une invitation au voyage de découverte proposée par une équipe qui a pris le risque des langues différentes et des visions marquées d'altérité, le risque de Babel sur lequel chaque jour tant d'ouvrages de passage viennent s'échouer. Mais le risque en vaut la peine lorsque, comme ici, l'intelligence constructive permet de dépasser les barrières immédiates, de composer ensemble des regards multiples et des compétences diversifiées qui savent faire complément de leurs différences, et même parfois divergences disciplinaires. N'hésitant pas à s'emparer de concepts, d'instruments, de schèmes de pensée, de recherche et d'action, issus d'horizons lointains pour rendre l'exploration plus féconde. S'en emparer rigoureusement, c'est-à-dire avec la compréhension respectueuse et créatrice nécessaire pour se tenir aussi à distance que possible des illusions des pluridisciplinarités de surface.

Il est vrai que, dans le champ de la formation et de l'éducation, les travailleurs (les sujets qui travaillent) bénéficient encore d'un exceptionnel espace de liberté, de choix, d'usage, d'orchestration et même d'engendrement de leur propre outillage.

Un espace de liberté que l'on connaît rarement sur les chaînes de production, au pied des hauts-fourneaux ou aux caisses des supermarchés. Il est plus rare encore qu'une telle liberté puisse s'accorder à celle des concepteurs, designers, ingénieurs pédagogiques, didactiques, informatiques, etc. et trouve pour se nourrir et s'enraciner le terreau riche de pratiques de recherches anciennes portées par des institutions et des communautés vivantes.

Voilà des conditions qui ne se trouvent pas sous le pied du premier appel d'offres venu. Il aura fallu à cette équipe de la ténacité et du talent pour les réunir, les faire vivre et permettre ainsi aux chemins de fécondations croisées ici explorés de porter la promesse de fruits nouveaux. Des fruits pour les champs de la formation et de l'éducation naturellement, mais aussi, bien au-delà de ces étroites frontières, pour les champs disciplinaires auxquels il a été emprunté et qui trouveront en retour dans ces pages matière à penser, travailler, douter et, qui sait, rêver. Des fruits dont nous pouvons nous nourrir pour, dans nos rôles sociaux d'enseignant, de chercheur, d'intervenant, de parent, etc., être et devenir plus encore sujet capable.

Cette préface, écrite dans la tiédeur fraîche d'un soleil de mars, doit sans doute au bal débutant des abeilles de Saint Denis quelques-unes de ses images. Merci donc à ces ouvrières qui s'échinent à faire du miel de béton, et au lecteur, bonne route.

Introduction

Genèse de l'ouvrage et champ scientifique

Cet ouvrage collectif est issu de l'un des 18 symposiums du colloque international francophone REF (réseau international de recherche en éducation et formation) qui s'est tenu à Montpellier en septembre 2005. Ce colloque, centré sur l'avenir de la formation professionnelle, avait pour objectif de faire le point, à un moment où la formation évolue considérablement, sur la nature des objets dans le domaine de la formation (les compétences, les contenus, les didactiques et les pratiques), sur la place du sujet formateur et du sujet en formation (l'identité, l'engagement, la réflexivité, l'expérience individuelle et sociale), les réseaux, les dispositifs et systèmes de formation (leur composition, leur organisation et leur évaluation) et les techniques, technologies et langages (en particulier les dimensions instrumentales, réflexives et relationnelles).

Notre symposium était intitulé *Environnements informatisés pour la formation scientifique et technique : modèles, dispositifs et pratiques*. Nous avons choisi de centrer sa réflexion sur les dispositifs de formation pour lesquels s'ouvrent actuellement des possibilités de modifier profondément les dimensions de temps et d'espace. De nouvelles potentialités émergent en effet pour concevoir de nouveaux modes d'éducation et de formation, partiellement ou totalement à distance. Dans ce contexte, l'ingénierie des dispositifs doit nécessairement articuler ingénierie pédagogique et ingénierie technologique, et prendre en compte (comme toute ingénierie pédagogique) les besoins des apprenants, l'analyse des pratiques pédagogiques et formatives, l'analyse des apprentissages et les retours d'expérience. Nous avons choisi de viser plus particulièrement les apprentissages portant sur des domaines scientifiques, afin de pouvoir dégager suffisamment d'invariants pour la conception de modèles.

La participation des membres de ce symposium a été sollicitée d'abord pour leur appartenance aux disciplines concernées (didactiques des disciplines scientifiques, informatique, psychologie de l'apprentissage et de l'éducation, sciences de l'éducation) : le domaine de recherche sur les environnements d'apprentissage informatisés se construit sur la base complexe de cadres de référence diversifiés et complémentaires. Ce symposium avait donc pour objectif de faire se rencontrer au niveau international (principalement francophone) ces différentes disciplines, de chercher les conditions d'une meilleure compréhension entre elles et d'avancer, dans une démarche *transdisciplinaire*, vers la constitution d'un cadre de référence commun. C'est évidemment un objectif très ambitieux, c'est pourquoi les participants ont été aussi sollicités pour ce qu'ils partageaient déjà : une capacité à débattre et collaborer avec d'autres disciplines et une vision *socioconstructiviste* de l'apprentissage non seulement évoquée, mais réellement mise en pratique dans leurs travaux. On était donc loin, dans ce symposium, de l'incohérence entre un discours socioconstructiviste et une pratique *transmissive* de nombreux sites destinés à la formation d'enseignants, critiquée par Dillenbourg et Jermann [DIL 02].

La démarche du symposium a consisté tout d'abord à essayer de *mutualiser*, dans la mesure du possible, les modèles et ingénieries des différentes disciplines. La première journée du symposium a mis en évidence la *diversité* et la *complémentarité* des champs sémantiques des différentes disciplines : des termes tels que *dispositif*, *ingénierie*, *ressource*, *situation* ou *activité* ont des sémantiques très diverses. L'explicitation, nécessaire, de ces sémantiques sera faite dans les différents chapitres de cet ouvrage. La seconde journée fut ensuite consacrée à une discussion sur les apports et limites des dispositifs présentés, ainsi qu'à un questionnement de la pertinence pédagogique des ingénieries et des modèles sous-jacents. Dans ce contexte, les modèles pédagogiques/didactiques étant plutôt descriptifs ou(et) fonctionnels, les modèles informatiques souvent exécutables, la question cruciale de l'articulation de ces modèles, dans leur diversité, a été abordée.

Mais la réflexion collective qui a conduit cet ouvrage n'a pas été réduite au seul temps du symposium. Les contributions préparatoires ont donné lieu à des préactes ; pour chaque contribution, deux relecteurs ont été choisis, ils ont introduit la discussion sur cette contribution lors du symposium. Le symposium s'est prolongé à distance par des échanges conduisant à une révision importante de chacun des textes, afin d'en améliorer la cohérence et la lisibilité pour l'ensemble des communautés intéressées.

Les chapitres de cet ouvrage ne sont donc pas seulement des synthèses de travaux antérieurs, ils sont aussi le résultat d'interactions *internes* au symposium et se sont enrichis également d'interactions *externes* : en effet, au cours de cette genèse, nous avons tenté, à chaque fois que c'était possible, d'articuler notre réflexion avec celle qui nous était proposée dans l'ouvrage *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain* [GRA 06].

Trace de ces échanges multiples, le titre de l'ouvrage a évolué par rapport au titre originel du symposium. Il est devenu *Environnements informatisés et ressources numériques pour l'apprentissage : conception et usages, regards croisés*, mettant en évidence deux dialectiques particulièrement fécondes apparues au cours de notre réflexion : environnements et ressources d'une part, conception et usages d'autre part.

Objectifs

L'objectif de cet ouvrage est donc, dans une perspective transdisciplinaire, d'articuler les concepts et les méthodes développés pour l'analyse des pratiques instrumentées avec ceux impliqués dans les technologies de l'information et de la communication pour l'éducation et la formation, dans la perspective d'*un enrichissement mutuel* des pratiques et des dispositifs. L'objectif à plus long terme est de penser un processus méthodologique et un *cadre conceptuel* communs pour la conception de dispositifs – didactiques et/ou techniques – innovants. Nous espérons contribuer ainsi à l'un des objectifs du colloque REF : penser une nouvelle *épistémologie de l'apprentissage*, alliant savoirs et pratiques, actions et situations, réflexivité et partage d'expérience.

Le public cible

Cet ouvrage s'adresse à un large ensemble de *chercheurs*, d'*étudiants* et de *praticiens* concernés par la conception et les usages d'environnements informatisés et de ressources numériques pour l'apprentissage et la formation. Il s'adresse tout d'abord aux chercheurs et aux étudiants de master et de doctorat dans les domaines des sciences cognitives, sciences de l'éducation, didactiques des disciplines ou sciences de l'information et de la communication, auxquels il offre des regards croisés sur différentes approches, avec la présentation de concepts, de modèles et de méthodes des disciplines impliquées, accompagnés d'exemples de réalisation. Il s'adresse également aux praticiens formateurs et enseignants qui utilisent déjà (ou utiliseront) des ressources numériques : nous verrons, tout au long de cet ouvrage, combien la collaboration de ces praticiens est indispensable à toutes les étapes des processus de conception, de la définition des besoins à la mise en œuvre, à la réflexion et à la révision. Nous espérons que cet ouvrage contribuera ainsi au développement de collaborations entre tous les acteurs de l'ingénierie des environnements informatisés pour l'apprentissage et la formation.

Cadre général

Notre réflexion s'appuie sur deux concepts essentiels que nous présentons succinctement et qui seront discutés dans plusieurs chapitres :

– d’une part, la notion d’*instrument*, issue du champ du travail (ergonomie cognitive/didactique professionnelle) qui peut s’articuler avec des théories didactiques soulignant la complexité des rapports entre action et conceptualisation et le rôle central des *situations* ;

– d’autre part, la notion de *communauté de pratique*, issue d’une théorie sociale de l’apprentissage, qui permet de développer la dimension sociale de la construction d’instruments par les apprenants.

Béguin et Rabardel [BEG 00], s’appuyant sur les théories de l’*activité*, définissent un *instrument* comme étant issu d’une construction, à partir d’un *artefact*, par un utilisateur. Cette construction suppose, de la part de l’utilisateur, un processus d’*appropriation* de l’artefact, d’*intégration* de celui-ci dans son activité pour réaliser une tâche donnée, de *transformation* de l’artefact pour mieux se l’approprier [RAB 95]. Dans ce contexte, le processus de conception des artefacts ne s’arrête pas à l’activité du concepteur, il se poursuit dans l’activité des utilisateurs : c’est la thèse de la conception continuée ou conception *dans l’usage*. Les artefacts sont considérés alors comme des *propositions* que les individus développeront ou non. La conception apparaît ainsi comme une activité *distribuée* entre concepteurs et usagers. C’est un processus dialogique où se produit un *apprentissage mutuel* dans lequel les hypothèses (les artefacts) des concepteurs seront confrontées, mises à l’épreuve et le plus souvent modifiées [BEG 05]. Il est donc nécessaire d’organiser le processus de conception autour des usages qui préexistent et de proposer des systèmes *flexibles* que les utilisateurs pourront adapter à leurs besoins. Dans cette perspective, la créativité et l’inventivité des usagers constituent, non l’indice d’un détournement par les usagers ou d’un déficit de spécifications réalisées par le concepteur, mais une caractéristique *ontologique* des processus de conception. L’organisation des processus de conception gagne donc en efficacité, lorsqu’elle conjugue des phases de conception et des phases de mise en œuvre. Cette approche débouche sur la définition d’un principe fondateur de la recherche dans le domaine des technologies éducatives : *construire avec tous les acteurs, en contexte*, une réponse systémique à une demande sociale de formation ou d’information.

La notion de *communauté de pratique* [WEN 98] est en relation avec la théorisation de la *pratique* développée en sociologie et en anthropologie [BOU 92]. Elle est issue d’une théorie sociale de l’apprentissage et met l’accent sur la dimension *située* de l’*expérience*. Une communauté de pratique n’est pas seulement une agrégation de personnes définies par certains points communs, elle se caractérise par un *engagement mutuel* de ses membres, le *partage* d’objectifs et d’un ensemble de ressources communes (impliquant interactions, négociations et interrelations). La gestion des connaissances au sein d’une communauté de pratique intègre la mise en évidence des connaissances, le partage de ces connaissances et l’accroissement des compétences de ses membres.

Dans le contexte d'une société où la formation tout au long de la vie apparaît de plus en plus nécessaire, toute communauté de pratique est communauté d'apprentissage et l'ensemble de ses ressources évolue : l'approche instrumentale est donc pertinente pour penser les processus de formation et l'ingénierie des ressources. Nous considérons dans cet ouvrage les ressources pédagogiques comme des objets socialement situés, des *instruments* qui évoluent au sein de *communautés de pratique*. Plus généralement, il y a toujours une inévitable incertitude entre la conception d'un artefact et les pratiques effectives qui y sont associées, puisqu'une pratique n'est pas le résultat de la conception, mais plutôt une *réponse* à celle-ci. Dans le contexte de la formation d'enseignants, nous nous intéressons à des communautés éducatives regroupant des enseignants de même champ disciplinaire, s'adressant à des publics voisins et désireux d'exploiter les TICE dans leur pratique professionnelle.

Organisation de l'ouvrage

Ce livre est organisé en deux parties :

- la première partie, intitulée « Environnements et dispositifs informatisés pour l'apprentissage : modèles, conception et usages », présente des méthodes pour l'ingénierie didactique et l'analyse de l'activité instrumentée des acteurs dans ces environnements et propose des modèles d'ingénierie conçus à partir d'expériences réelles. Le choix de débiter cet ouvrage par des études intégrant des analyses d'usage souligne l'importance de telles recherches pour les processus de conception d'environnements et s'inscrit donc naturellement dans la démarche de conception dans l'usage évoquée précédemment ;

- dans la seconde partie, intitulée « Ressources pédagogiques numériques : conception, partage et réutilisation », sont présentées les approches de différentes communautés de chercheurs et praticiens concernant les caractéristiques requises pour ces ressources en vue d'une utilisation à grande échelle et les processus de conception et de gestion qu'elles nécessitent au sein des communautés. Ces regards croisés font émerger des propositions pour la conception et la gestion des ressources pédagogiques numériques visant à réduire l'écart important observé entre les points de vue des chercheurs et des praticiens.

Première partie

Environnements et dispositifs pour l'apprentissage : modèles, conception et usages

Les environnements pédagogiques évoqués dans ces chapitres ne sont pas nécessairement des environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH) au sens rappelé par Grandbastien et Labat [GRA 06] : « le champ scientifique des EIAH correspond aux travaux focalisés sur les environnements informatiques dont la *finalité*

explicite est de susciter ou d'accompagner l'apprentissage humain, c'est-à-dire la construction de connaissances chez un apprenant». Dans ce contexte, les artefacts informatiques sont conçus avec une *intention didactique* [TCH 04]. Dans d'autres contextes, l'intention didactique peut résider essentiellement dans la manière dont on va exploiter l'environnement informatique : c'est par exemple le cas du tableur, non conçu avec une finalité d'enseignement, mais qui est actuellement exploité de manière institutionnelle en France dans l'enseignement des mathématiques. Ainsi, nous préférons nous référer au concept d'*environnement d'apprentissage informatisé*, expression introduite par Doré et Basque [DOR 98], car ce type d'environnement pédagogique peut intégrer des artefacts informatiques, non conçus nécessairement dans un objectif d'apprentissage (système de calcul formel, tableur, Internet, etc.), qui constituent une partie importante des environnements prescrits actuellement pour l'enseignement scientifique. Cette notion d'environnement d'apprentissage informatisé (EAI) est donc plus large que la notion d'EIAH.

Afin de mettre en évidence que la conception d'un EAI est une activité distribuée entre différents types d'acteurs, qui ne relèvent pas nécessairement de la communauté informatique, les deux premiers chapitres portent sur la conception de situations et de dispositifs didactiques, ils présentent des analyses didactiques d'usages d'environnements informatisés pour des apprentissages mathématiques en classe. Ce type de recherche, développé dans [GUI 02], suppose l'étude des contraintes et des potentialités des artefacts informatiques qui *préstructurent*, de façon relative, l'activité de l'apprenant. Les contraintes internes et à l'interface sont liées à la *transposition informatique* [BAL 94], ce travail sur la connaissance qui en permet une représentation informatique. Les potentialités des artefacts donnent accès à une *multiplicité* de représentations sémiotiques [DUV 95], les traitements et les conversions que ces représentations permettent constituent des tâches nécessaires, mais complexes dans un processus d'apprentissage, souvent sous-estimées dans les ingénieries didactiques.

Dans le premier chapitre, Mariam Haspékian et Michèle Artigue traitent de l'intégration du tableur pour l'enseignement des mathématiques. La réflexion, conduite en conjuguant les apports de l'ergonomie cognitive et les apports de l'anthropologie didactique, porte sur l'artefact tableur et sur les ressources pédagogiques mises à disposition des enseignants. Les résultats obtenus conduisent à un questionnement du rôle de l'enseignant dans la classe et de l'adéquation des ressources pédagogiques actuellement disponibles pour l'enseignant dans ce domaine. Ce questionnement débouche sur la conception et l'analyse des effets d'un dispositif didactique visant à organiser simultanément la rencontre avec le monde de l'artefact, ici le tableur, et le monde de l'algèbre, objectif de l'enseignement. Au cœur d'un tel projet, pour les auteures, se trouve la nécessité de penser l'articulation des deux rencontres, de telle manière que les besoins mathématiques et technologiques y soient correctement identifiés et satisfaits, et que leur satisfaction serve les apprentissages algébriques visés. Les difficultés rencontrées conduisent à

introduire la notion de *distance instrumentale*, pour laquelle des critères sont proposés. Cette notion de distance instrumentale, intervenant dans la mesure de la complexité de l'intégration des TIC dans la classe, reste sans doute pertinente pour la plupart des usages pédagogiques d'environnements informatisés en classe.

Dans le deuxième chapitre, Fernando Hitt aborde l'usage de calculatrices symboliques dans un dispositif favorisant l'apprentissage collaboratif. L'analyse s'appuie sur une théorie de la conceptualisation où le rôle des représentations sémiotiques est crucial pour la construction des connaissances. Ce chapitre met en évidence la nécessité de stratégies d'enseignement induisant une utilisation *créative* et *réflexive* des artefacts en jeu, dès lors que l'on veut mettre ces artefacts au service de la construction de concepts difficiles. Ces stratégies supposent la conception de situations mathématiques dont l'étude devrait conduire les élèves à affronter des obstacles épistémologiques repérés. Pour aider les élèves à franchir ces obstacles, une méthodologie est proposée, combinant des phases de débat scientifique et des phases réflexives : les élèves intègrent les artefacts et en font des instruments, à la fois d'exploration, d'échange et de contrôle. Ces genèses n'ont rien de naturel : elles sont suscitées et accompagnées par le maître, tout au long du déroulement des activités.

Des chapitres suivants émergent des modèles qui peuvent contribuer, de manières très diverses, à l'ingénierie des environnements informatisés. Ces modèles pour décrire, représenter, mutualiser ou concevoir, dont la validation scientifique est propre à chaque discipline, convergent cependant sur deux points forts : d'une part, un questionnement réel de leur *pertinence pédagogique*, d'autre part, un rôle commun à ces modèles, celui d'outil pour les processus de conception d'environnements informatisés. Tous ces modèles ne prétendent pas prendre en compte l'influence des artefacts informatiques sur les dimensions cognitives et sociales de l'interaction, la *variété* des contextes pédagogiques, la *spécificité* de chaque domaine de connaissances, de chaque communauté de pratique et de leurs évolutions. Cependant, chaque modèle, par son apport dans une ou plusieurs de ces dimensions, est intéressant pour avancer vers des modèles plus riches dans le domaine de l'ingénierie pédagogique. Ceci nécessite, bien évidemment, de s'interroger sur une question fondamentale : dans quelle mesure ces différents modèles peuvent-ils constituer des instruments et s'articuler pour constituer des *systèmes d'instruments* pour la conception d'environnements informatisés ?

De ces chapitres se dégage un consensus sur la *complexité* de l'ingénierie des environnements d'apprentissage informatisés et sur la nécessité de penser cette ingénierie *pour* une évolution par les usages. Les dispositifs évoqués portent sur l'accompagnement humain et/ou artificiel d'activités d'apprentissage individuelles ou collaboratives, ils peuvent donc avoir une composante d'artefacts informatiques plus ou moins importante et mettre en jeu des *scénarios* d'activités *hybrides* éventuellement à distance (partiellement ou totalement). Ils se distinguent surtout

par la reconnaissance du caractère *transitoire* et *non déterministe* de toute ingénierie pédagogique, les scénarios pédagogiques n'étant pas conçus comme des entités *prescriptives*, ayant nécessairement un caractère de *non-complétude*.

Le troisième chapitre, rédigé par Matthieu Quignard et Michael Baker, est centré sur les processus de *socialisation* au sein de communautés d'apprentissage. Sa problématique est celle de la *modélisation et de l'instrumentation de situations d'interactions* susceptibles d'être une source d'apprentissage, plus précisément de situations d'interactions *épistémiques* (c'est-à-dire qui nécessitent un effort de compréhension, voire de production de sens, comme la reformulation, l'explication, l'argumentation ou la négociation) *médiatisées* par un artefact (par exemple de type *chat*), dans le cadre d'activités de résolution collaborative de problèmes ou de débat argumentatif. Les résultats d'un premier programme de recherches mettent en évidence la complexité des situations et de leur gestion, si l'on veut vraiment constituer un *milieu* pour l'apprentissage [BRO 98] : un ensemble de techniques de structuration de l'activité coopérative des apprenants apparaît nécessaire, opérant aussi bien sur la constitution des groupes que sur les moyens sémiotiques d'expression. Ces résultats sont réinvestis pour concevoir un nouvel EAI, une plate-forme facilitant la mise en place de séquences d'activités collaboratives synchrones, consistant à débattre de questions socialement vives. Les résultats d'une expérimentation sont discutés, permettant de tirer quelques conclusions aussi bien sur les outils développés que sur la démarche de leur conception : la nécessité de la motivation des apprenants, la nécessité de différentes phases pour gérer la *complexité* des situations dans des EAI collaboratifs visant un apprentissage conceptuel, la nécessité d'outils spécifiques permettant de repérer et d'analyser les activités épistémiques. Enfin, la question du temps apparaît cruciale : l'intégration d'un nouvel artefact ne peut se faire qu'en articulation avec les anciens artefacts, et avec la collaboration des différents acteurs du système, en particulier les enseignants. La problématique de ce chapitre, celle de la conception de situations visant à structurer l'activité collaborative et la négociation, et à favoriser l'apprentissage par des *interactions épistémiques*, est ainsi très générale : elle est au cœur du paradigme des communautés virtuelles d'apprentissage.

Dans le quatrième chapitre, Pascal Leroux et Stéphanie Jean-Daubias proposent une vision des EIAH en termes de *partenariat* entre la machine et les *acteurs* d'une situation d'apprentissage (apprenants et enseignant-formateur), qui exploite des capacités humaines pour remédier aux limites des artefacts informatiques à accompagner les apprenants ou les enseignants dans leur activité. Les auteurs étudient ce partenariat dans deux contextes. Dans le premier contexte, la robotique pédagogique, cette approche de partenariat est mise en œuvre pour une *pédagogie de projet*, où l'accompagnement de l'apprenant évolue en fonction de ses compétences, en lui laissant une autonomie de plus en plus grande. Dans le second contexte, le suivi de compétences, le système est partenaire de l'enseignant pour élaborer des modèles *comportementaux* (recueil des traces « pertinentes »), *épistémiques* (analyse de ces traces et interprétation en termes de

conceptions des apprenants) ou(et) des profils cognitifs qui soient utilisables par les enseignants. La première partie du chapitre retrace l'évolution des modèles de situation d'apprentissage en fonction des différents environnements supports de pédagogie de projet, la seconde partie présente plusieurs modèles de suivi d'apprenants dans différents projets. Certains de ces travaux ont un fort ancrage disciplinaire (s'appuyant sur des travaux en didactique des mathématiques), d'autres visent au contraire la généralité, tout en souhaitant s'adapter à la variété des usages (liés aux disciplines, niveaux scolaires et pratiques). Cependant, tous ces travaux se distinguent par l'importance accordée aux expérimentations en classe, dans des contextes divers, et à une prise en compte réelle des usages dans les processus de conception.

Dans le cinquième chapitre, Christian Depover, Albert Strebelle et Bruno Delière s'intéressent aux *processus d'innovation* impliquant la mise en œuvre de dispositifs à forte composante technologique, comme ceux qu'ils ont observés, dans le cadre d'un projet européen, autour de l'usage de l'environnement ModellingSpace pour des activités de construction de modèles, tant sur un mode individuel que sur un mode collaboratif en ligne. Ils proposent de caractériser ces processus à l'aide d'une grille d'analyse comportant des descripteurs des étapes de la mise en œuvre de ces dispositifs. Leur objectif étant de mettre en évidence la *complexité* et la *multiplicité* des variables impliquées, ils présentent un premier modèle basé sur une analyse articulante, d'une part, une étude *a priori* des variables susceptibles d'influencer le processus d'innovation et, d'autre part, une confrontation de ces variables avec des données issues du terrain, dans différents contextes scolaires. Ce modèle est ensuite discuté et révisé, à la suite d'expérimentations dans différents contextes. L'évolution du modèle est basée sur une modification des conceptions en matière d'innovation, accordant progressivement un rôle plus important à la *dimension sociale*, en particulier aux acteurs, pendant l'appropriation active du dispositif technique. L'accent est mis sur la *dynamique* des réseaux d'acteurs qui s'élaborent progressivement pour devenir des communautés d'apprentissage, au sens de communautés de pratique : cette notion offre, selon les auteurs, un cadre intéressant pour structurer le fonctionnement des *réseaux* susceptibles d'accompagner le processus d'innovation. Dans cette contribution, qui met donc l'accent plus particulièrement sur la dimension *collaborative* de l'innovation, il s'agit d'une modélisation dynamique : le modèle n'est pas considéré comme une fin en soi, mais plutôt comme un outil qui permet d'appréhender une réalité à un moment donné.

Le point de vue de Jean-Philippe Pernin dans le sixième chapitre est celui de *l'ingénierie technique* des dispositifs. Son objectif est de proposer des modèles et des outils qui puissent répondre au besoin croissant des praticiens de disposer de formalismes efficaces pour réutiliser, mutualiser et opérationnaliser leurs pratiques d'intégration des technologies numériques dans les classes. La première partie de cette contribution est consacrée à la présentation d'approches récentes d'ingénierie basées sur les *objets* et les *activités d'apprentissage*. La deuxième partie vise un consensus sur la terminologie utilisée par les chercheurs de différents champs scientifiques (informatique,

sciences de l'éducation, sciences cognitives, didactique, etc.) et les praticiens. L'élaboration de modèles conceptuels, prenant en compte les avancées de la recherche et manipulables par les praticiens, impose de prendre en considération la complexité des contextes organisationnels, pédagogiques et techniques. De plus, la recherche de processus susceptibles de favoriser l'intégration des technologies numériques dans les pratiques soulève un problème d'articulation entre ingénierie des situations d'apprentissage et ingénierie des artefacts mis en jeu. Dans l'approche présentée, la notion de *scénario d'apprentissage*, basée sur l'idée de langages de modélisation pédagogique, est centrale, c'est elle qui permet la *dissociation* des « ressources de manipulation des connaissances » de leur exploitation pédagogique. Par contre, cette dissociation nécessite de repenser le processus d'ingénierie de ce type de ressources : la troisième partie est consacrée à des propositions d'ingénierie qui s'articulent autour du concept de scénario, structuré en quatre facettes, considéré comme un élément central pour traduire la dimension systémique des environnements à mettre en place, et dont le *cycle de vie* permet de répondre aux demandes des praticiens, en termes de souplesse et malléabilité. Ce chapitre se termine par quelques perspectives, en ce qui concerne la validation de ces propositions par les praticiens ou leur utilisation pour le développement d'artefacts informatiques.

Deuxième partie

Ressources pédagogiques numériques : conception, partage et réutilisation

La constitution et la gestion de *ressources pédagogiques numériques* se développent progressivement (on peut citer, par exemple, le réseau canadien Edusource et le réseau européen de ressources d'apprentissage ELR). Si l'on veut promouvoir la *collaboration* au sein des communautés éducatives pour l'enrichissement de ces ressources, celles-ci doivent présenter certaines caractéristiques : l'*accessibilité* – pour leur recherche, leur identification et leur livraison de façon distribuée ; la *durabilité* face à l'évolution rapide des technologies, l'*interopérabilité* des ressources conçues dans des environnements technologiques variés ; l'explicitation des contextes pédagogiques ; la *réutilisabilité*, l'*adaptabilité* et la composition de nouvelles ressources à partir de ressources existantes. Cette nouvelle façon de concevoir et de partager des ressources pédagogiques numériques a donné lieu à la définition de *normes de description* de ces « objets » (Dublin Core, LOM, etc.), qui proposent des schémas de métadonnées pour l'*indexation* et la *recherche* de ces documents.

Dans une perspective de conception et de gestion à plus grande échelle de ressources pédagogiques numériques par des communautés de pratique, les approches et technologies émergentes du *Web sémantique* offrent des potentialités. La notion d'*ontologie* – modèle conceptuel d'un ensemble de connaissances d'un domaine donné – est centrale dans ce domaine de recherche. Il s'agit dans ce contexte d'*ontologies*

pédagogiques (objectifs d'apprentissage, stratégies pédagogiques, activités pédagogiques, utilisation de ressources pédagogiques) ou *disciplinaires* (connaissances à enseigner). La notion d'ontologie est aussi cruciale pour la conception d'environnements auteurs facilitant la production de ressources et permettant de construire des parcours pédagogiques *personnalisables* adaptés à des modèles d'utilisateurs (enseignants ou apprenants) par *agencement* partiellement automatisé de grains ou items didactiques. Cette production nécessite d'articuler *structuration* – organisation dans l'espace du document – et *scénarisation* – anticipation de son exploitation dans un contexte donné.

La réflexion sur la *pertinence des mécanismes* d'indexation et de catalogage des ressources pédagogiques, dans lesquels le développement des normes joue un rôle essentiel, nécessite de discuter le *rôle* que peuvent jouer ces ressources. La *conceptualisation* de la notion de ressource pédagogique doit s'appuyer sur des analyses théoriques et empiriques des relations complexes entre humains et artefacts. La nature des mécanismes d'indexation des ressources *dépend* significativement des conceptions que l'on a d'une ressource pédagogique. Cette discussion se situe bien évidemment *en amont* des problèmes de langages de description (tels que XML) et des technologies pour optimiser les mécanismes de gestion des ressources pédagogiques.

Dans les normes actuelles, pourtant indispensables pour assurer l'interopérabilité, la pérennité et la réutilisation des ressources, l'approche pédagogique est souvent centrée sur une conception *transmissive* de l'apprentissage. Dans une perspective instrumentale, les normes devraient davantage résulter d'un processus de construction qui s'inscrive dans la durée et faire l'objet d'un *consensus* entre les différents acteurs de la chaîne de production et les communautés de pratique concernées. Elles ne devraient pas *contraindre* les concepteurs de ressources dans leurs choix pédagogiques et devraient donc être compatibles avec des approches où la technologie est utilisée pour soutenir les apprenants dans les situations où ils *construisent* des connaissances *enjeux d'apprentissage*. Elles devraient pouvoir également *évoluer* en fonction des usages. De manière analogue, la faible diversité des scénarios pédagogiques proposés dans les plates-formes de FOAD (formation ouverte et à distance) ne permet pas de concevoir des dispositifs d'apprentissage à distance ou hybrides exploitant la variété des approches didactiques et pédagogiques. Face à ces constats, de nouvelles approches, plus centrées sur *l'activité d'apprendre*, émergent.

Les différentes contributions de cette deuxième partie s'inscrivent donc dans cette démarche, en essayant de prendre en compte la complexité des concepts, de la modélisation pédagogique, et la diversité des contextes d'utilisation. Elles proposent des approches principalement conceptuelles et techniques, relativement génériques dans leurs principes, mais situées dans des contextes variés, pour la conception de ressources pédagogiques, dans une perspective de partage et réutilisation de ressources au sein de communautés de pratique. Comment instrumenter de manière efficace les activités au sein de ces communautés qui utilisent ou produisent des ressources pédagogiques numériques ?

Dans le septième chapitre, considérant que le développement des ressources pédagogiques est un facteur crucial pour l'intégration des TIC dans l'enseignement des mathématiques, nous cherchons à identifier les caractéristiques des ressources et le type de dispositif de formation susceptible d'accompagner les enseignants dans la conception collaborative de ressources pour des situations didactiques intégrant les TIC. Nous proposons, dans une première partie, une approche *multidimensionnelle* de la conception de ressources pédagogiques qui s'inspire d'un cadre théorique pour l'ingénierie didactique dans les EAI, combinant des dimensions didactique, écologique et instrumentale. Dans cette approche, nous considérons que les ressources pédagogiques pourraient être construites au sein de communautés de pratique enseignantes et pourraient constituer des *instruments pour l'évolution* des pratiques. Nous présentons dans la deuxième partie un dispositif de formation continue centré sur la constitution d'un *vivier* de ressources, le développement d'un vivier étant considéré comme un indice de l'émergence d'une communauté de pratique. Une condition nécessaire à ce développement est l'existence d'un *modèle de ressources* : ce modèle – intégrant des métadonnées – est *négocié* au sein des communautés d'enseignants impliquées dans le dispositif de formation, *validé* par les usages au sein de ces communautés au cours d'un processus intégrant des expérimentations en classe : on assiste à une *coévolution* du modèle, des ressources en conformité au modèle et des pratiques relatives à ces ressources. Ce modèle, en facilitant la mutualisation et la production de ressources à plus grande échelle au sein de ces communautés, contribue à l'émergence de communautés de pratique autour de l'intégration des TICE, dans une vision plus socioconstructiviste de l'enseignement et de l'apprentissage. La question se pose alors de la transposabilité de ce modèle : dans quelle mesure peut-il constituer un artefact (de niveau méta) pour d'autres communautés intéressées par la conception de situations d'apprentissage scientifique pour des EAI, qui soient viables dans le contexte institutionnel scolaire actuel ?

Comment l'ingénierie de dispositifs et de dépôts de ressources pédagogiques peut-elle prendre en compte de manière efficace l'analyse des pratiques et les besoins exprimés par les usagers ? Des principes généraux d'une ingénierie pédagogique pour la conception de dispositifs à distance exploitant les dépôts de ressources et répondant aux besoins des utilisateurs sont décrits dans [PAQ 02]. S'inscrivant dans cette approche, France Henri et Marcelo Maina présentent, dans le chapitre 8, le *design pédagogique*, fondement de la méthode MISA, qui vise à soutenir la conception de cours (principalement pour des formations à distance), et référence pour la conception de l'outil MOT+LD, un éditeur de scénarios pédagogiques qui vise à instrumenter la conception et la réutilisation de scénarios conformes à la spécification IMS LD. Les auteurs travaillent à l'élaboration de propositions pour le renouvellement des pratiques des concepteurs avec l'objectif de *créer un pont* entre les enseignants concepteurs de cours et les concepteurs (technologiques) de l'outil MOT+LD : ils postulent que, si les concepteurs pédagogiques et technologiques partagent une même conceptualisation du design pédagogique, la conception des outils et leur appropriation en seront facilitées. Dans

cet objectif, ils analysent dans une première partie l'activité de conception de cours réalisée par des enseignants au Québec, puis à partir du modèle générique d'activité qui émerge, ils comparent les différentes phases de cette activité à celles de la méthode MISA. Dans une deuxième partie, les auteurs testent l'éditeur de scénarios MOT+LD. Les tests de transposition d'un scénario de type MISA mettent en évidence la nécessité d'ajouter de nouveaux objets et documents, afin d'obtenir une unité d'apprentissage interopérable et accessible à partir d'une banque d'objets d'apprentissage. Les résultats conduisent à un questionnement du design pédagogique, celui-ci paraissant en contradiction avec les valeurs, l'identité professionnelle et les représentations des enseignants. Ils montrent la nécessité de *reconceptualiser* une notion de design pédagogique s'appuyant sur une génération d'outils flexibles et malléables pour une nouvelle approche de conception participative où les usagers seront acteurs du développement des artefacts.

Le neuvième chapitre porte sur l'exploitation multi-usages de ressources pédagogiques pour un partage au sein de communautés, c'est-à-dire sur l'adaptation d'un contenu dans plusieurs contextes. L'hypothèse défendue par Stéphane Crozat est que la réutilisation est dépendante des possibilités d'adaptation du contenu. Le cadre conceptuel et technologique est celui de l'ingénierie documentaire qui, en remplaçant les propriétés calculatoires du numérique au centre du débat, distingue ressource documentaire calculable comme *moyen* et document calculé comme *finalité*. La distinction entre ressources documentaires *sources* et documents *cibles* au sein du processus de création de contenu numérique est une condition de l'adaptation, et donc de la réutilisation qui en dépend. Le *calcul* est alors la propriété fondamentale qui rend cette distinction opérationnalisable informatiquement. L'auteur présente ensuite une ingénierie adaptée à cette approche, ainsi que les conséquences technologiques qu'elle induit, puis un système et quelques projets au sein desquels cette approche a été mise en œuvre. Le chapitre se termine sur des propositions pour généraliser l'approche exposée et ainsi favoriser l'émergence de bonnes pratiques, en s'attachant en particulier aux questions de la création initiale des contenus et de la standardisation : l'enjeu est de se doter de formats de création permettant d'obtenir, selon les contextes d'usage, une *publication* dans un format standard d'exploitation ou un autre, en profitant des propriétés calculatoires du numérique. L'*abstraction documentaire* des ressources et le format XML constituent une solution à ce problème, en offrant une indépendance technologique et le niveau d'abstraction nécessaire à la publication automatique de documents exploitables selon des formats standardisés depuis des ressources créées à cet effet. La démarche proposée – consistant à séparer des formats de création abstraits de formats d'exploitation calculés depuis ces derniers – a des implications pratiques, notamment sur la question des outils de création de contenu et sur la question des standards portant sur les contenus de formation.

Dans le dixième chapitre, Richard Hotte et Julien Contamines proposent une réflexion épistémologique et un questionnement de nature pluridisciplinaire sur le

courant actuel du *Web sémantique* et sur ses potentialités pour les communautés de pratique en éducation/formation. Dans le contexte d'une approche instrumentale de la constitution d'un patrimoine éducatif au sein d'une communauté, ce chapitre a pour objectif de tisser des liens entre les concepts de Web sémantique, de banque de ressources pédagogiques et de communauté de pratique. La première partie présente les trois concepts précédents. Le Web sémantique, dont l'objectif est de munir l'information sur le Web d'une couche sémantique afin de faciliter le traitement de l'information, repose sur le concept d'ontologie, qui doit permettre la représentation du consensus d'une communauté de pratique [DES 06] et doit pouvoir évoluer au cours du temps. Après avoir présenté quelques exemples d'applications du Web sémantique dans le champ des EIAH et de la formation en ligne, les auteurs discutent la notion de banque de ressources pédagogiques qui répondrait à une modification du rôle de l'enseignant et viendrait soutenir cette mutation. Le concept de communauté de pratique est ensuite questionné sous l'éclairage de l'approche instrumentale et de la notion d'*identité* [PAS 05] : le processus de *réification* est considéré comme un processus d'instrumentation de la pratique professionnelle d'une communauté de pratique, les *traces*, nées de ce processus, constituant les ressources qui vont ensuite instrumenter cette pratique. La deuxième partie établit des liens entre les concepts introduits précédemment, dans la perspective de mettre en évidence les potentialités et les limites du Web sémantique pour l'éducation et la formation. L'objectif réellement ambitieux du Web sémantique, *l'accès au sens*, ne devrait pas, selon les auteurs, être animé par une dynamique de prescription *a priori* des significations, mais plutôt par un mécanisme d'appropriation *a posteriori* des significations, à partir des traces de l'activité au sein des communautés de pratique. En effet, une communauté de pratique contribue à enrichir l'usage prescrit des ressources de leur utilisation au cours d'une pratique ayant sa propre mémoire et sa propre finalité. Le chapitre se termine par un questionnement sur les impacts réels du Web sémantique et des banques de ressources pédagogiques pour l'efficacité des communautés de pratique.

Dans le dernier chapitre, Monique Baron et Gilbert Paquette resituent les travaux de cet ouvrage dans le champ des STIC (sciences et technologies de l'information et de la communication), plus précisément dans le champ des STICEF (STIC pour l'éducation et la formation), travaillé par des courants de recherche et des disciplines multiples, dans un contexte de foisonnement de technologies évoluant rapidement. Ils soulignent les problèmes que posent – aux chercheurs comme aux praticiens – la conception, l'échange, la mutualisation, la réutilisation de ressources numériques pour l'apprentissage. Ils discutent, cette fois-ci d'un point de vue d'informaticiens, quelques aspects de la vision du Web sémantique qui font encore l'objet de nombreux travaux de recherche, le débat sur les potentialités et les limites de cette vision restant actuellement largement ouvert. Les auteurs proposent ensuite des éclairages sur des tendances de travaux en cours, fortement influencés par le Web sémantique, qui portent sur l'élaboration de modèles et de standards pour la conception de ressources, de viviers de ressources ou d'environnements d'apprentissage. Après avoir présenté un exemple

concret de modélisation pédagogique basée sur la spécification IMS LD, vue comme réalisant un pont entre ingénierie pédagogique et ingénierie technologique, ils montrent, dans un contexte de formation à distance, comment les approches de modélisation pédagogique, d'ingénierie cognitive et du Web sémantique peuvent être combinées pour concevoir un système de formation destiné à une mise en œuvre sur le Web. La proposition de tels systèmes les conduit à envisager de nouveaux principes d'ingénierie pédagogique pour la formation à distance, qui nécessite d'être soutenue par de nouveaux outils. La perspective d'intégration aux plates-formes de formation de toute une gamme d'outils de conception et de soutien aux activités et aux acteurs conduit à la vision d'« écosystèmes cognitifs », capables d'évoluer au rythme de leurs usagers et contribuant à l'évolution de leurs connaissances et de leurs compétences, conformément à une approche de *coévolution* des systèmes de formation et de leurs acteurs/utilisateurs.

Cette idée d'écosystèmes cognitifs est une bonne perspective pour achever cet ouvrage, comme cette introduction, car elle répond à une triple nécessité :

- penser les ressources et les environnements comme des entités vivantes se développant sous certaines conditions (technologiques, institutionnelles, didactiques, etc.) ;
- penser les relations entre tous les acteurs de ces écosystèmes comme des interrelations, chacun (concepteurs, utilisateurs) se nourrissant des contributions de chacun ;
- penser le développement des ressources et des environnements à partir d'un point de vue essentiel, celui des connaissances qu'ils transposent, intègrent et contribuent à construire.

La publication d'un ouvrage n'est pas une fin en soi : celui-ci est né d'une rencontre, celle du symposium de 2005. Il s'est développé tout au long des interactions entre auteurs et éditeurs. Aux lecteurs de s'approprier, pour eux-mêmes et pour leurs communautés de pratique, les idées – approches, concepts, modèles, outils, méthodes – qu'il contient et de les enrichir de leurs propres usages... Ainsi, avec la diffusion de ce livre, nous espérons vivement de nouvelles interactions fécondes, donnant matière à une diversité d'instruments au service des communautés concernées.

Bibliographie

- [BAL 94] BALACHEFF N., « Didactique et intelligence artificielle », *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 14, n° 1-2, p. 9-42, 1994.
- [BEG 00] BEGUIN P., RABARDEL P., « Concevoir pour les activités instrumentées », *Interactions homme-système : perspectives et recherches psycho-ergonomiques*, *Revue d'Intelligence artificielle*, vol. 14, n° 1-2, p. 35-54, 2000.

- [BEG 05] BEGUIN P., « Concevoir pour les genèses professionnelles », dans Pastré P., Rabardel P. (dir.), *Modèles du sujet pour la conception. Dialectiques activités développement*, p. 31-52, Octarès, Toulouse, 2005.
- [BOU 92] BOURDIEU P. (avec WACQUANT L.), *Réponses. Pour une anthropologie réflexive*, Seuil, Paris, 1992.
- [BRO 98] BROUSSEAU G., *Théorie des situations didactiques*, La Pensée Sauvage, Grenoble, 1998.
- [DES 06] DESMOULINS C., GRANDBASTIEN M., « Ingénierie des EIAH fondée sur des ontologies », dans Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 161-180, Hermès, Paris, 2006.
- [DIL 02] DILLENBOURG P., JERMANN P., « Internet au service de l'innovation », dans Guir R. (dir.), *Pratiquer les TICE. Former les enseignants et les formateurs à de nouveaux usages*, p. 179-186, De Boeck, Bruxelles, 2002.
- [DOR 98] DORE S., BASQUE J., « Le concept d'environnement d'apprentissage informatisé », *Journal of Distance Education/Revue de l'Enseignement à Distance*, vol. 13, n° 1, p. 1-20, 1998.
- [DUV 95] DUVAL R., *Sémiosis et pensée humaine. Registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*, Peter Lang, Berne, 1995.
- [GRA 06] GRANDBASTIEN M., LABAT J.-M. (DIR.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, Hermès, Paris, 2006.
- [GUI 02] GUIN D., TROUCHE L. (DIR.), *Calculatrices symboliques. Transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique*, La Pensée Sauvage, Grenoble, 2002.
- [PAQ 02] PAQUETTE G., *L'ingénierie pédagogique : pour construire l'apprentissage en réseau*, Presses de l'Université du Québec, Québec, 2002.
- [PAS 05] PASTRE P., « Genèse et identité », dans Rabardel P., Pastré P. (dir.), *Modèles du sujet pour la conception : Dialectiques activités développement*, p. 231-260, Octarès, Toulouse, 2005.
- [RAB 95] RABARDEL P., *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*, Armand Colin, Paris, 1995.
- [RAB 05] RABARDEL P., PASTRE P. (DIR.), *Modèles du sujet pour la conception. Dialectiques activités développement*, Octarès, Toulouse, 2005.
- [TCH 04] TCHOUNIKINE P. *et al.*, Platon-1 : quelques dimensions pour l'analyse des travaux de recherche en conception d'EIAH, *Rapport de l'Action Spécifique Fondements théoriques et méthodologiques de la conception des EIAH*, département STIC du CNRS [en ligne] : <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00002999/en/> (consulté en octobre 2006).
- [VER 96] VERGNAUD G., « Au fond de l'apprentissage, la conceptualisation », dans Noirfalise R., Perrin M.-J. (dir.), *Ecole d'été de didactique des mathématiques*, Université Clermont-Ferrand II, p. 174-185, 1996.
- [WEN 98] WENGER E., *Communities of practice. Learning, meaning, and identity*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.

PREMIERE PARTIE

Environnements et dispositifs
pour l'apprentissage :
modèles, conception et usages

Chapitre 1

L'intégration d'artefacts informatiques professionnels à l'enseignement dans une perspective instrumentale : le cas des tableurs

1.1. Introduction

Le symposium dont ce livre est issu visait la mutualisation des modèles et ingénieries des différentes disciplines, ainsi qu'une réflexion entre ingénierie des dispositifs et analyse des pratiques, en vue de leur enrichissement mutuel, en s'appuyant notamment sur les notions d'instrumentation et de communauté de pratique. La réflexion que nous développons dans ce texte a pour ambition d'y contribuer en se situant dans un champ disciplinaire particulier : celui de la didactique des mathématiques, mais en intégrant aux approches développées dans ce champ la notion d'*instrument* issue de l'ergonomie cognitive. Nous nous interrogeons sur les problèmes posés par l'intégration dans la scolarité obligatoire en mathématiques en France d'un *artefact* informatique professionnel : le tableur. Nous désignons par artefacts professionnels des artefacts conçus initialement pour des usages professionnels sans visée éducative, qui ont été importés dans le système d'enseignement. Nous montrons comment une approche instrumentale, conjuguant les apports de l'ergonomie cognitive et de l'anthropologie didactique, permet de mieux comprendre les difficultés rencontrées et d'envisager des moyens d'action. La réflexion menée s'appuie sur diverses études complémentaires : analyse de l'artefact

tableur, analyse de *ressources pédagogiques* mises à la disposition des enseignants¹, conception et étude d'un *dispositif* didactique basé sur ces analyses visant à mettre en place une première rencontre simultanée avec le monde de l'algèbre et avec le tableur. Ces analyses débouchent sur des questions relatives aux ressources et à leurs modes de description, ainsi qu'aux pratiques de formation. Elles amènent à introduire, pour penser les questions d'intégration d'artefacts informatiques à l'enseignement, une notion de distance instrumentale dont nous essayons de préciser les critères.

Les réflexions présentées dans ce chapitre s'appuient en particulier sur la thèse en didactique des mathématiques de la première co-auteure [HAS 05b]. Cette thèse concerne le tableur, un artefact informatique *professionnel*, et les problèmes posés par son *importation* dans l'enseignement des mathématiques. Partant du constat que, malgré sa présence officielle dans les programmes de mathématiques dès le collège, malgré la multiplicité des ressources pédagogiques développées pour les enseignants (manuels, publications, sites Internet, etc.), le tableur reste d'un usage très marginal dans la scolarité obligatoire en France, la recherche menée dans la thèse vise à analyser et comprendre les difficultés posées par *l'intégration* de cet artefact. L'existence de telles difficultés n'a en soi rien de surprenant. Comme le rappellent Guin et Trouche dans le chapitre 7 de cet ouvrage, elles accompagnent avec constance les efforts successifs faits depuis plus de 20 ans pour intégrer des artefacts informatiques à l'enseignement des mathématiques, qu'il s'agisse d'artefacts professionnels comme c'est le cas ici ou d'artefacts éducatifs comme les calculatrices ou les logiciels de géométrie dynamique. Mais chaque nouvel artefact pénétrant l'enseignement pose la question de l'intégration de façon partiellement renouvelée et requiert de ce fait une étude spécifique.

Depuis une dizaine d'années, en didactique des mathématiques, les travaux sur les *calculatrices symboliques*, autres artefacts professionnels importés dans le monde éducatif [ART 02, GUI 99, LAG 99, TRO 05], ont conduit au développement d'une approche instrumentale de ces questions d'intégration (voir [GUI 02] pour une première synthèse). Cette approche conjugue *ergonomie cognitive* et *didactique* dans une construction que l'on ne saurait encore considérer comme stabilisée, comme en témoignent notamment les débats menés dans les récents colloques CAME [CAM]. Les questions d'*instrumentation* étant au cœur de cet ouvrage et les perspectives développées à leur propos variant suivant les auteurs,

1. Le terme « ressource » réfère dans le cadre de cet article aux ressources documentaires pour l'enseignement, à savoir des fiches d'activités mathématiques en environnement tableur, proposées sur des sites Internet, à destination des enseignants avec parfois un fichier tableur à télécharger et des indications sur une gestion possible avec des élèves. Le sens attribué à ce terme est donc à rapprocher de celui donné par Guin et Trouche (voir chapitre 7), les objets étudiés étant cependant très incomplets si on les compare à ceux produits dans le cadre du SFoDEM.

il nous semble important de préciser notre vision de cette approche. Nous la concevons comme un objet hybride dans lequel se conjuguent des apports de l'approche instrumentale développée en ergonomie cognitive [RAB 99, VER 95] et de la théorie anthropologique du didactique (TAD) [CHE 91, CHE 98]. C'est la TAD qui constitue pour nous le cadre macro-didactique de référence et l'intégration d'apports de l'ergonomie cognitive vise à enrichir les moyens dont elle dispose pour approcher les questions instrumentales.

Les débats actuels, en particulier ceux concernant les rapports entre *schèmes* et *techniques*, ou l'importance relative à accorder à ces deux notions (voir [MON 05] par exemple) témoignent, nous semble-t-il, des difficultés rencontrées à conjuguer dans une construction totalement cohérente ces deux approches. Ils témoignent aussi de l'effet, sur cette recherche de cohérence, des sensibilités didactiques différentes des chercheurs à l'origine de cette construction théorique. Notre vision de l'approche instrumentale n'est sans doute pas ainsi exactement la même que celle portée par AIDE, telle que développée par Guin et Trouche dans le chapitre 7. En particulier, pour nous, analyse didactique et analyse écologique ne renvoient pas à des approches distinctes, la perspective écologique étant fondamentale dans la TAD. D'autre part, le fait de se situer au niveau macro-didactique dans l'approche anthropologique conduit à regarder le sujet cognitif comme émergeant d'assujettissements institutionnels divers, et à chercher d'abord, dans la compréhension de ces assujettissements et dans les caractéristiques des situations dans lesquelles il est placé, les raisons des comportements observés. Ceci conduit à des analyses et interprétations qui peuvent être sensiblement différentes de celles portées par les paradigmes constructivistes ou même socio-constructivistes, ou encore de celles portées par les approches didactiques fondées sur la théorie de l'activité [ART 05].

Ces précisions étant apportées, nous n'entrerons pas plus avant dans la discussion sur les différences de position, pour revenir à ce qui est l'objet de ce texte : montrer en quoi l'approche instrumentale est un outil efficace pour étudier et comprendre les problèmes posés par l'intégration du tableur à l'enseignement des mathématiques dans la scolarité obligatoire, ainsi que pour envisager des moyens d'action. Dans ce texte, nous montrerons donc comment cette approche permet d'analyser l'artefact tableur, mais aussi de questionner les travaux de recherche didactique menés à son propos ainsi que les ressources pédagogiques produites pour les enseignants. Nous montrerons aussi comment elle a été utilisée pour construire une *ingénierie didactique* exploratoire en classe de 5^e (élèves âgés de 12 ans), visant à organiser une première rencontre simultanée avec le monde de l'algèbre et le tableur. Au cœur d'un tel projet, dans la perspective qui est la nôtre, se trouve la nécessité de penser l'*articulation* des deux rencontres de telle manière que les besoins mathématiques et technologiques d'un début de *genèse instrumentale*

concernant le tableur y soient correctement identifiés et satisfaits, et que leur satisfaction serve les apprentissages algébriques visés. Nous analyserons les difficultés rencontrées dans cette tâche. Tout ceci nous conduira à introduire une notion de complexité instrumentale associée à l'idée de distance instrumentale entre environnements d'apprentissage. Cette notion, que nous essaierons de préciser, nous semble particulièrement utile, d'une part pour comprendre les difficultés résistantes rencontrées dans l'intégration d'artefacts informatiques à l'enseignement des mathématiques et trouver des moyens de les surmonter, d'autre part pour penser les rapports entre la conception d'*environnements d'apprentissage informatisés* et leur exploitation didactique.

Précisons, pour terminer cette introduction, que nous n'avons pas utilisé dans cette recherche la notion de communauté de pratique souvent évoquée dans cet ouvrage. Mettre en cohérence divers cadres théoriques pour en faire une utilisation pertinente et efficace n'est pas une chose aisée et l'articulation entre l'approche anthropologique et celle des communautés de pratique ne nous semble pas aller de soi. Toutes deux sont particulièrement sensibles aux dimensions sociales et institutionnelles des apprentissages, mais la modélisation des *interactions* sociales et la vision de leur rôle dans l'apprentissage y sont très différentes. Dans ce texte, ces différences nous semblent particulièrement visibles dans la partie concernant la conception et l'analyse de l'ingénierie exploratoire.

1.2. Analyse instrumentale du tableur : transition arithmétique-algèbre

Le tableur est un artefact informatique dont les usages sont *a priori* multiples. Initialement conçu pour automatiser des calculs comptables et permettre des simulations dans ce domaine, il a aujourd'hui largement migré hors de cet habitat. Dans l'enseignement, on observe un mouvement similaire. Les premiers usages scolaires du tableur ont été comptables, mais ils se sont progressivement élargis. En France, par exemple, le tableur est aujourd'hui associé à l'enseignement des mathématiques dès le collège et son exploitation est préconisée en arithmétique, algèbre, analyse, statistique et probabilités.

Nous avons choisi, quant à nous, de contextualiser la recherche et donc l'analyse instrumentale du tableur dans un domaine mathématique particulier : celui de l'algèbre élémentaire. Il y a à cela plusieurs raisons : les difficultés reconnues d'apprentissage dans ce domaine (voir [BED 96, GRU 95, STA 04] pour des visions synthétiques), mais aussi le fait que la plupart des recherches didactiques menées sur le tableur jusqu'ici concernent ce domaine et présentent le tableur comme un artefact particulièrement susceptible d'aider son apprentissage [AIN 03, ARZ 01, CAP 00, DET 95, ROJ 97].

L'approche instrumentale que nous avons choisie nous conduit en premier lieu à analyser comment l'artefact tableur *façonne* le travail algébrique, pour inférer des effets potentiels de son usage sur les apprentissages dans ce domaine, puisque l'apprentissage de l'algèbre, comme tout apprentissage mathématique, ne peut être pensé indépendamment des artefacts matériels et symboliques qui conditionnent à la fois ce qui est appris et la façon dont cela est appris. Cette analyse passe par une identification des objets tableurs qui interviennent dans la résolution de problèmes de nature algébrique et des démarches de résolution que l'utilisation de cet artefact permet et/ou favorise. La sensibilité aux aspects institutionnels de l'approche instrumentale nous fait aussi obligation de situer ces objets et démarches par rapport aux apprentissages visés par l'institution scolaire. Le paragraphe suivant porte sur cette étude et débouche sur diverses interrogations. Nous verrons ensuite comment les recherches didactiques menées sur l'apprentissage de l'algèbre se situent par rapport à ces interrogations.

1.2.1. Conceptualisation et instrumentation : objets et démarches

Nous nous intéressons donc ici à la façon dont le tableur transforme, influence les *objets d'apprentissage* et stratégies de résolution des problèmes qui marquent l'entrée dans le monde de l'algèbre. Ces problèmes, comme le montrent les recherches didactiques, sont de nature distincte suivant les aspects de l'algèbre choisis pour cette entrée. L'accent peut être en effet mis, comme le montre bien la récente étude ICMI consacrée à ce domaine [STA 04], sur la fonction de *généralisation* de l'algèbre, sur la *modélisation algébrique*, ou sur l'entrée dans ce que l'on note, depuis Descartes, la *méthode analytique* pour résoudre des problèmes arithmétiques, géométriques ou issus de la vie quotidienne. Suivant le cas, les objets mathématiques qui apparaissent au premier plan ne sont pas exactement les mêmes : variables, formules et fonctions d'une part, inconnues, équations et inéquations d'autre part, et la discontinuité entre arithmétique et algèbre est plus ou moins forte. Dans la culture scolaire française, c'est traditionnellement la voie analytique qui est privilégiée et la résolution, *via* leur mise en équation, de problèmes divers apparaît comme emblématique de l'entrée dans le monde de l'algèbre. C'est pourquoi nous attachons, dans la suite, une attention particulière à la façon dont le tableur est susceptible d'influencer la résolution de tels problèmes.

1.2.1.1. Stratégies de résolution


Pour la résolution des problèmes conduisant à des équations, la recherche didactique oppose généralement la stratégie de *résolution arithmétique* allant du connu vers l'inconnu, en suivant un processus d'analyse-synthèse ou d'essai-erreur lorsque l'analyse-synthèse est mise en défaut, et la *stratégie algébrique* (ou

analytique) consistant à établir des relations entre connu et inconnu, les équations, et à les travailler formellement pour aboutir au résultat. Le changement qui en résulte est généralement considéré comme une des discontinuités essentielles dans la transition entre arithmétique et algèbre. Comme l'ont montré divers chercheurs, le tableur permet *a priori* de réduire cette discontinuité en offrant un espace de travail intermédiaire [ROJ 97]. Il permet en effet de combiner une organisation algébrique : celle de la feuille de calcul où sont entrées les grandeurs en jeu et les relations qui les lient, et une résolution de type arithmétique par essai-erreur à partir de cette feuille de calcul [HAS 05a]. Il constitue ainsi un espace où peut s'opérer *a priori* avec plus de progressivité, sous la direction de l'enseignant, la transition entre les deux mondes.

1.2.1.2. Objets usuels et objets nouveaux

Les objets algébriques basiques du tableur sont plutôt ceux de variable et de formule que ceux d'inconnue et d'équation. Mais la logique propre au tableur : celle de l'optimisation de calculs comptables à l'origine, rappelons-le, les a façonnés et ils ne coïncident pas avec leurs référents papier-crayon. Précisons ces différences. En papier-crayon, les variables dans les formules sont écrites à l'aide de symboles (une lettre généralement pour le niveau d'enseignement considéré ici). A cette « variable lettre » se rattache un ensemble de valeurs possibles (ici numériques) et la variable existe en référence à cet ensemble de valeurs. Dans le tableur, la situation est plus complexe. Considérons, pour l'illustrer, le cas le plus simple de deux cellules liées par une formule et l'exemple de la formule associée au calcul des carrés : nous avons une cellule argument A2 et une formule en B2 se référant à cette cellule argument (voir figure 1.1).

	A	B
1		
2	5	= A2 ^2



A2 est la cellule argument

Figure 1.1. Variable et formule pour le tableur

Il y a, là encore, une variable écrite à l'aide de symboles (propres au langage du tableur) et qui se réfère, comme en papier-crayon, à un ensemble de valeurs possibles. Mais cet ensemble référent (abstrait ou concrétisé par une valeur particulière comme 5 sur le schéma) passe, ici, par un intermédiaire important, la *cellule argument*, qui est à la fois :

- référence *abstraite*, générale : elle représente la variable (c'est bien à elle que se réfère la formule en lui faisant jouer le rôle de variable) ;
- référence *concrète*, particulière : c'est ici un nombre (lorsqu'on n'y a rien édité, certains tableurs lui attribuent la valeur 0) mais cela peut être aussi une autre formule ;

- référence *spatiale/géographique* (c'est une adresse spatiale dans le tableau) ;
- référence matérielle (c'est une case du tableau, certains élèves la voient comme une boîte).

Ainsi, la variable « lettre » est transposée dans le tableur en une cellule argument embarquant avec elle, en plus de la *représentation* abstraite, générale, trois autres représentations sans équivalent papier. Pour marquer cette différence, nous avons introduit la dénomination « variable-cellule » (voir figure 1.2).

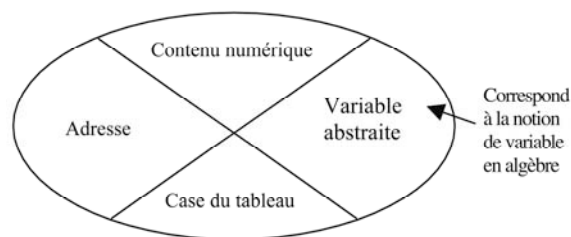


Figure 1.2. La « variable-cellule »

De plus, suivant les fonctionnalités exploitées du tableur, vont émerger d'autres notions de variable : « variable-colonne », « variable-ligne », « variable-nom », chacune dotée de caractéristiques propres (ces fonctionnalités ont récemment été exploitées dans une recherche visant à faire évoluer le concept de variable chez les élèves [WIL 05]). La distinction entre références *absolue* et *relative* est elle aussi intéressante à analyser d'un point de vue algébrique. En utilisant une référence relative, par exemple A1 dans une formule implémentée en A2, le tableur modifie cette référence lors de la commande de recopie pour ne conserver que la position relative des cellules A1 et A2 (ici, même colonne, ligne du dessous). Suivant l'endroit du tableau où la formule a été recopiée, la référence A1 sera donc modifiée de façon à conserver ce positionnement relatif. Ceci est particulièrement utile pour appliquer une même formule à différentes données, de même qu'en papier-crayon on peut calculer différentes valeurs de $2x + 3$ en donnant à la variable x différentes valeurs. En utilisant les références absolues, on crée cette fois des variables qui ne seront pas affectées par les commandes de recopie du tableur mais dont on pourra modifier la valeur si on le souhaite. Cette possibilité, initialement introduite dans les tableurs pour simplifier la programmation des calculs à un moment où l'on ne disposait pas encore de souris, donc de commande de recopie, permet de transposer dans l'environnement tableur la distinction subtile opérée en algèbre entre variables et paramètres. Cette distinction est particulièrement utile dans la résolution de problèmes faisant intervenir plusieurs variables ou lorsqu'il s'agit de passer de

l'étude d'un objet particulier à celle d'une famille d'objets. Un des aspects différenciant la notion de paramètre de la notion de variable est en effet le degré plus élevé de variation et de généralisation au niveau duquel ces deux notions agissent. Par exemple, varier x dans $3x + 5$ implique de varier numériquement l'expression, ce qui se traduit graphiquement par le tracé de la courbe de la fonction $x \rightarrow 3x + 5$, varier a dans $ax + 5$ implique la variation de l'expression comme un tout et, graphiquement, les tracés des graphes complets de $x \rightarrow ax + 5$ pour différentes valeurs de a , comme le montre Drijvers [DRI 03, p. 67]. Dans le tableur, les différences de traitement entre variables absolues et relatives reflètent cette différence de degré, même si elles ne se limitent pas à cela². Elles peuvent donc a priori aider à gérer des problèmes mathématiques où la distinction entre variables et paramètres se révèle pertinente et, en particulier, favoriser les processus de généralisation associés. Comme la notion de variable, la notion de « formule » vit de façon spécifique et multiple dans le tableur. Examinons cette situation en mobilisant la fonctionnalité clé du tableur qu'est la recopie. Si l'on copie vers le bas la formule contenue en B2 dans la figure 4.3, pour l'appliquer simultanément à différentes valeurs, on se trouve confronté à un nouvel objet : une « formule-colonne », dont l'écriture symbolique varie à chaque ligne.

	A	B
1		
2	5	=A2^2
3	17	=A3^2
4	-11	=A4^2

Figure 1.3. Une formule-colonne

Ainsi, la succession de calculs obtenus en papier-crayon en appliquant la même écriture symbolique à différentes valeurs se traduit ici par une multiplication d'objets qu'il n'est pas forcément facile d'unifier. Cette unification passe par la reconnaissance, derrière les variations syntaxiques, d'une structure commune : celle portée par la formule-colonne, qui représente l'invariant qu'est la formule mathématique.

On le voit, l'analyse instrumentale pointe, derrière l'apparente facilité d'utilisation du tableur, une complexité liée à la façon dont fonctionnent, dans le tableur, les objets qui renvoient aux objets fondamentaux de l'algèbre. A des objets mathématiques d'apprentissage comme ceux de variable et de formule, se trouve

2. On peut être amené en effet, dans l'environnement tableur, à utiliser des références absolues ou partiellement absolues (par exemple, dans le cas de formules dépendant de deux variables indépendantes n et p , le cas typique étant la construction d'une table d'opération), sans qu'il soit intéressant pour autant de donner à l'une d'elles, par rapport au problème que l'on cherche à résoudre, le statut de paramètre.

associée dans le tableur une pluralité d'objets, et aucun de ces objets ne coïncide exactement avec l'objet mathématique lui-même. Les recherches menées sur les systèmes de calcul symbolique, en particulier celles concernant des élèves peu familiers avec le langage algébrique, ont montré que les décalages subtils qui en résultent génèrent des phénomènes de *pseudo-transparence* dont l'enseignement a tendance à sous-estimer les effets [ART 97]. Tout ceci conduit à s'interroger sur la façon dont peuvent s'organiser les genèses instrumentales associées et s'articuler la mise en place des objets usuels de l'algèbre et des objets tableurs. Ce qui précède laisse présager que le plein usage des spécificités intéressantes du tableur pour l'apprentissage de l'algèbre ne va pas de soi et nous incite à examiner comment ces questions sont traitées dans la littérature de recherche consacrée à ce thème.

1.2.2. Les questions instrumentales dans la littérature de recherche

Les recherches mentionnées plus haut attribuent toutes au tableur un rôle potentiel d'appui à la transition arithmétique-algèbre, en arguant de sa position intermédiaire : post-arithmétique ou pré-algébrique, due à la fois aux *contraintes* qu'il crée au niveau de l'organisation du travail, du symbolisme, de la communication, et aux *nouvelles possibilités* d'action qu'il offre en termes de calcul, de multi-représentativité et d'ajustement dynamique. Mais la lecture des publications laisse les questions posées ci-dessus sans réponse satisfaisante. Pour permettre la transition vers l'algèbre, le choix de *situations d'apprentissage* appropriées est crucial, les publications nous en disent peu sur *l'organisation* et la *gestion* de celles conçues et/ou exploitées par la recherche, ainsi que sur le rôle dévolu aux enseignants. Sur quelles variables didactiques joue-t-on dans ces situations (du côté mathématique, mais aussi du côté tableur) ? Comment l'enseignant incorpore-t-il à l'apprentissage les spécificités techniques du tableur dont on a vu l'importance ? Même si les fonctionnalités et potentialités du tableur sont mieux connues et identifiées, les mettre en œuvre en classe est une tout autre entreprise ; il en est peu question dans les recherches précitées. De plus, l'analyse de ce qui, dans les tâches proposées, peut produire les effets décrits et, en particulier, favoriser la transition vers l'algèbre, met en évidence de nombreux implicites. Chaque tâche mathématique à réaliser avec tableur possède, par exemple, ses propres prérequis et objectifs mathématiques, mais elle embarque aussi des prérequis liés à l'usage de l'artefact (des connaissances sur les fonctionnalités du tableur). Ces derniers sont généralement non explicités alors que repose sur eux le fait que la tâche puisse être dévolue et que l'activité effective des élèves soit celle visée par l'enseignant.

Nous illustrerons ce point par un exemple extrait de [ARZ 01]. On y propose à des élèves de 12-13 ans la tâche suivante : « Représenter, par une formule générale, un nombre impair ». Les détails du travail ne sont pas donnés (contexte, contrat

didactique, etc.), la seule information fournie étant que le professeur donne une première colonne A d'entiers successifs avec la consigne de la désigner/nommer (par « n » par exemple), les impairs associés étant à afficher dans la colonne B. La tâche semble donc en fait la suivante : « A partir des nombres de la colonne A, trouver une formule qui génère des nombres impairs dans la colonne B ». L'environnement tableur permet, *a priori*, diverses solutions et un contrôle par le biais des affichages numériques obtenus. L'énoncé précisant qu'il s'agit de trouver une formule générale, nous excluons une résolution telle que celle de la figure 1.4 différenciant le traitement des pairs et des impairs.

	A	B
1	0	
2	1	=A2
3	2	=A2+A3
4	3	
5	...	

Figure 1.4. Un premier exemple de solution

L'enseignant attend certainement que la formule $2*A1 + 1$ soit écrite puis recopiée, puis que la « formule-colonne » obtenue soit mathématiquement traduite en l'expression « $2n + 1$ ». La fonctionnalité de recopie est donc ici essentielle, comme il est essentiel de comprendre que les expressions différentes générées par la recopie constituent une même formule.

Mais, même en supposant que l'élève utilise bien la recopie vers le bas, l'exercice peut ne pas atteindre facilement son but (faire émerger la formule « $2n + 1$ »), puisque la recopie vers le bas de la formule « =A1 + A2 » fournit aussi une solution (voir figure 1.5). Dans ce cas, pour arriver à la formule, il ne suffit pas d'associer à A1 le nom « n » de la « variable-colonne », il faut dissocier les éléments de cette « variable-colonne » pour les relier entre eux et associer, par exemple, « n » à A1 et « n + 1 » à A2. Une contrainte supplémentaire semble donc implicite : celle de n'utiliser pour la formule écrite en B1 que la « variable-cellule » A1. On peut légitimement se demander ce qui, dans cette situation, peut conduire au comportement attendu un élève *a priori* en train d'apprendre la notion de formule, quelle instrumentation préalable du tableur, quelles actions de l'enseignant avant et pendant la séance permettent la réussite observée. L'article ne le précise pas.

	A	B
1		$0 = A1 + A2$
2		1
3		2
4		3
5		...

Figure 1.5. *Un deuxième exemple de solution*

Ainsi, tandis que sont explicitées les variables mathématiques de ces situations, ce qui concerne les genèses instrumentales et leur gestion par l'enseignant reste implicite. A quel moment, par exemple, est introduite la recopie ? En quoi la connaissance déjà éventuellement acquise en papier-crayon de la notion de formule est-elle utilisée pour donner sens à la recopie ou, en sens inverse, la recopie pour donner sens à la notion de formule ? Nous voyons là l'imbrication des deux univers : mathématique et tableur, et l'importance de questions d'instrumentation qui peuvent conduire à de nombreux malentendus si leur gestion reste totalement implicite.

1.3. Du côté des pratiques : analyse d'usages

Nous allons, dans ce qui suit, exploiter cette analyse théorique pour étudier les usages effectifs à travers deux types de corpus : une ingénierie exploratoire menée en classe de cinquième visant à introduire simultanément tableur et algèbre (voir paragraphe 1.3.1) et une analyse des ressources tableur proposées aux enseignants dans un répertoire de ressources pédagogiques institutionnel (voir paragraphe 1.3.2).

1.3.1. *Etude de la conception et de la gestion d'une ingénierie exploratoire en 5^e*

L'expérimentation s'est déroulée au dernier trimestre de l'année 2002-2003, avec deux enseignantes³, dans deux classes de 5^e de profils très différents n'ayant pas travaillé auparavant en algèbre. Ces classes sont nommées A et B dans la suite. La classe A est une classe sans particularité, la classe B est composée en grande partie d'élèves en difficulté, connaissant des problèmes familiaux et/ou présentant des difficultés scolaires (problèmes de compréhension mais aussi de comportement). Pendant ce trimestre d'expérimentation, cinq séances⁴ ont eu lieu dans chaque classe, avec pour objectif une première approche des connaissances algébriques à

3. L'une étant coauteure de ce chapitre.

4. L'ingénierie exploratoire prévoyait un plus grand nombre de séances, mais ces cinq séances constituent ce qu'il fut possible d'organiser dans ces établissements scolaires ordinaires en prenant en compte les nombreuses contraintes existantes.

travers l'utilisation du tableur. L'étude théorique précédente ayant sensibilisé à la question des genèses instrumentales, le travail de préparation de la séquence a porté une attention particulière à l'accompagnement de cette genèse et à son articulation avec les apprentissages algébriques visés. Ceci s'est effectué *via* la construction d'une gradation précise [HAS 05a, HAS 05b] articulant connaissances algébriques (formule, variable, équivalence/transformation d'expressions) et fonctionnalités tableur (formule, enchaînement de formules, recopie, réactualisation). A partir de cette gradation, les enseignantes ont progressivement construit les séances, en prenant en compte leur perception de l'avancée des connaissances des élèves. Les enseignantes, en effet, si elles étaient familières avec l'utilisation en classe de logiciels de géométrie dynamique, étaient novices dans l'intégration du tableur. Elles ne disposaient pas de ce fait d'un répertoire de situations et de tâches adaptées pour répondre aux objectifs de la gradation prévue, elles manquaient de repères sur les réactions possibles des élèves. Dans le travail de préparation, à travers la donnée d'un prolongement du travail à faire à la maison, l'accent a été mis sur la gestion des genèses individuelles et l'articulation avec le travail papier-crayon. Il n'y avait pas en revanche de consigne particulière sur la façon de gérer les phases collectives ou l'articulation avec les séances ordinaires. Ces choix ont eu des incidences que nous décrivons dans ce qui suit.

Les élèves ont globalement bien tiré parti de cette ingénierie. Ainsi, tout au long des séances, les élèves de la classe A ont progressé dans leurs connaissances algébriques en même temps qu'ils progressaient dans leur connaissance du tableur et de son fonctionnement, à travers les manipulations requises des variables et des formules. A l'issue de la cinquième séance, une petite moitié des élèves semblaient déjà entrés dans une certaine forme de pensée algébrique et un quart se situaient dans un état intermédiaire, réussissant à trouver les formules demandées, mais ne raisonnant pas encore à un niveau de généralité conduisant à recourir spontanément à leur usage. Dans la classe B, plus difficile, les genèses instrumentales se sont, elles aussi, enrichies au fil des séances, les élèves s'approchant graduellement des concepts algébriques à travers les capacités, progressivement mises en place, à associer un nom à une cellule, à éditer une formule, à « appeler une cellule » au lieu de la saisir dans une formule, à recopier une formule, à faire varier le contenu d'une cellule pour atteindre une valeur cible ou pour deviner une formule cachée, et ce, même si les taux de réussite des deux classes se sont écartés progressivement⁵.

Dans la réalisation de la séquence, une des principales difficultés a été générée par l'insuffisante *organisation* des phases collectives et de *l'articulation* avec les séances ordinaires. Nous en donnons ici deux exemples. Le premier concerne le temps qui a été nécessaire aux élèves pour s'approprier la fonctionnalité de recopie

5. Nous pensons que ceci reflète certainement les différences entre les niveaux initiaux de connaissances mathématiques des deux classes.

et reconnaître l'intérêt de son usage qui prend la forme d'une technique permettant de résoudre certaines tâches (résolution de problèmes demandant l'application d'une même formule à de multiples données). Ceci traduit sans doute la difficulté qu'il y a à transformer ce qui peut ici apparaître comme un simple *geste* en un véritable *schème d'action instrumentée* (voir l'introduction de l'ouvrage) et le rôle que joue dans cette élaboration conceptuelle la reconnaissance de l'invariant formule qui transcende ce geste⁶. Les difficultés des élèves autour de la recopie ont en effet duré quasiment jusqu'à la fin, générant un ralentissement de l'avancée dans la gradation. Ceci a empêché l'ingénierie d'aboutir, comme initialement prévu, à la construction de schèmes d'action instrumentée [RAB 99] plus globaux (c'est-à-dire englobant un plus grand nombre de gestes comme celui de recopie) associés à des techniques complexes, comme par exemple la technique d'essai/erreur mentionnée plus haut. Cette difficulté est, selon nous, révélatrice, *via* le ralentissement dans l'avancée des connaissances de la classe qui en a résulté, du *déséquilibre* existant dans cette expérimentation entre l'attention portée aux genèses individuelles et celle portée à la genèse collective au sein de la classe et aux processus d'institutionnalisation censés les soutenir. Elle montre la nécessité de la *socialisation* des genèses instrumentales⁷ autour d'objets communs soigneusement choisis, par exemple autour de la recopie.

On peut voir ici, rétrospectivement, une influence non contrôlée des *scénarios d'usages* traditionnels de logiciels dans l'enseignement des mathématiques. Contrairement au dispositif de travail collaboratif décrit par Hitt (voir chapitre 2, section 2.3), ces usages traditionnels, portés par des pédagogies constructivistes, privilégient le travail individuel ou par groupes de deux élèves avec le logiciel, dans une salle spécifique, sur la base d'une fiche de travail distribuée en début de séance. Les interactions entre groupes, les phases collectives pilotées par l'enseignant y sont très limitées. Comme le montre Pernin (chapitre 6, paragraphe 6.4.1), l'évolution technologique comme celle des approches théoriques conduit aujourd'hui à d'autres types de scénarios. Dans le cas des tableurs comme dans le cas des calculatrices symboliques décrit par Hitt, la technologie utilisée ne l'implémentant pas, l'interaction sociale ne peut résulter que de la *scénarisation didactique*. Dans l'expérimentation, la scénarisation ménage bien des phases collectives et des temps d'institutionnalisation, en cohérence avec l'approche instrumentale, mais dans les conditions délicates de cette ingénierie exploratoire, avec des élèves rencontrant à la fois algèbre et tableur, ce schéma ne permet visiblement pas de profiter suffisamment des potentialités offertes par les interactions sociales dans la classe et

6. Cette action n'est pas, au niveau de la classe de 5^e, si élémentaire qu'elle n'y paraît : elle nécessite de reconnaître dans la situation présentée l'économie que représente la recopie d'une formule, puis l'organisation en conséquence de sa feuille de calcul, l'édition de la formule adéquate, enfin sa recopie.

7. Ce que permet, par exemple, une configuration du type « sherpa » [TRO 05].

le jeu collectif. D'autres formes *d'orchestration instrumentale* (voir Guin et Trouche, chapitre 7, paragraphe 7.2.2) auraient sans doute permis un équilibre plus adéquat entre individuel et collectif. C'est d'ailleurs une des marques qui nous semblent, au vu des analyses faites dans le cadre de la thèse, caractériser les pratiques d'enseignants experts dans l'usage des TICE.

Le deuxième exemple concerne le problème du *vocabulaire* qui surgit dès lors que l'on veut introduire des connaissances tableur de façon plus institutionnelle. Qu'est-ce qu'une cellule : une variable ? Qu'est-ce qu'une colonne (ou une ligne) : plusieurs variables ou une autre représentation de la même variable ? Qu'est-ce qu'une adresse relative ? Y a-t-il un équivalent algébrique ? Les difficultés rencontrées, dans l'expérimentation, à trouver des formulations satisfaisantes pointent cette fois la nécessité, pour parler et décrire les objets et fonctionnalités rencontrés, d'un langage *codifié, adapté et cohérent* avec les mathématiques en cours (officielles et culturelles). Ce problème est largement sous-estimé dans les travaux didactiques. Il est vrai qu'il se révèle moins avec les artefacts informatiques les plus exploités : logiciels de géométrie dynamique ou calculatrices graphiques dont le lexique est plus proche du vocabulaire usuel.

Il nous semble intéressant d'interpréter ce qui précède en termes de *distance instrumentale*, en postulant que plus la distance est grande par rapport aux références institutionnelles, plus le travail de l'enseignant sera difficile. En particulier, plus les objets et les représentations de ces objets⁸ dans l'environnement informatique s'éloignent des objets et des représentations traditionnels, plus le travail d'intégration (rapprochement, mise en relation entre les diverses représentations en jeu) sera délicat. Comme l'a souligné Balacheff en introduisant la notion de transposition informatique, l'implémentation de connaissances mathématiques dans un artefact informatique, pour en permettre la visibilité ou la manipulation, n'est pas sans effet sur ces connaissances [BAL 94]⁹. En ce sens, toute implémentation informatique de connaissances mathématiques est génératrice de distance. Cette distance est, en partie, due aux contraintes imposées par l'implémentation informatique, elle est aussi, dans certains cas, créée volontairement pour fournir des potentialités nouvelles pour l'activité ou l'apprentissage. Dans le cas des tableurs, comme nous l'avons souligné au début, la logique de développement n'a pas été celle de l'implémentation de connaissances

8. Le terme objet étant pris dans un sens très large, incluant les relations entre objets et les techniques de manipulation de ces objets.

9. Balacheff [BAL 94] définit la transposition informatique comme le « travail » sur la connaissance qui en permet une représentation symbolique et la mise en œuvre de cette représentation par un dispositif informatique, qu'il s'agisse ensuite de « montrer » la connaissance ou de la « manipuler ». Il insiste sur le fait que « toute représentation a des propriétés héritées à la fois des choix de modélisation qui ont été faits et des caractéristiques des moyens sémiotiques retenus ».

mathématiques, mais comptables. Elles mettent en jeu des objets, nombres, formules, etc., que le mathématicien reconnaît comme objets mathématiques, mais on peut néanmoins s'attendre à des décalages plus grands avec les objets et les représentations mathématiques traditionnelles que si c'était une logique de transposition de connaissances mathématiques qui avait présidé à la transposition.

Nous avons pris le soin de distinguer *objets* et *représentations*. Ceci nous permet de souligner que les représentations traditionnelles papier-crayon des objets mathématiques, assujetties qu'elles sont aux contraintes imposées par ce medium, n'ont pas de raison d'être optimales, et que s'en écarter peut permettre d'approcher mieux certains objets mathématiques. La distance instrumentale peut ainsi être *mathématiquement productive*. L'exemple des logiciels de géométrie dynamique nous semble particulièrement intéressant de ce point de vue. Il nous donne à voir en effet des artefacts dans lesquels la distance semble jouer de deux façons différentes, toutes deux favorables à une intégration par les enseignants. D'une part, un effort systématique a été fait pour réduire la distance par rapport à l'enseignement traditionnel en étant le plus proche possible du vocabulaire scolaire en géométrie. D'autre part, les nouvelles caractéristiques dynamiques données aux représentations les rapprochent des objets mathématiques auxquels elles sont associées. Expliquons-nous en considérant la notion de *figure*. La figure, entité géométrique, est accessible aux sens par les dessins qu'on lui associe. A une même figure peuvent être associés une infinité de dessins, mais l'économie du travail papier-crayon fait qu'en général cette infinité se résume à un tracé qui porte, hors les propriétés de la figure, diverses autres caractéristiques spatiales et géométriques. Contrairement au tracé papier-crayon, un dessin tracé à l'écran avec un logiciel de géométrie dynamique est un objet dynamique et, en en déplaçant les éléments libres, on peut distinguer les propriétés de la figure géométrique qu'il représente, des propriétés contingentes de tel ou tel tracé particulier [LAB 94]. Une distance a ainsi été créée volontairement par rapport aux représentations papier-crayon, pour approcher mieux le concept de figure géométrique et faciliter son apprentissage.

Ceci nous rappelle que, même si la distance peut-être vue comme productrice de complexité de manière générale, pour offrir de nouvelles potentialités à l'apprentissage, un environnement informatique doit nécessairement être distant des environnements traditionnels et de certaines habitudes propres aux institutions scolaires (là encore, on peut en voir un exemple en géométrie dynamique où Colette Laborde cite l'intérêt des tâches uniquement réalisables dans l'environnement informatique comme facteur favorisant l'intégration de type de ce logiciels [LAB 03]). Ceci montre également que, dans la notion de distance, interviennent des éléments du même type que ceux liés à la transposition informatique (analyse des objets mathématiques auxquels on se réfère et de leurs représentations), mais aussi

des dimensions *culturelles* et *institutionnelles*. Nous reviendrons plus loin sur cette analyse, mais il nous semble intéressant de souligner dès maintenant que la comparaison avec les logiciels de géométrie, ressentis comme plus proches et plus faciles à intégrer, est apparue spontanément du côté enseignant dans l'expérimentation, nous incitant à essayer de préciser cette idée de distance instrumentale. Les résultats de l'expérimentation, qui confirment la complexité de l'usage du tableur pour introduire à l'algèbre mise en évidence dans l'étude théorique et l'importance de la prise en compte institutionnelle des genèses instrumentales, conduisent à se demander si les ressources pédagogiques offertes aux enseignants prennent en compte ces problèmes et, si oui, comment. C'est ce que nous examinons dans le paragraphe suivant.

1.3.2. Etude de ressources pédagogiques sur le tableur

Afin d'étudier les ressources tableur produites, nous avons utilisé le cadre théorique précédent pour bâtir une grille d'analyse des activités qui prenne en compte, non seulement les éléments mathématiques, mais aussi l'instrumentation propre au tableur. Nous présentons ici quelques résultats de notre analyse des 57 ressources tableur recensées, en 2003-2004, au niveau collège, dans la *banque de ressources* Educnet [EDU] du Ministère français de l'éducation nationale.

1.3.2.1. Domaine et thèmes mathématiques mis en jeu

Les programmes et documents d'accompagnement en mathématiques au collège mentionnent l'usage du tableur dans différents domaines. En classe de 6e, le tableur est mentionné pour la statistique uniquement. Au cycle central (classes de 5e et 4e, élèves de 13 et 14 ans), s'ajoute à la statistique le domaine de l'algèbre, puisque c'est à ce niveau que l'on introduit l'algèbre en France, avec des commentaires qui sont en cohérence avec les travaux de recherche que nous avons mentionnés (travailler sur les notions de variable, formule, sur les écritures des expressions symboliques). En classe de 3e (élèves de 15 ans), la statistique et l'algèbre sont à nouveau mentionnées, mais aussi l'arithmétique (en exploitant les aspects algorithmiques du tableur) et les fonctions. Le premier résultat, imprévisible si l'on se réfère aux travaux de recherche ainsi qu'à ces instructions officielles, concerne les domaines mathématiques en jeu dans les activités proposées (voir tableau 1.1). Le couple « Statistique/Gestion de données » est en tête, ce qui n'est pas surprenant, mais l'algèbre, malgré la place qui lui est officiellement attribuée dans les programmes de 4e et de 3e, n'arrive qu'en quatrième position, loin derrière un domaine comme Fonctions/Analyse, et après l'arithmétique, alors que ces domaines ne sont présents que dans les programmes de 3e.

Domaine	%
Statistique	28,07
Arithmétique	14,04
Gestion de données	15,79
Géométrie	3,51
Fonctions/Analyse	24,56
Algèbre	12,28
Autres	1,75

Tableau 1.1. Répartition des ressources tableur par domaine mathématique

Si l'on examine plus précisément les thèmes mathématiques visés (voir tableau 1.2), on voit que 14 % environ des ressources présentent des thèmes en relation avec l'algèbre (introduction à l'algèbre, conjectures de formules ou résolution d'équations), soit le même pourcentage que le thème Algorithmes/PGCD qui n'est, là encore, pourtant présent qu'en 3^e. De plus, aucune ressource de cette base ne vise l'utilisation du tableur pour *entrer* dans l'algèbre !

Thèmes	%
Optimisation/Approximation	23,21
Exploration numérique/graphique, conjectures	25,00
Algorithme, PGCD	14,29
Représentation de données	17,86
Conjectures formules	10,71
Résolution équation	3,57
Introduction algèbre	0,00
Autres	5,36

Tableau 1.2. Répartition des ressources tableur par thème mathématique

On peut aussi se demander ce qu'il en est des ressources spécifiquement labellisées « initiation au tableur », a priori importantes dans une perspective d'intégration. Seules sept ressources se situent explicitement dans cette catégorie. Doit-on voir, dans ce nombre réduit, le reflet d'une vision de l'environnement tableur comme un environnement d'accès facile ne nécessitant pas d'attention particulière, ou le fait que ce qui intéresse les producteurs de ressources, c'est d'exercer leur créativité didactique dans le champ des potentialités mathématiques ouvertes, une fois l'initiation de l'élève aux fonctionnalités techniques du tableur effectuée ? Ce faible nombre nous semble, dans

tous les cas, l'indice d'une faible sensibilité aux questions d'instrumentation, à l'idée d'une genèse instrumentale intégrant connaissances mathématiques et « artefactuelles ». Examinons cela plus précisément.

1.3.2.2. *Prise en compte de la dimension instrumentée de l'activité*

L'analyse montre, comme l'on pouvait s'y attendre, l'existence de nombreux implicites concernant l'activité de l'élève, les fonctionnalités du tableur mises en jeu, ainsi que des insuffisances au niveau des scénarios d'usage et de l'accompagnement des genèses instrumentales. Hormis les consignes « élèves », les objectifs, pré-requis, organisation matérielle et temporelle, place dans une progression vis-à-vis du tableur et des contenus mathématiques, rôles respectifs des élèves et professeur sont souvent absents des descriptions fournies. Plus d'un tiers des ressources (35 %) ne fournit aucun *accompagnement* et lorsque des indications existent, elles se situent majoritairement du côté des mathématiques uniquement. Plus exactement, 68 % des ressources ne précisent pas les prérequis, 14 % donnent des pré-requis « mathématiques et tableur », 12 % seulement mathématiques et 5 % seulement tableur. De plus, lorsque des prérequis tableurs sont précisés, il arrive qu'ils soient sous évalués. Par exemple, certaines ressources indiquent : « Aucun pré-requis nécessaire » alors que l'on s'aperçoit que l'élève doit savoir utiliser la poignée de recopie et les formules. Ceci introduit des implicites analogues à ceux mis en évidence dans l'analyse des travaux de recherche. Au total, 60 % des ressources analysées contiennent des implicites qui nous semblent gênants ou très gênants pour l'exploitation de la ressource. Les tableaux 1.3 et 1.4 montrent, de plus, que dans moins de la moitié des ressources les différentes phases du scénario pédagogique sont précisées et que ce n'est que marginalement que les rôles de chacun dans ces phases sont explicités.

Phases de l'activité	%
Indiquées	45,61
Non indiquées	54,39

Tableau 1.3. *Indication des phases de l'activité*

Rôles prof/élèves	%
Détaillés	1,75
Indiqués	15,79
Aucune information	82,46

Tableau 1.4. *Indication des rôles des professeurs et des élèves*

En fait, ces caractéristiques ont, en partie, leur origine dans la nature même des ressources proposées. Il s'agit très majoritairement d'activités éparses, traitant localement d'un point du programme. Elles ne s'inscrivent ni dans la *durée*, ni dans une progression explicite : moins de 7 % des ressources s'insèrent dans une progression et, dans près de 72 % des cas, aucune suite ou même piste pour prolonger le travail n'est proposée. Il semble donc difficile que, dans ces conditions, elles prennent en charge, de quelque façon que ce soit, les questions d'instrumentation.

1.3.3. Synthèse

Dans ce qui précède, après avoir analysé l'artefact tableur dans sa dimension de *support* potentiel à l'apprentissage de l'algèbre, nous avons brièvement analysé une courte ingénierie exploratoire qui s'était donné pour ambition d'organiser une première rencontre avec le monde algébrique en 5^e en s'appuyant sur cet artefact. Nous avons pointé un certain nombre de difficultés rencontrées, lors la réalisation de cette ingénierie, dans la *gestion collective* et *institutionnelle* du processus de genèse instrumentale, et ce en dépit des analyses préalables effectuées. Ceci nous a conduites à questionner les ressources mises à la disposition des enseignants, concernant l'utilisation du tableur dans la scolarité obligatoire, au-delà du seul champ de l'algèbre. L'étude menée montre des objets qui sont très éloignés de ceux qui ont, par exemple été produits dans le cadre du SFoDEM et sont décrits par Guin et Trouche dans le chapitre 7. En utilisant la terminologie introduite dans ce même chapitre, on pourrait les considérer comme des *germes* pour de telles ressources, mais des germes, en un sens, biaisés par leur faible prise en compte du tableur lui-même et par la centration mathématique de l'accompagnement qu'ils fournissent. Cette faible attention aux questions instrumentales tend à favoriser la vision illusoire d'une intégration facile et naturelle. En ce sens, elles nous semblent d'un apport limité pour l'enseignant qui souhaiterait utiliser cet artefact dans son enseignement. En effet nous pouvons supposer qu'un enseignant, non « expert » du tableur, n'est pas d'emblée sensible à ses potentialités, et que, même s'il est sensible à certaines potentialités, il n'est pas *a priori* « outillé » pour faire face à la tâche, nouvelle pour lui, qui consiste à conjuguer de façon efficace instrumentation et apprentissages mathématiques. Les ressources ne l'y aidant pas, il peut difficilement en tirer bénéfice. De nombreux acteurs, concepteurs de programmes ou de ressources, formateurs d'enseignants et chercheurs, sous-estiment ce difficile travail d'intégration déjà pointé dans les recherches sur les CAS¹⁰ :

10. *Computer Algebra Systems*, systèmes de calcul formel, implémentés en particulier sur les calculatrices symboliques.

« *Therefore, we argue for strong teacher involvement in the instrumentation process and full recognition of the constraints and potential of the artefact as well as various profiles of students' behaviour so as to design and implement appropriate mathematical activities. Teachers have to juggle all these parameters in order to enhance students' experimental processes of combining information and understanding tools. How should teachers organise their teaching in order to turn symbolic calculators into efficient mathematical instruments? (...) this reorganisation of instrumented techniques is far from spontaneous and requires spending sufficient time to reach the experimental processes* » [GUI 99].

Nous-mêmes, malgré la réflexion menée, avons difficilement trouvé dans l'ingénierie construite un équilibre entre l'attention accordée aux genèses individuelles et collectives et avons rencontré des problèmes en matière d'institutionnalisation.

1.4. Discussion

Dans cette partie, nous nous proposons de poursuivre la réflexion sur l'analyse, dans une perspective instrumentale, d'apprentissages intégrant des artefacts informatiques professionnels, en tirant les leçons de ce qui précède et en situant les résultats obtenus par rapport à ceux issus des recherches portant sur l'instrumentation et les usages d'autres artefacts professionnels comme les CAS.

Il nous semble tout d'abord important de souligner que nous n'avons pas rencontré de difficulté particulière à exploiter, dans le cadre de l'outil tableur, une approche qui a été développée pour aborder les questions d'intégration à l'enseignement des mathématiques d'un autre outil. Les résultats obtenus pour le tableur sont d'ailleurs tout à fait cohérents avec ceux produits dans les recherches sur les CAS. Dans les deux cas, la transposition informatique produit des objets spécifiques dont la mise en rapport avec les objets mathématiques de l'enseignement est à la fois *problématique* et *source potentielle d'enrichissement*. Dans les deux cas, elle génère une diversité d'objets et de représentations bien plus grande que les environnements d'enseignement usuels, même si cette diversification pose des questions différentes pour les CAS et le tableur. Les travaux sur les calculatrices symboliques avaient mis en évidence, par exemple, une diversité accrue des expressions symboliques rencontrées. Cette diversité conduisait à interroger les modes de représentation interne des nombres et expressions, comme les algorithmes de simplification, mais elle ne conduisait pas à questionner, comme c'est le cas avec le tableur, les notions de variable et de formule. Dans les deux cas aussi, l'approche instrumentale montre à quel point contraintes et potentialités de l'artefact influencent l'activité mathématique et en modifient *l'économie*. Dans les deux cas enfin, on a affaire à des artefacts qui modifient sensiblement les équilibres usuels de

l'enseignement et amènent à questionner ses systèmes de valeurs. On peut penser que ces proximités sont en grande partie liées au caractère professionnel de ces outils et que l'approche instrumentale est, dans ce cas, particulièrement utile pour penser les questions d'intégration, même si elle reste aussi pertinente pour des artefacts comme les logiciels de géométrie dynamique conçus avec une visée éducative [LAB 03, LAB 06].

L'analyse instrumentale nous aide donc à prendre conscience de la distance qui sépare l'univers d'apprentissage de l'algèbre en papier-crayon de l'univers d'apprentissage instrumenté par le tableur, nous aide à préciser les différents éléments qui peuvent contribuer à créer cette distance et à comprendre comment ils agissent et interagissent. Elle nous sensibilise aux problèmes didactiques d'intégration résultant de cette distance. Nous avons, plus haut, formulé l'hypothèse que, plus la distance instrumentale est forte par rapport à l'environnement traditionnel de référence, c'est-à-dire plus la distance à la culture scolaire est grande, plus l'outil va poser des problèmes d'intégration. Mais nous avons aussi laissé entendre qu'une certaine distance est nécessaire pour que des potentialités nouvelles puissent exister pour l'apprentissage. Il est donc important de mieux préciser ce qui peut contribuer à créer de la distance et de pouvoir distinguer, dans les composants de cette distance, des éléments *problématiques* et des éléments *producteurs*, pour pouvoir en penser les possibles effets didactiques.

Pour le tableur, ce qui précède tend à montrer que la distance à la culture algébrique actuelle de l'institution collège est relativement grande et ceci peut nous aider à clarifier la notion de distance instrumentale. Elle résulte à l'évidence de différents facteurs et, dans ce qui suit, nous avons choisi de structurer le discours autour de deux dimensions non indépendantes : la transposition informatique d'une part, la *légitimité institutionnelle*¹¹ d'autre part. La transposition informatique est source de distance instrumentale, mais la considération des normes et valeurs de la culture de référence est nécessaire pour comprendre quels peuvent en être les effets didactiques. En effet, comme le soulignait déjà Chevallard en 1992 [CHE 92], les pratiques instrumentées, pour pouvoir vivre dans l'institution scolaire, doivent y être considérées comme légitimes, et cette légitimité, acquise de longue date pour les outils traditionnels de l'environnement papier-crayon et les pratiques associées, n'a pas de raison d'aller de soi pour les outils logiciels.

Si l'on considère la première dimension, celle de la transposition informatique, on voit apparaître, dans l'analyse qui précède, plusieurs sources de distance instrumentale. Elles concernent respectivement les *démarches*, les *objets* et le

11. Nous entendons par là la légitimité que confèrent les programmes, ainsi que les documents d'accompagnement officiels en mathématiques, à l'utilisation du tableur.

langage. Nous avons souligné le caractère *a priori* productif des différences en termes de démarche par la potentialité offerte d'assouplir une transition jugée à juste titre difficile, mais cette productivité est en partie dépendante de la capacité à gérer une distance instrumentale en termes d'objets et de langage qui, au moment où débute l'enseignement de l'algèbre, paraît, elle, une possible source de difficultés. Si l'on se situe plus avant dans la scolarité, ces difficultés peuvent s'affaiblir et l'on comprend que le tableur soit vu comme un outil performant pour permettre à des personnes, par exemple des adultes en situation professionnelle, de gérer des problèmes relevant traditionnellement de l'algèbre avec une faible culture algébrique. Si l'on considère la deuxième dimension, celle de la légitimité institutionnelle, on peut penser que les artefacts professionnels sont davantage susceptibles de contribuer à des distances instrumentales problématiques que ceux à visée éducative. La comparaison avec les logiciels de géométrie dynamique est ici éclairante, même si s'est manifestée la crainte de voir, avec la géométrie dynamique, se développer des systèmes de preuve pragmatique efficaces faisant obstacle à la recherche et à la production des preuves intellectuelles valorisées par l'institution. Il nous semble, de ce point de vue, intéressant aussi de souligner que, si l'on considère le domaine de l'algèbre, CAS et tableur ne posent en rien des problèmes de légitimité équivalents. Si l'on essaie de les situer par rapport aux valeurs de la culture algébrique usuelle, ces deux environnements sont en effet distants, l'un plutôt associé à une culture algébrique minimale, l'autre à une culture algébrique très élaborée. On touche là sans doute le fait que, s'il s'agit dans les deux cas d'artefacts professionnels, ce ne sont pas pour les mêmes créateurs professionnels qu'ils ont été développés l'un et l'autre. Les CAS ont été développés pour satisfaire les besoins de calcul de mathématiciens et scientifiques, les tableurs les besoins de calcul de comptables.

La culture CAS est plus proche de la culture algébrique usuelle que la culture tableur puisqu'on y manipule formellement des équations et inéquations. Mais la proximité ne rend pas forcément ici la légitimité plus aisée car ce que vise l'enseignement ce n'est pas une pratique instrumentée efficace, mais l'aide de pratiques instrumentées à un apprentissage dont les valeurs sont définies essentiellement hors de l'instrument [ART 02]. En fournissant des outils particulièrement efficaces pour résoudre les tâches emblématiques des débuts de l'algèbre, les CAS peuvent prendre en charge le travail traditionnellement dévolu à l'élève pour lui permettre d'apprendre l'algèbre. Se pose donc la question didactique délicate de la construction d'une genèse instrumentale qui serve les apprentissages mathématiques souhaités. De ce point de vue, le tableur, qui ne permet pas de calcul formel, peut être moins perturbant, donc moins problématique. Mais les enseignants perçoivent-ils cet outil comme pertinent pour les apprentissages algébriques qu'ils veulent développer ou, au contraire, vont-ils estimer que, permettant à l'élève de vivre dans un monde intermédiaire entre arithmétique et algèbre, cet environnement

peut faire obstacle aux changements de modes de fonctionnement mathématique souhaités ? Est-ce l'une des raisons pour lesquelles on trouve aussi peu de ressources sur les débuts de l'algèbre, les auteurs préférant valoriser et légitimer le tableur dans ce domaine en faisant descendre au niveau du collège des problèmes d'optimisation et de fonctions relevant classiquement de l'algèbre, voire de l'analyse du lycée ? Et, si l'on trouve autant de ressources en statistique, n'est-ce pas parce que le domaine de la statistique est particulièrement bien adapté au tableur qui a été initialement conçu pour gérer des tableaux de nombres et effectuer des simulations numériques, et aussi parce que les pratiques qu'il favorise sont en cohérence avec un enseignement en statistique qui se veut expérimental et exploratoire ?

Comme on le voit, si l'on perçoit que l'on peut approcher de façon structurée cette notion de distance instrumentale, en déduire des inférences en termes d'effets didactiques possibles n'a rien d'immédiat. Mais cette approche a, nous semble-t-il, le mérite de nous aider à mieux comprendre à quel point l'instrumentation par les artefacts informatiques des pratiques d'enseignement et d'apprentissage est source de complexité, et aussi à quel point les enseignants sont peu aidés pour faire face à cette complexité. Enfin, outre ces constats, la notion de distance instrumentale peut éventuellement être exploitée avec profit dans la production d'outils en apparaissant comme une dimension que les « designers » pourraient prendre en compte dans la phase de conception.

Dans l'état actuel de la réflexion, on voit se dessiner un certain nombre de critères qu'il sera sans aucun doute nécessaire de faire intervenir pour caractériser cette distance : des critères liés à la transposition informatique des objets et savoirs (nature de ces objets, des possibilités d'action sur ces objets, registres sémiotiques divers associés à ces objets et actions, etc.). Ils vont intervenir par la façon dont ils vont agir sur les praxéologies mathématiques¹², générant ou rendant possibles de nouvelles tâches et techniques associées, permettant de nouvelles techniques pour des tâches déjà existantes, donnant accès à de nouveaux langages et types de discours pour expliquer et justifier des techniques ou, en sens inverse, rendant plus difficile la résolution de certaines tâches, la mise en œuvre de certaines techniques, ou moins visible les raisons de leur efficacité. L'étude précédente montre aussi que, pour interpréter en termes de distance des différences repérées à l'aide de tels critères, pour évaluer les effets producteurs et réducteurs possibles de cette distance dans une perspective d'intégration scolaire, il faut se situer dans une approche institutionnelle et culturelle. Il faut situer les nouvelles praxéologies mathématiques

12. La notion de praxéologie est centrale dans la TAD, où elle sert à modéliser les pratiques [CHE 98]. Une praxéologie élémentaire ou ponctuelle est définie comme un quadruplet formé d'un type de tâche, d'une technique servant à l'effectuer, d'un discours expliquant et justifiant la technique et d'une théorie structurant et justifiant à son tour ce discours.

instrumentées par rapport à celles existantes dans le système institutionnel et culturel considéré. Il faut aussi interroger les systèmes de valeurs associés à l'enseignement des mathématiques en général ou de tel ou tel domaine en particulier, et analyser les changements potentiels en les situant par rapport à ces systèmes de valeurs. La notion de distance instrumentale apparaît donc comme une notion institutionnellement et culturellement située.

L'« intégrabilité » d'un outil dans un contexte institutionnel et culturel donné est, nous en faisons l'hypothèse, fonction de cette distance instrumentale, celle-ci ne générant pas que des problèmes didactiques mais pouvant également contribuer à donner une légitimité didactique à l'outil (activités possibles, « productivité » didactique), sans que le lien entre distance instrumentale et intégrabilité soit pour autant d'expression simple. En effet, les jeux sur la distance instrumentale ne sauraient, à eux seuls, suffire à régler cette intégrabilité. La distance instrumentale s'inscrit ainsi comme une composante dans un ensemble de facteurs qui conditionnent l'intégrabilité : accessibilité des outils, existence, disponibilité et adéquation des ressources, existence et adéquation de formations associées pour les enseignants, légitimité institutionnelle et culturelle, statut épistémologique de l'outil lié au rôle joué dans le développement des mathématiques ou dans la mathématisation d'autres domaines, etc. C'est pourquoi il nous semble important qu'elle soit prise en compte, mieux qu'elle ne semble l'être jusqu'ici dans la conception de ressources pour les enseignants et dans la formation de ces derniers. Nous rejoignons ainsi des préoccupations exprimées par différents chercheurs dans cet ouvrage, mais aussi par exemple par Assude et Gélis qui soulignent l'importance de ménager, pour permettre l'intégration, une juste distance entre ancien et nouveau [ASS 02].

1.5. Bibliographie

- [AIN 03] AINLEY J., BILLS L., WILSON K., « Designing Tasks for Purposeful Algebra », *Proceedings of the 3rd Conference of the European Society for Research in Mathematics Education*, 2003, disponible sur le Web : http://www.dm.unipi.it/~didattica/CERME3/proceedings/Groups/TG6/TG6_list.html (consulté en novembre 2006).
- [ART 97] ARTIGUE M., « Le logiciel DERIVE comme révélateur de phénomènes didactiques liés à l'utilisation d'environnements informatiques pour l'apprentissage », *Educational Studies in Mathematics*, vol. 33, p. 133-169, 1997.
- [ART 02] ARTIGUE M., « Learning mathematics in a CAS environment : The genesis of a reflection about instrumentation and the dialectics between technical and conceptual work », *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, vol. 7, n° 3, p. 245-274, 2002.

- [ART 05] ARTIGUE M. (DIR.), *Methodological tools for comparison of learning theories in technology enhanced learning in mathematics*, TELMA Report, disponible sur le Web : <http://telma.noe-kaleidoscope.org> (consulté en novembre 2006).
- [ASS 02] ASSUDE T., GELIS J.-M., « La dialectique ancien-nouveau dans l'intégration de CABRI à l'école primaire », *Educational Studies in Mathematics*, vol. 50, n° 3, p. 259-287, 2002.
- [ARZ 01] ARZARELLO F., BAZZINI L., CHIAPPINI G., « A model for analysing algebraic processes of thinking », dans Sutherland R., Assude T., Bell A., Lins R. (dir.), *Perspectives on school algebra*, vol. 22, p. 61-81, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2001.
- [BAL 94] BALACHEFF N., « Didactique et Intelligence Artificielle », *Recherches en didactique des mathématiques*, p. 9-42, La Pensée Sauvage, Grenoble, 1994.
- [BED 96] BEDNARZ N., KIERAN C., LEE L. (DIR.), *Approaches to Algebra : Perspectives for Research and Teaching*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1996.
- [CAM] Colloque CAME (Computer Algebra in Mathematics Education), Reims, 2003. Les textes associés sont accessibles sur le site Web de l'association : <http://www.lkl.ac.uk/came/> (consulté en novembre 2006).
- [CAP 00] CAPPONI B., « Tableur, arithmétique et algèbre. L'algèbre au lycée et au collège », *Actes des journées de formation de formateurs 1999*, p. 58-66, IREM, Université Montpellier II, 2000.
- [CHE 91] CHEVALLARD Y., *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*, La Pensée Sauvage, Grenoble, 1991.
- [CHE 92] CHEVALLARD Y., « Intégration et viabilité des objets informatiques dans l'enseignement des mathématiques », dans Cornu B. (dir.), *L'ordinateur pour enseigner les mathématiques*, p. 183-203, PUF, Paris, 1992.
- [CHE 98] CHEVALLARD Y., « Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques : l'approche anthropologique », *Actes de l'Université d'Été de Didactique des Mathématiques*, p. 88-101, IREM, Université Clermont-Ferrand I, 1998.
- [DET 95] DETTORI G., GARUTI R., LEMUT E., NETCHITAILOVA L., « An Analysis of the Relationship between Spreadsheet and Algebra », dans Burton L., Jaworski B. (dir.), *Technology in Mathematics Teaching – a bridge between teaching and learning*, p. 261-274, Chartwell-Bratt, Bromley, 1995.
- [DRI 03] DRIJVERS P., *Learning algebra in a computer algebra environment. Design research on the understanding of the notion of parameter*, Thèse de doctorat, Utrecht, 2003.
- [EDU] Educnet, site du Ministère de l'Éducation Nationale, de l'enseignement Supérieur et de la Recherche : <http://www.educnet.education.fr/bd/urtic/maths/> (consulté en janvier 2007).
- [GRU 95] GRUGEON B., *La transition entre enseignement professionnel et enseignement général : le cas de l'algèbre élémentaire*, Thèse de doctorat, Université Paris VII, 1995.

- [GUI 99] GUIN D., TROUCHE L., « The complex process of converting tools into mathematical instruments : The case of calculators », *International Journal for Computer Algebra in Mathematics Education*, vol. 3, n° 3, p. 195-227, 1999.
- [GUI 02] GUIN D., TROUCHE L. (DIR.), *Calculatrices symboliques. Transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique*, La Pensée Sauvage, Grenoble, 2002.
- [HAS 05a] HASPEKIAN M., « An “instrumental approach” to study the integration of a computer tool into mathematics teaching : The case of spreadsheets », *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, vol. 10, n° 2, p. 109-141, 2005.
- [HAS 05b] HASPEKIAN M., Intégration d’outils informatiques dans l’enseignement des mathématiques, étude du cas des tableurs, Thèse de doctorat, Université Paris VII, 2005.
- [LAB 94] LABORDE C., CAPPONI B., « CABRI-GEOMETRE constituant d’un milieu pour l’apprentissage de la notion de figure géométrique », *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 14-1, n° 2, p. 165-210, 1994.
- [LAB 03] LABORDE C., *The design of curriculum with technology : lessons from projects based on dynamic geometry environments*, Reaction to A. Cuoco & P. Goldenberg’s presentation « CAS and curriculum : Real improvement or déjà vu all over again ? », CAME Symposium, Reims, 2003, [en ligne] : <http://www.lkl.ac.uk/came/events/reims/> (consulté en janvier 2007).
- [LAB 06] LABORDE C., KYNIGOS C., HOLLEBRANDS K., STRÄSSER R., « Teaching and Learning Geometry with Technology », dans Gutiérrez A., Boero P. (dir.), *Handbook of Research on the Psychology of Mathematics Education : Past, Present and Future*, p. 275-304, Sense Publishers, Rotterdam, 2006.
- [LAG 99] LAGRANGE J.B., « Complex calculators in the classroom : Theoretical and practical reflections on teaching pre-calculus », *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, vol. 4, n° 1, p. 51-81, 1999.
- [MON 05] MONAGHAN J., « Computer algebra, instrumentation and the anthropological approach », *Lecture at the 4th CAME Symposium*, Etats-Unis, 2005, [en ligne] : <http://www.lkl.ac.uk/came/events/CAME4/CAME4-topic1-Monaghan-paper.pdf> (consulté en janvier 2007).
- [RAB 99] RABARDEL P., « Eléments pour une approche instrumentale en didactique des mathématiques », *Actes de l’Université d’été de Didactique des Mathématiques*, p. 203-213, IUFM Caen, 1999.
- [ROJ 97] ROJANO T., SUTHERLAND R., « Pupils’ strategies and the Cartesian method for solving problems : The role of spreadsheets », *Proceedings of the 21st International Conference for the Psychology of Mathematics Education*, vol. 4, p. 72-79, Lahti, Finlande, 1997.
- [STA 04] STACEY K., CHICK H., KENDAL M. (DIR.), *The Future of the Teaching and Learning of Algebra, The 12th ICMI Study*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 2004.

- [TRO 05] TROUCHE L., « Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques : nécessité des orchestrations », *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 25, p. 91-138, 2005.
- [VER 95] VERILLON P., RABARDEL P., « Cognition and artifacts : A contribution to the study of thought in relation to instrumented activity », *European Journal of Psychology of Education*, vol. 10, n° 1, p. 77-101, 1995.
- [WIL 05] WILSON K., AINLEY J., BILLS L., « Spreadsheets, pedagogic strategies and the evolution of meaning for variable », dans Chick H.L., Vincent J.L. (dir.), *Proceedings of the twenty-ninth conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, Melbourne, vol. 4, p. 321-328, 2005.

Chapitre 2

Utilisation de calculatrices symboliques dans le cadre d'une méthode d'apprentissage collaboratif, de débat scientifique et d'autoréflexion

2.1. Introduction

Ces dernières années, la technologie s'est développée de manière vertigineuse. Les logiciels de calcul formel, qui auparavant étaient disponibles uniquement sur des ordinateurs, sont aujourd'hui intégrés dans les calculatrices appelées *calculatrices symboliques*. Les recherches de Rabardel [RAB 95] sur *l'apprentissage instrumenté* ont donné lieu à des recherches en didactique des mathématiques quant aux processus de construction d'un *instrument* ou de *genèses instrumentales* (voir chapitre 7, paragraphe 7.2.3 et [TRO 02]). Cette approche instrumentale a donné une nouvelle orientation aux recherches portant sur l'utilisation de la technologie dans la classe en général, et sur l'utilisation d'une calculatrice symbolique en particulier, en reconnaissant à *l'artefact* un rôle plus important que celui qui lui était reconnu auparavant [LAG 02, TRO 02].

Face à l'introduction de calculatrices symboliques dans leur classe, on peut distinguer deux attitudes opposées chez les enseignants. L'une se traduit par le refus de les utiliser à l'intérieur de la classe, l'argument étant qu'elles bloquent le développement des habiletés dans les apprentissages techniques et que les exercices

courants acquièrent une grande banalité si on les utilise. L'autre laisse à penser qu'il suffit de maîtriser la calculatrice pour pouvoir, avec une technique « presse-bouton », accéder rapidement aux représentations multiples d'un concept et, par conséquent, à la connaissance.

Pour qu'un enseignant modifie son point de vue sur cette question, il faut qu'il vive une expérience riche de sens avec une calculatrice symbolique. Par exemple, une expérience où celle-ci jouerait le rôle de promoteur d'articulations entre représentations dans la construction de concepts et dans la résolution de problèmes. Pour que ceci se produise, il est impératif de concevoir de nouvelles stratégies d'enseignement dans lesquelles une utilisation créative et réflexive d'une calculatrice est sollicitée.

Dans ce cadre d'apprentissage instrumenté, Artigue [ART 02] signale l'importance de concevoir des *ingénieries didactiques*, c'est-à-dire de longs enchaînements de situations didactiques. L'étude que nous allons présenter dans ce chapitre va tout à fait dans ce sens. Notre travail est centré sur l'analyse du rôle de calculatrices symboliques dans les processus de construction, ou de reconstruction, de concepts mathématiques avec des étudiants (ayant déjà une expérience d'enseignement) au niveau du master (master de didactique des mathématiques). L'expérimentation présentée dans ce chapitre s'est déroulée pendant leur première année d'études.

Nous nous sommes particulièrement intéressés à l'apport possible de calculatrices symboliques dans la réflexion de ces étudiants lorsqu'ils étaient face à un concept difficile à construire. Ces étudiants étaient déjà passés, dans un premier temps, par des processus de genèses instrumentales, et ce que nous allons rapporter ici se situe pendant la deuxième partie de l'expérimentation, celle dans laquelle ils ont utilisé une calculatrice symbolique comme un instrument pour faire face à un obstacle cognitif qui ne leur permettait pas de construire adéquatement un concept mathématique considéré, par certains didacticiens, comme un *obstacle épistémologique* (voir paragraphe 2.2.2).

Pour que ces étudiants soient capables de faire face à ces obstacles cognitifs, une méthodologie d'enseignement spécifique a été mise en œuvre. Celle-ci était basée sur l'*apprentissage collaboratif* (voir chapitre 3 et [DIL 99]), le *débat scientifique* [ALI 91, LEG 93, LEG 01] suivi d'une étape d'*autoréflexion* [HAD 75].

La méthodologie du débat scientifique a pour objectif d'intégrer les étudiants dans une démarche active de questionnement des concepts et de construction critique de leurs propres connaissances, en les incitant à proposer leurs propres conjectures, propositions et démonstrations. Comme Legrand [LEG 93], nous

pensons que le professeur doit donner un statut scientifique à l'*erreur* : « pour entendre en compréhension une proposition scientifique, il faut douter de sa vérité et de sa pertinence, il faut se sentir dans l'obligation d'exercer sur elle une réelle vigilance épistémologique » (p. 125). Nous avons adapté les caractéristiques de la méthodologie du débat scientifique à l'apprentissage collaboratif, c'est-à-dire que, dans un premier temps, les étudiants travaillent en équipe, pour ensuite passer à une discussion générale censée pouvoir déclencher un débat scientifique.

L'autoréflexion, qui essaye de promouvoir une reconstruction individuelle de ce qui a été effectué dans les deux premières étapes, est mise en évidence par Hadamard [HAD 75]. Celui-ci accorde une grande importance aux processus de réflexion conscients et inconscients des mathématiciens lors de la résolution d'un problème (« incubation d'idées »). Notre méthodologie essaye de stimuler ces processus conscients et inconscients en suscitant chez les étudiants une reconstruction individuelle de ce qui a été travaillé dans les deux premières étapes (travail collaboratif et débat scientifique).

2.2. Représentations, conceptions et contradictions

2.2.1. Registres de représentation

Depuis une vingtaine d'années, une très grande importance a été donnée à l'étude du rôle que jouent les *représentations* dans la construction des concepts mathématiques. Il est probable que le déclencheur de cet intérêt a été le livre de Janvier [JAN 87] sur les problèmes de représentation dans l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques. Depuis, différentes approches ont été développées par la communauté des didacticiens, dont l'une est la théorie des *registres de représentation sémiotiques* de Duval [DUV 93, DUV 95], pour qui un système sémiotique peut être un registre de représentation, si celui-ci permet trois activités cognitives fondamentales liées à la *sémiosis* :

- la *formation* d'une représentation identifiable ;
- le *traitement* d'une représentation qui réfère à la transformation de cette représentation dans le registre même où elle a été formée ;
- la *conversion* d'une représentation, c'est-à-dire la transformation de cette représentation vers une représentation d'un autre registre, cette dernière conservant la totalité, ou bien une partie seulement du contenu de la représentation initiale [DUV 93, p. 41].

Cette théorie met en évidence que, puisque toute représentation d'un objet mathématique est cognitivement partielle par rapport à ce qu'elle représente, les tâches de conversion entre les représentations externes et la construction d'une *articulation* entre les représentations internes chez l'élève jouent un rôle primordial pour la construction d'un concept.

Bien que nous soyons d'accord avec Duval sur le fait que les conversions entre représentations sont un point clé pour la construction d'un concept, il faut signaler qu'il ne considère implicitement que les représentations « conventionnelles » (celles que le professeur utilise dans la classe, celles que l'on trouve dans les manuels et celles qui sont présentes sur l'écran des ordinateurs), sans prendre en considération les représentations spontanées des étudiants exprimées sur papier, ou ailleurs, lors de la réalisation d'une activité ou de la construction d'un concept [HIT 03]. De plus, la théorie de Duval est centrée sur l'individu, et ne met pas l'accent sur l'importance de la construction de connaissances à l'occasion des *interactions* au sein de l'ensemble des élèves de la classe considéré comme *une communauté de pratique* émergente (voir chapitre 10).

De cette théorie, nous retenons que la *coordination* entre les diverses représentations d'un concept mathématique est nécessaire aux processus de conceptualisation. En effet, Duval met l'accent sur les problèmes qu'ont les étudiants dans les processus de conversion entre représentations et c'est surtout ce point qui nous intéresse.

2.2.2. Représentations fonctionnelles et conceptions

Les questions à approfondir sont de savoir comment les représentations conventionnelles affectent l'acquisition des connaissances mathématiques des étudiants et comment les représentations internes des étudiants évoluent pendant leur formation académique.

Notre approche souligne que les productions sémiotiques spontanées qui sont exprimées sur papier, écran, au tableau, etc., et qui surgissent lors du processus de construction d'un concept ou lors de la résolution d'un problème, mettent en évidence le caractère fonctionnel des représentations internes des étudiants. Il serait important de savoir comment leurs représentations fonctionnelles évoluent lorsqu'elles sont en interaction avec les représentations externes qu'utilisent les étudiants dans un environnement où la calculatrice symbolique est présente.

Les *représentations fonctionnelles* (internes) sont-elles des représentations isolées chez les individus? Nous pensons que non. Nous pensons que ces

représentations forment une connaissance chez les individus, et la question qui se pose alors est de savoir de quel type de connaissance il s'agit.

Au cours de ces dernières années, différents travaux didactiques sur les *conceptions* ont été développés. Ces travaux partagent le point de vue qu'une conception est une connaissance qui fonctionne pour un ensemble de situations. Artigue, reprenant les travaux de Brousseau [BRO 98] et Duroux [DUR 83] sur la notion d'*obstacle épistémologique*, a permis d'approfondir la réflexion sur les conceptions. Elle précise ainsi :

- un obstacle est une connaissance, une conception, et non pas une difficulté ou un manque de connaissance ;
- cette connaissance produit des réponses adaptées dans un certain contexte fréquemment rencontré ;
- mais elle engendre des réponses fausses hors de ce contexte. Une réponse correcte et universelle exige un point de vue notablement différent ;
- de plus, cette connaissance résiste aux contradictions auxquelles elle est confrontée et à l'établissement d'une connaissance meilleure. Il ne suffit pas de posséder une meilleure connaissance pour que la précédente disparaisse (ce qui distingue le franchissement d'obstacles de l'accommodation de Piaget [PIA 75]). Il est donc indispensable de l'identifier et d'incorporer son dépassement dans le nouveau savoir ;
- après la prise de conscience de son inexactitude, elle continue à se manifester de façon intempestive et opiniâtre [ART 90, p. 259].

Une conception est donc une connaissance qui a été construite par un individu, soit de façon personnelle, soit en interaction avec des pairs, et qui n'est pas « équivalente » au savoir reconnu par une communauté académique. Mais comment peut-on identifier une conception chez un étudiant ? Ceci peut souvent se faire à travers les représentations externes qu'il produit lors de la résolution d'un problème. Ainsi, une conception peut être :

- un obstacle épistémologique ;
- une construction partielle d'un concept qui fonctionne dans certains contextes et pas dans autres, mais qui n'est pas nécessairement un obstacle épistémologique ;
- une construction partielle d'un concept, construction cohérente de quelques représentations internes et leur articulation (identifiées par des experts lors d'une activité) ;
- une construction partielle d'un concept (représentations fonctionnelles internes) exprimée par un mélange cohérent de représentations externes (non identifiées par les experts lors d'une activité).

Ces divers points conduisent à s'interroger sur l'impact que peuvent avoir les représentations fonctionnelles dans la construction des connaissances. Souvent, lors de la construction d'un concept, les représentations produites par les étudiants sont loin d'être celles qui sont attendues par leur professeur. En fait, les représentations exprimées spontanément par les étudiants sont souvent considérées comme des représentations erronées par les « experts ». Pourtant nous pensons que ces représentations sémiotiques spontanées jouent un rôle crucial dans la construction des connaissances, car elles sont liées à une conception [HIT 03, HIT 06].

2.2.3. Conceptions et contradictions

Comme nous l'avons dit précédemment, l'objet de notre étude est d'observer et d'analyser la construction ou la reconstruction d'un concept. Les premiers contacts qu'un étudiant a avec certaines représentations (externes) d'un concept peuvent l'amener à construire des conceptions. Pour nous, ces conceptions sont des connaissances liées à une articulation entre les représentations qui ont été construites par l'étudiant. Ces conceptions vont probablement permettre de résoudre certains types de problèmes, mais elles vont provoquer l'échec pour d'autres. La conception fonctionne comme une unité, comme une connaissance bien ancrée. Ce n'est pas le rôle du professeur de signaler les contradictions logiques des étudiants. La prise de conscience d'une contradiction (contradiction cognitive) doit venir d'eux, c'est une exigence pour dépasser un obstacle cognitif. Dans cette approche, le débat entre les étudiants sur leurs productions spontanées (représentations externes), qui sont liées aux conceptions, est important pour mettre à l'épreuve leurs conceptions.

2.3. Méthodologie

2.3.1. Apprentissage collaboratif, débat scientifique et autoréflexion

La méthodologie que nous avons utilisée comporte de longs enchaînements de *situations didactiques*, désignés par *ingénierie didactique* (voir chapitre 7, paragraphe 7.2.1 pour situation et 7.2.2 pour ingénierie). Elle est liée à l'apprentissage collaboratif, au débat scientifique ainsi qu'à l'autoréflexion en lien avec l'incubation (section 2.1). L'apprentissage collaboratif et l'autoréflexion (qui nous semblent fondamentaux pour la construction des connaissances) sont complémentaires de la méthodologie du débat scientifique et peuvent être combinés harmonieusement avec celui-ci. Dans ce sens, notre approche est de type *socio-constructiviste*.

Nous avons nommé notre méthodologie *ACODESA* (apprentissage collaboratif, débat scientifique et autoréflexion). Voici rapidement en quoi elle consiste :

- construction d'un questionnaire préliminaire pour dégager de comportements prototypiques (dans notre cas, il s'agissait des comportements plutôt *intuitifs* – ceux exprimés avec des idées intuitives –, *formalistes* – ceux exprimés par les définitions sans appel à des idées intuitives – ou *contradictaires* – ceux qui produisent des contradictions logiques) ;
- formation d'équipes de trois étudiants ayant des comportements différents selon le point précédent ;
- élaboration d'activités avec l'intention de provoquer un déséquilibre cognitif chez les étudiants ;
- utilisation de calculatrices symboliques (dans notre cas, nous avons prêté les calculatrices aux étudiants pendant la durée de leurs études) ;
- répartition des rôles pour le travail en équipe pendant la résolution d'un problème, un étudiant utilise la calculatrice, un autre prend note des résultats et des débats, alors que le dernier a la responsabilité d'exposer le tout. A chaque activité, les étudiants doivent changer de rôle. Il est recommandé d'utiliser une seule calculatrice par équipe, cela permet une meilleure communication entre les membres ;
- passage éventuel au débat (débat scientifique) à la fin des activités. L'idée principale étant que, pour la construction d'un concept ou pour le dépassement d'un obstacle épistémologique, les étudiants doivent faire face à des situations didactiques susceptibles de provoquer un déséquilibre cognitif ;
- ramassage des brouillons par le professeur à la fin du débat ;
- résolution individuelle du problème. Le débat ayant probablement provoqué des changements de position, l'activité devra être reprise de façon individuelle pour provoquer une réflexion (l'autoréflexion) sur les exemples, contre-exemples, démonstrations, etc., qui ont eu lieu ;
- correction du travail individuel pour permettre au professeur de vérifier *a posteriori* s'il y a vraiment eu une transformation des conceptions de chaque étudiant. Il est bien connu que lorsque les étudiants discutent et arrivent à un « consensus », quelque temps après, plusieurs d'entre eux reviennent à leur position initiale [THO 02].

2.3.2. Population, objectifs d'enseignement et d'investigation

La population de la présente étude est formée d'étudiants débutant une maîtrise de didactique des mathématiques au Mexique. Les étudiants ont déjà enseigné à

l'école secondaire (élèves âgés de 12 à 17 ans) et suivi des cours d'analyse mathématique dans leur formation académique.

Dans cette étude, nous avons voulu, d'un côté, faire vivre aux étudiants une nouvelle méthodologie d'enseignement et, de l'autre côté, introduire l'utilisation d'une calculatrice symbolique dans la résolution d'activités. Nous avons choisi le domaine du calcul différentiel pour les nombreux problèmes d'apprentissage qu'ont les étudiants dans ce domaine. Lors de recherches antérieures, nous avons déjà détecté des problèmes d'apprentissage avec des étudiants de première année d'université. Puisque nous nous intéressons à des apprentissages instrumentés [TRO 02], avec cette nouvelle population d'étudiants, notre intention était d'identifier leurs conceptions et l'évolution de celles-ci, dans un environnement de calculatrices symboliques, pendant les huit mois de l'expérimentation. Le premier problème d'apprentissage que nous avons choisi d'étudier est celui de la limite d'une fonction. Ce concept mathématique est considéré comme difficile à construire et même générateur d'obstacles cognitifs. Par la suite, nous avons travaillé sur d'autres concepts du calcul différentiel dans lesquels le concept de limite intervenait aussi.

2.3.3. La méthodologie ACODESA en situation d'enseignement

2.3.3.1. Quelques effets d'une ingénierie didactique

La construction des activités est centrée sur la reconnaissance de processus finis et infinis qui sont indispensables à la construction du concept de limite. Pour ce qui se rapporte aux processus infinis, l'une des premières activités porte sur des hexagones emboîtés (première partie de la 1^{ère} activité) et sur des carrés emboîtés (première partie de la 4^e activité). Analysons ce qui s'est passé lors de la mise en œuvre de ces activités empruntées à Hauchart et Rouche [HAU 87].

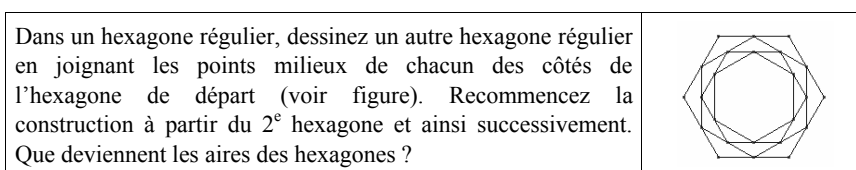


Figure 2.1. *Activité des hexagones emboîtés*

Les premières activités permettent aux étudiants de s'exprimer librement sur la question de la limite. Dans la discussion en grand groupe sur l'activité ci-dessus, des arguments portant sur la notation de la limite sont soulevés.

Par exemple, l'un des étudiants souhaite « changer la notation de la limite : $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = L$ et attirer l'attention des élèves sur sa signification ». Ainsi, Juan (nom fictif) dit : « Je n'ai jamais pensé que la limite était la valeur, j'ai toujours pensé que "ça s'approche" ou que "ça tend vers"... Le symbole d'égalité qui a été placé comme résultat d'une limite ne doit pas exister $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = L \dots$. Je propose $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n \rightarrow L$ ».

Juan explique que probablement les mathématiciens du passé ont utilisé l'égalité comme notation et que cela est resté par habitude, il est interrompu par Jorge.

Jorge : « Tu n'as jamais demandé à ton professeur pourquoi il plaçait le signe d'égalité à la place de "tend vers" [$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n \rightarrow L$] ? » [ton ironique].

Tout le monde rit de l'intervention de Jorge ; malgré la situation, Juan continue :

Juan : « Non, parce que c'est probablement un questionnement personnel. Quand on est dans cette situation, on se pose la question, je le dis, ou je ne le dis pas, et parfois tu le gardes pour toi, non ? Et comme ici je peux poser la question, alors je la pose ».

Ceci peut donner au lecteur une idée de l'ambiance du débat. C'est plus ou moins à partir de ce moment que les étudiants prennent au sérieux l'intervention de leurs pairs. Plus loin, Marcos intervient : « A la fin, on obtient un tout petit hexagone, dont l'aire est différente de zéro et qui est tout près du centre de tous les hexagones, qui est un point ».

Pendant le débat, certains expriment l'idée que la limite est un hexagone, d'autres que la limite est un point. Le débat suscité par Juan pousse les étudiants plutôt intuitionnistes à défendre l'idée que la limite ne peut être atteinte. Leur position est que la notation mathématique qui devrait être utilisée dans les manuels devrait être : $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n \rightarrow L$. Leur conception de l'infini est liée à *l'infini potentiel*.

Les étudiants plutôt formalistes ont fortement critiqué cette écriture en disant, en particulier, que la notation était redondante, mais le professeur, qui ne voulait pas que la discussion se termine, a suggéré aux étudiants plutôt intuitionnistes de trouver une autre notation.

Voici celle qui a été choisie : $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n \rightarrow L$. Certains, comme Adrian (voir plus bas) sont revenus à leur première notation.

Dans l'équipe d'Adrian (plutôt intuitionniste), on note une très forte tendance à penser qu'un processus infini est « un processus qui ne se termine jamais ».

Adrian : « L'aire devient aussi petite que l'on veut. Cependant, elle n'arrive jamais à zéro. Si nous supposons que c'est un processus infini, il n'a pas de fin, alors elle ne va jamais arriver à être nulle ».

Cette discussion montre bien l'importance des représentations spontanées dans la construction d'un concept. Une discussion analogue survient lors de l'activité portant sur les carrés emboîtés (voir figure 2.2). Adrian passe au tableau où il écrit les expressions mathématiques indiquées ci-dessous, tout en donnant oralement les explications.

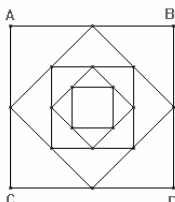
<p>Soit ABCD un carré unitaire, on construit un autre carré en joignant les milieux des côtés du carré ABCD. On enlève les quatre triangles du premier carré. On recommence la même opération sur le deuxième carré, ce qui fait apparaître un troisième. On fait de même sur le troisième carré et ainsi de suite. a) Peut-on continuer ce processus de façon illimitée ? Si oui, que se passe-t-il ? Sinon, pourquoi ?</p>	
--	--

Figure 2.2. Partie de l'Activité 4, carrés emboîtés

Adrian : « Que signifie être borné ? On m'a toujours dit que borné signifie que la fonction s'approche aussi près qu'on veut d'une valeur, mais n'atteint jamais cette valeur. On démontre que tous les carrés ont en commun le centre, alors ils doivent converger là. Bon, il reste encore la question sur ce que veut dire converger $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{2^n}\right) = 1$? Ou $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{2^n}\right) \rightarrow 1$? Que signifie que la limite soit 1 ? Nous nous approchons de ce que nous voulons, mais on n'y arrive jamais.

$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{1}{2^i}$ Si l'on cherche cette somme de façon mathématique, on trouve 1. Nous revenons à la discussion : Que signifie le 1 ? Qu'est-ce que c'est la limite ? On dit toujours que la limite est 1. En ce moment, j'ai cette ambivalence dans ma tête, je mets égal ou je mets... » [il est interrompu par une étudiante].

Au fur et à mesure que le cours avance, différentes réactions surgissent :

– certains étudiants n'arrivent pas à concilier leurs idées intuitives avec les processus formels et leur travail montre plusieurs contradictions (voir paragraphe 2.4.2, par exemple Jorge dans la discussion au sujet de la calculatrice) ;

– d'autres séparent leurs idées intuitives des processus formels. C'est le cas d'Adrian qui, à un certain moment, mentionne qu'il n'a pas d'objection à mettre le signe d'égalité dans le calcul de limites et à continuer le processus formel comme l'exige le cours de mathématiques. En résumé, même si certaines idées intuitives sont opposées aux idées formelles, mais qu'on est habile avec la manipulation algébrique, on peut « réussir » dans la résolution de problèmes ;

– d'autres, plutôt intuitionnistes, ressentent l'absolue nécessité de construire un pont entre leurs idées intuitives et leurs idées formelles (voir paragraphes 2.4.3 et 2.4.4, par exemple Victor) ;

– parmi les étudiants plutôt formalistes, plusieurs pensent que les mathématiques doivent être élégantes et précises et c'est pour cela qu'elles sont comme elles sont ;

– certains étudiants plutôt formalistes-contradictaires ont eu des difficultés avec le processus de formalisation et avec l'intégration de la calculatrice (voir paragraphe 2.4.2, par exemple, le cas de Pedro).

2.4. La méthodologie ACODESA en EAI

2.4.1. *Pratiques éducatives intégrant les TIC*

Les TIC étaient intégrées dans l'ingénierie didactique que nous avons expérimentée pour construire le concept de limite, ainsi que tous les points ci-dessus mentionnés. La construction des activités visait à faire différencier, par les étudiants, les processus finis des processus infinis, ces derniers étant indispensables à la construction du concept de limite. En voici un exemple (voir figure 2.3).

Une fourmi marche sur une bande élastique qui au début mesure 24 cm de long. Elle entame son parcours à une extrémité de l'élastique et parcourt 6 cm par minute. Après chaque minute, on allonge l'élastique de 12 cm en admettant que la bande peut s'allonger indéfiniment de manière uniforme.

Sommes-nous face à un processus fini ou infini ?

La fourmi arrivera-t-elle à l'autre extrémité de la bande élastique ? Explique ta réponse.

Si tu as répondu affirmativement à la question b), Combien de temps la fourmi prendra-t-elle pour parcourir tout l'élastique ?

Figure 2.3. *Activité 12*

Chaque étudiant a une calculatrice pour le travail individuel, mais une seule est autorisée lors du travail en équipe (comme nous l'avons déjà signalé). Nous avons fourni le matériel nécessaire aux étudiants (dans ce cas, l'élastique, le mètre, etc.).

Dans l'équipe constituée par Irene, Felipe et Adrian, nous observons qu'Irene a tracé des points sur l'élastique pour montrer la place de la fourmi à chaque minute. C'est aussi elle qui a donné l'idée aux autres que le déplacement de la fourmi est proportionnel au temps pendant les trois premières minutes. Ensuite, elle continue ses calculs de façon arithmétique. Adrian reprend tout de suite l'idée, pour la développer, de deux façons, l'une purement algébrique, l'autre avec la calculatrice. L'équipe arrive ainsi à la conclusion que le processus est fini en utilisant plusieurs techniques. Une autre équipe trouve que le processus est infini, mais que la fourmi se rapproche de l'extrémité. Une autre trouve que le processus est infini, mais que la fourmi s'éloigne de l'extrémité.

Dans le débat, l'équipe d'Irene réfute les conclusions de ces deux équipes et elle va au tableau pour montrer ses calculs numériques. Dans sa présentation, elle mentionne qu'Adrian a trouvé la formule et qu'il a fait un programme. Adrian présente alors ses résultats algébriques et mentionne simplement qu'avec un programme, il pourrait calculer exactement le moment où la fourmi arrive à l'extrémité de l'élastique. Dans les feuilles écrites par Adrian on trouve une fonction récursive et le programme pour la calculatrice (voir figure 2.4).

$f(1)=9$ et $f(n) = \frac{[f(n-1)+6] \cdot (2+n)}{1+n}$	
hormiga (n) Prgm Disp camina (n) End Prgm	camina (n) Func If n = 1 Then Return 9 Else Return (camina (n - 1) + 6)*(2 + n)/(1 + n) End If End Func

Figure 2.4. Production d'un étudiant (Adrian)

Dans cette équipe, chacune des approches suivantes est utilisée :

– une approche concrète (manipulation du matériel) pour la compréhension du phénomène, puis des calculs arithmétiques ;

- une approche algébrique papier-crayon, une fois le phénomène compris ;
- une approche algébrique, mais cette fois avec la calculatrice, pour préciser la réponse.

2.4.2. Problèmes de conversion entre représentations dans l'activité instrumentée

Dans l'activité n° 16, pour laquelle l'utilisation de la calculatrice est explicite, nous avons demandé de travailler avec plusieurs représentations (voir figure 2.5). Nous allons analyser ce qui s'est passé dans une équipe qui travaillait l'activité représentée figure 2.5.

2. Résoudre en utilisant la calculatrice puis expliquer les résultats, à partir d'une approche graphique, d'une approche numérique et d'une approche algébrique :

a) $\lim_{x \rightarrow -1} \frac{x^2-1}{x+1}$; b) $\lim_{x \rightarrow -1} \frac{x^2-1}{x^2+2x-3}$; c) $\lim_{x \rightarrow -1} f(x)$, si $f(x) = \begin{cases} 3 & \text{si } x = 1 \\ \frac{x^2-1}{x-1} & \text{si } x \neq 1 \end{cases}$

Figure 2.5. Une partie de l'activité 16

Cette équipe était formée d'un étudiant plutôt formaliste-contradictoire (Pedro), d'une étudiante plutôt intuitionniste-contradictoire (Elena) et d'un étudiant plutôt intuitionniste (Jorge). Les deux premiers avaient montré un manque de sensibilité à la contradiction dans le test préliminaire, alors que Jorge semblait avoir développé une sensibilité à la contradiction et avait aussi montré une grande habileté dans l'utilisation de la calculatrice.

Au début de l'activité, Jorge a la calculatrice, Pedro écrit et Elena a la responsabilité de présenter les résultats. Pedro commence avec la question a). Il fait un dessin sans faire beaucoup de commentaires, puis, dans l'approche numérique, Jorge utilise la calculatrice. Ce qui fait dire à l'équipe : « Alors, la limite est -2 ». Ils passent ensuite au calcul algébrique et ils calculent la limite sans difficulté. Une discussion intéressante intervient lors de la résolution de la question 2 b). A l'aide de la calculatrice, Jorge fait le graphe de la fonction.

Les explications qui suivent concernent leurs discussions autour de $x = -3$. Personne dans l'équipe ne remarque que la question demande d'analyser la fonction autour de $x = -1$.

Pedro : « Elle ne peut pas prendre la valeur de -3 » [Elena et Jorge acquiescent].

Pedro : « Alors, je vais dessiner le graphe et je dois prendre en considération que la fonction ne peut pas prendre la valeur 3 ».

Jorge : « Non, non, -3 ».

Pedro : « OK, OK, -3 ».

Jorge : « -1 , -2 , -3 , alors nous avons une asymptote. Et une autre ligne pointillée pour $y = 1$ » [asymptote horizontale].

Pedro : « Pour $y = 1$, nous allons mettre une ligne pointillée ».

Jorge : « Elle n'a pas de limite à gauche, ça nous donne $+\infty$; il n'y a pas de limite à droite, ça nous donne $-\infty$, la limite n'existe pas ».

Pedro : « Parfait ! »

Jorge : « La limite n'existe pas en -3 ».

Pour faire le graphique, ils se concentrent sur le point -3 , et les problèmes de communication commencent :

Jorge : « La question de savoir si la limite existe en -1 , c'est que la limite n'existe pas si nous nous approchons par la gauche, ça nous donne $+\infty$ et par la droite $-\infty$ » [il montre le graphe du doigt et le suit sur l'écran tout en parlant, sans se rendre compte qu'il parle de -3 et non de -1].

Jorge : « Si nous observons le graphique, nous pouvons déduire que quand la valeur de x s'approche de -3 par la gauche, $f(x)$ tend vers l'infini et si elle s'approche par la droite, $f(x)$ tend vers $-\infty$ ».

Jorge : « Je sais que tu n'aimes pas écrire $-\infty$, mais je dis que la fonction tend vers $-\infty$ ».

Pedro : « $f(x)$ tend vers un nombre négatif, très petit quand x se rapproche de -3 par la gauche, oh !, par la droite, la fonction tend à décroître ».

Jorge : « Attends, par où tu t'approches ? »

Pedro : « Par la droite... »

Jorge : « Par la gauche, ou par la droite, ça donne quoi ? Nous observons que les valeurs de la fonction $f(x)$ tendent vers $+\infty$ et $-\infty$ ou vers des valeurs très grandes ou très petites, respectivement ».

Quand ils commencent à copier sur leur feuille le graphe apparaissant sur l'écran, et à donner des explications sur le comportement de la fonction, d'une part, nous observons que Pedro évite d'utiliser les signes $+\infty$ et $-\infty$ (probablement une conséquence des débats antérieurs sur l'infini). D'autre part, dans les échanges verbaux entre les trois étudiants, on peut voir qu'ils n'utilisent pas à bon escient les expressions « tend vers $+\infty$ ou $-\infty$ ». Ceci montre le manque d'articulation entre la représentation verbale et écrite et la représentation graphique dans le sens de Duval.

Voici leur dialogue au moment où ils arrivent au processus algébrique :

Pedro : « OK, alors, par l'approche algébrique nous avons :

$$\lim_{x \rightarrow -1} \frac{x^2 - 1}{x^2 + 2x - 3} = \lim_{x \rightarrow -1} \frac{(x-1)(x+1)}{(x+3)(x-1)} = \lim_{x \rightarrow -1} \frac{(x+1)}{(x+3)} = \frac{0}{2} = 0 \text{ »}$$

Jorge : « Ça donne zéro ? » [avec un ton surpris].

Pedro : « Ouiiiiii ! »

Jorge, Pedro et Elena : [silence].

Pedro rit nerveusement.

Jorge : « Dans le cas par la gauche, elle va [avec son doigt, il signale vers le haut] et par la droite à $-\infty$. Quand elle tend vers -1 [pause] ça donne ça ? En fait, nous avons dit que la fonction n'est pas définie, n'est-ce pas ? »

Jorge prend la calculatrice pour vérifier.

Elena : « Alors, je vais voir... »

Ils commencent à vérifier le processus algébrique et concluent qu'il est correct. Jorge prend la calculatrice une nouvelle fois pour vérifier.

Pedro à Elena : « Peut-être que nous devrions calculer la dérivée » [et il commence à calculer la dérivée du numérateur et du dénominateur].

Elena : « Mais tu ne peux pas utiliser la Règle de l'Hospital dans ce cas... »

Jorge regardait le graphe avec une expression d'étonnement. Alors, il dit : « OK. Alors, avec la calculatrice nous allons calculer $\lim_{x \rightarrow -1} \frac{x^2 - 1}{x^2 + 2x - 3}$ » [l'affichage donne 0].

Jorge est accroché à la réponse de la calculatrice, muet... Les deux autres attendent une réaction de sa part. Mais rien... Puis, Jorge passe au mode graphique et commence à regarder le graphe. Il utilise le mode « trace » pour regarder ce qui se passe autour de $x = -1$ et s'exclame : « Oufff ! J'ai eu peur ! Nous avons analysé les deux premières questions autour de $x = -3$ au lieu de $x = -1$! »

Jorge semble avoir vu la contradiction logique, il se sert alors immédiatement de la calculatrice pour essayer de comprendre la situation et de dépasser la contradiction cognitive. Cela nous permet de dire que la calculatrice est devenue pour eux un instrument et les a aidés à déceler quelques contradictions logiques.

Pedro, qui développait toujours des processus formels, a montré une difficulté à articuler les différentes représentations de la limite. Un mois et demi plus tard, dans les entretiens individuels, nous lui avons demandé de nous donner une définition de la limite et il a utilisé l'approche formelle. Dans la définition qu'il nous a proposée, il a inversé l'implication.

Les échanges entre les membres de l'équipe montrent que :

- l'articulation entre les représentations est partielle (ils ont de la difficulté à verbaliser ce qui se passe dans la représentation graphique) ;
- pour quelques-uns, la calculatrice est devenue un instrument (par exemple Jorge) ;
- la prise de conscience d'une contradiction est accompagnée d'un sentiment de malaise, et son dépassement d'un sentiment de bonheur (Jorge dit : « Oufff ! J'ai eu peur !... ») ;
- pour celui qui a développé une sensibilité à la contradiction, la calculatrice est devenue un moyen de contrôle de la situation.

2.4.3. Vers la construction d'une définition de la limite

Craignant que les étudiants n'arrivent pas à construire une définition formelle de la limite, le professeur demande de donner des exemples de suites convergentes et divergentes afin de les analyser et de favoriser ainsi une réflexion qui pourrait les mener à la définition. Les premiers exemples donnés le sont sous forme graphique au tableau et aussi en notation ensembliste. Puis, il propose d'utiliser la valeur

absolue pour dire que, si L représente la limite d'une suite $\{a_n\}$, alors la distance de L à a_{n-1} est plus grande que la distance de L à a_n . Il y a des objections à cette affirmation et quelqu'un propose une suite convergente qui ne suit pas un comportement comme celui-ci.

Après la discussion, le professeur demande de travailler en équipe et de donner une définition formelle de la limite. Voici ce qui se passe avec une équipe qui, heureusement, devait être filmée ce jour là : Victor, qui explique verbalement sa définition à son coéquipier, fait en même temps un graphique en lien avec ce dont il parle et aussi, en même temps, il écrit des expressions algébriques. Selon que l'on observe *exclusivement* la représentation graphique ou *exclusivement* les expressions algébriques, on peut penser que sa compréhension de la limite est partielle ; même erronée d'un point de vue d'expert. Par contre, si l'on analyse l'ensemble de ses différentes représentations et qu'on les considère comme un *tout indissociable*, on peut dire que sa compréhension du concept de limite est cohérente [HIT 06]. En résumé, le caractère fonctionnel des représentations, exprimées dans ce cas par un mélange de représentations externes, est important dans la construction d'un concept :

- les représentations spontanées, dans le cas présent, forment un tout cohérent, une conception ;
- le concept mathématique a été construit à travers un débat et différentes représentations personnelles qu'on ne peut dissocier ;
- la construction basée sur les représentations fonctionnelles (exprimées lors d'une activité) pourrait paraître étrange, même contradictoire, aux yeux d'un expert.

Après un mois et demi, nous avons eu un entretien avec chaque étudiant et nous avons trouvé que la construction de Victor était stable. Il a donné des exemples graphiques et une définition en utilisant une notation non conventionnelle. On lui a demandé de nier sa définition formelle et de nous donner des exemples ; il a fait une erreur, mais il l'a corrigée en utilisant une suite non convergente [HIT 06].

2.4.4. Articulation des représentations

Afin de provoquer l'utilisation de différentes représentations par les étudiants nous leur avons proposé la fonction f (définie par intervalles) ci-dessous dont la dérivée ne peut être calculée directement, mais nécessite le retour à la définition même de dérivée, ce qui implique l'étude d'une limite. Dans les échanges entre étudiants que nous allons retranscrire ci-après, nous pourrions voir comment l'utilisation de diverses représentations va leur permettre de donner un sens à cette dérivée et les aider à faire évoluer une conception bien ancrée jusque-là. Ceci

semble confirmer l'importance des conversions entre représentations dans la construction de concepts mathématiques.

La fonction est la suivante :

$$f(x) = \begin{cases} x^2 \sin\left(\frac{1}{x}\right) & \text{si } x \neq 0 \\ 0 & \text{si } x = 0 \end{cases}$$

Le professeur constate que les étudiants ont calculé la dérivée de la manière suivante : $2x \sin\left(\frac{1}{x}\right) - \cos\left(\frac{1}{x}\right)$ pour $x \neq 0$; ils ont écrit, tout simplement, égale 0, pour $x = 0$. Le résultat est correct, mais la procédure ne l'est pas. Leur conception est que la dérivée d'une fonction définie par intervalles est égale à la dérivée de chacune des parties. Les points critiques, tels que $x = 0$, dans cet exemple, ne sont pas envisagés ! Par la suite, nous avons pu constater dans les entretiens, qu'elle était encore présente chez la plupart des étudiants [HIT 06].

Le professeur demande à une équipe de présenter leurs résultats pour cette activité qui semble tout à fait routinière aux autres étudiants. Wendy passe au tableau et traite le problème en utilisant la méthode erronée. Lorsqu'elle a terminé, le professeur demande si tout le monde est d'accord et tous répondent oui. Alors, il demande qu'on lui explique la façon de calculer la dérivée de cette fonction.

Lidia (étudiante plutôt formaliste) prend la parole et dit que, pour la première partie, la dérivée est : $2x \sin\left(\frac{1}{x}\right) - \cos\left(\frac{1}{x}\right)$ et qu'il suffit d'utiliser cette fonction pour calculer les limites latérales pour $x = 0$, ce qui donne une dérivée égale à 0. Le professeur lui demande alors de le faire au tableau. Lidia se rend compte qu'il y a quelque chose qui ne fonctionne pas, puisque la limite de $-\cos(1/x)$ n'est pas égale à 0 lorsque x tend vers 0, et elle dit que réellement elle ne s'est pas posée la question et qu'elle avait simplement écrit 0. Et c'est ainsi que la discussion commence. Après avoir écouté les arguments de Lidia, Victor avance que la dérivée n'existe pas en 0.

Le professeur demande à Wendy si elle a aussi changé d'opinion et elle répond que la dérivée en 0 était égale à 0. Elle commence à dire que le graphique de la fonction n'oscille pas en 0 et que la tangente est horizontale. Wendy s'appuie sur le graphique pour faire une telle affirmation (voir figure 2.6). Alicia dit « Non, la fonction a beaucoup d'oscillations ». Victor signale que, en général, l'on ne doit pas faire confiance à la calculatrice car il se peut bien que la calculatrice donne un joli dessin, mais qu'il n'en soit pas vraiment ainsi. Il ajoute même : « ... réellement il y

a beaucoup d'oscillations et l'on ne voit pas qu'il [le graphe] ait un joli comportement ».

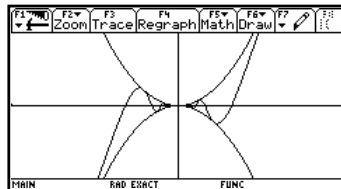


Figure 2.6. Ecran d'une calculatrice obtenu par une étudiante (Wendy)

L'intervention de Victor provoque un débat et la majorité commence à prendre position en faveur des arguments de Lidia. Le professeur demande ce qu'il faudrait faire dans ce cas, et Wendy répond : « Il me semble que maintenant je suis la seule à affirmer que la dérivée en 0 est 0, ils ont peut-être raison ». Même si le cours est terminé, le débat continue pendant encore 20 minutes (ça n'est pas la première fois). Le professeur demande de réfléchir pendant les deux jours suivants pour laisser un temps d'autoréflexion, comme prévu dans la méthodologie.

Le débat continue au cours suivant. Lidia prend la parole : « La dérivée de cette fonction $[f(x)]$ est celle-ci (voir figure 2.7), elle est égale à 0 pour $x = 0$; alors, il n'y a pas moyen que cette fonction soit continue ! » Ici, Lidia exprime concrètement le problème montrant qu'elle a fait une réflexion en dehors de la classe et qu'elle a utilisé la calculatrice pour comprendre le problème soulevé dans le cours antérieur. Le professeur demande à Lidia d'utiliser la calculatrice et le rétroprojecteur pour montrer ce qu'elle a fait.

Lidia : « Le graphe a beaucoup d'oscillations, là, près de zéro ; alors, j'ai l'impression que je ne peux pas coller le zéro !... C'est-à-dire, le graphe est une source d'informations, mais ce graphe n'est pas fiable quand on prend une échelle plus grande en x , le graphe nous montre des oscillations et une ligne verticale ». Lidia ajoute que la fonction est *a fortiori* discontinue.

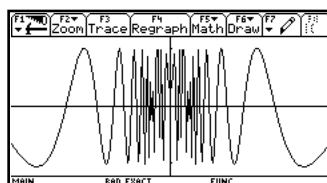


Figure 2.7. Ecran d'une calculatrice obtenu par une étudiante (Lidia)

Wendy utilise la calculatrice pendant la discussion et quand le professeur leur demande à nouveau leur opinion, Wendy déclare que le résultat est vrai, que la dérivée de cette fonction en 0 est égale à 0. Alors, elle passe au tableau pour faire un traitement algébrique :

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(0+h) - f(0)}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{h^2 \sin\left(\frac{1}{h}\right) - 0}{h} = \lim_{h \rightarrow 0} h \sin\left(\frac{1}{h}\right) = 0$$

Même si le traitement algébrique est correct, certains étudiants expriment leur désaccord. Le professeur leur propose alors de trouver en quoi l'égalité est erronée. Certains essaient, mais ils ne peuvent pas trouver l'erreur (bien sûr, il n'y en a pas !). Par exemple, Irene dit : « Je ne suis pas sûre, mais pour $h = 0$, nous avons quelque chose comme sinus d'infini ». Victor insiste sur une probable erreur dans le traitement algébrique, il dit : « Si nous considérons ce résultat comme vrai, alors nous devons considérer le résultat $\lim_{x \rightarrow 0} \left(2x \sin\left(\frac{1}{x}\right) - \cos\left(\frac{1}{x}\right)\right) = 0$ comme vrai, ce qui est impossible ! Il y a une contradiction évidente ». Wendy, déclare : « mais il est vrai que la dérivée de cette fonction est 0, elle est 0, graphiquement c'est une droite horizontale » [Elle continue à utiliser la calculatrice]. Wendy lui demande alors de lui montrer où est l'erreur dans son traitement algébrique.

Pendant la discussion plusieurs étudiants utilisent la calculatrice. Victor branche la sienne au rétroprojecteur et il montre la représentation algébrique de la fonction. En utilisant la fenêtre des représentations graphiques et la commande pour calculer la dérivée en $x = 0$, voilà la déstabilisation cognitive réinstallée ! (voir figure 2.8).

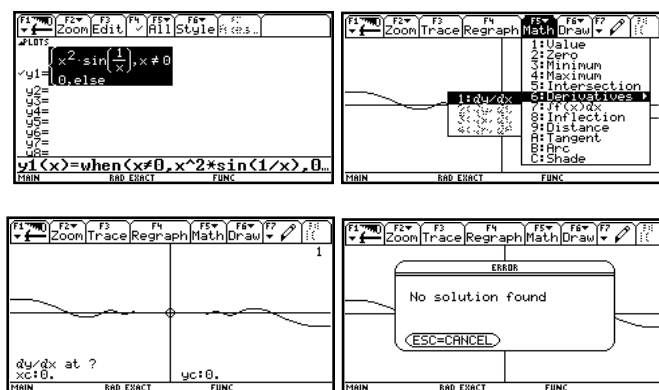


Figure 2.8. Production d'un étudiant (Victor)

Wendy réagit tout de suite, en disant qu'il ne faut pas toujours faire confiance à la calculatrice (elle utilise les mêmes arguments que Victor) ! Elle montre même quelques exemples où la calculatrice a donné une réponse inexacte pendant le cours.

Victor répond qu'il y a sûrement une erreur dans le traitement algébrique et, en même temps, il dit que, en réalité, il ne peut pas concilier le traitement algébrique avec une approche visuelle. A ce moment-là, un sentiment de déséquilibre se fait jour parmi les étudiants. Au cours suivant, la discussion reprend de la même manière qu'au cours précédent, mais la division entre les étudiants est plus claire. Quelques minutes après le début, Victor fait une remarque qui entraîne un changement d'avis de tous les étudiants. Il dit : « La dérivée d'une fonction dérivable n'est pas nécessairement continue ». Tous comprennent que l'erreur d'interprétation est là, et Victor ajoute que, finalement, Wendy a raison ! Le professeur demande si le processus de dérivation réalisé par Wendy est correct ; les étudiants répondent que oui, puis se désintéressent de la discussion. Les points saillants de cette activité pourraient être énoncés comme suit :

- la calculatrice a servi pour faire des calculs précis ;
- même si un traitement algébrique est correct, la calculatrice devient un instrument pour se convaincre de la véracité d'une conjecture et pour essayer de convaincre les autres ;
- si la calculatrice donne un résultat qui n'est pas en accord avec leurs conjectures, les étudiants doutent et essaient de résoudre le conflit ;
- la conception que la dérivée d'une fonction définie par intervalles est la réunion des dérivées sur chacune des parties, et la conception que la dérivée d'une fonction dérivable doit être continue n'étant pas compatibles, les étudiants ont entamé un débat qui les a amenés à créer une articulation entre les représentations en jeu dans la résolution de l'activité pour dépasser le conflit ;
- l'incubation d'idées et l'autoréflexion sont nécessaires au débat scientifique.

En résumé, nous pouvons voir que le débat scientifique et l'autoréflexion sont des éléments qui ont permis aux étudiants de dépasser quelques contradictions cognitives et ceci leur a donné la possibilité de changer certaines conceptions. Cependant, il est resté, chez la plupart d'entre eux, la conception suivante : « étant donné une fonction définie par intervalles, nous pouvons utiliser les formules de dérivation, de façon isolée, pour chacune des parties sans utiliser la définition de dérivée pour les points critiques ». Pendant les derniers entretiens, nous avons pu susciter l'apparition de contradictions logiques (en utilisant des fonctions *ad hoc*). Ceci a permis aux étudiants de surmonter leurs contradictions cognitives (après que nous leur ayons demandé de nous expliquer leur processus de conversion entre représentations).

2.5. Conclusion

L'objet de ce chapitre est d'essayer de comprendre la complexité des relations qui existent entre action et conceptualisation, ainsi que le rôle des situations didactiques, à partir de l'étude de l'activité instrumentée.

Pour analyser cette complexité nous avons utilisé la méthodologie ACODESA qui intègre des aspects considérés essentiels dans plusieurs communautés de recherche, en particulier le travail collaboratif et les communautés de pratique (voir introduction, chapitres 3 et 10). Cette méthodologie encourage la recherche de solutions et de preuves dans un esprit de collaboration, d'argumentation et preuve, dans les équipes et en grand groupe, avant un travail final effectué de manière individuelle. Nous pouvons distinguer trois grandes étapes :

- les deux premières sont liées à la co-construction des connaissances dans un travail en équipe et en grand groupe (appropriation du problème, propositions, défense des propositions en équipe et en grand groupe) ;
- la troisième est une étape de réflexion personnelle dans laquelle l'étudiant doit reprendre à son compte les discussions et les débats auxquels il a participé pour construire une solution qui lui est propre.

Lors des échanges entre les étudiants, nous avons pu assister à de véritables débats scientifiques qui peuvent être d'une grande richesse. En particulier, des contradictions logiques et cognitives peuvent y apparaître qui, grâce à la troisième étape, peuvent être dépassées à travers une reconstruction personnelle des échanges et des débats, avec un rejet – ou une acceptation – des résultats de ceux-ci (n'oublions pas que le professeur a ramassé tous les documents relatifs au travail fait en classe). Si une contradiction cognitive est associée à un obstacle épistémologique au sens de Brousseau [BRO 98], la résolution de cette contradiction cognitive est absolument nécessaire pour dépasser cet obstacle. Nos diverses expériences avec la méthodologie ACODESA, et en particulier celles décrites dans ce chapitre, nous montrent que, bien que le franchissement d'un obstacle épistémologique ne soit pas toujours facile à susciter, les étudiants parviennent à une construction plus solide des concepts en jeu.

Pour terminer, nous voudrions souligner que, lors de la résolution des activités, la très grande majorité des étudiants utilisent la calculatrice comme un instrument de manière tout à fait naturelle. Elle permet aux étudiants de concilier les processus papier-crayon et ceux produits avec la calculatrice. Elle joue également un rôle de *facilitateur* pour l'articulation des représentations associées au concept. Cette caractéristique nous laisse penser que son rôle est autant un moyen de *contrôle*

qu'un *support* dans la transformation d'une conception nécessaire à la construction d'un concept, et enfin qu'un *moyen pour convaincre*.

2.6. Bibliographie

- [ALI 91] ALIBERT D., THOMAS M., « Research on mathematical proof », dans Tall D. (dir.), *Advanced Mathematical Thinking*, p. 215-230, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1991.
- [ART 90] ARTIGUE M., « Epistémologie et Didactique », *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 10, n° 2/3, p. 241-286, 1990.
- [ART 02] ARTIGUE M., « L'intégration de calculatrices symboliques à l'enseignement secondaire : les leçons de quelques ingénieries didactiques », dans D. Guin, L. Trouche (dir.), *Calculatrices Symboliques. Transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique*, La Pensée Sauvage, Grenoble, p. 277-349, 2002.
- [BRO 98] BROUSSEAU G., *Théorie des situations didactiques*, La Pensée sauvage, Grenoble, 1998.
- [DIL 99] DILLENBOURG P., « What do you mean by collaborative learning ? », dans Dillenburg P. (dir.), *Collaborative Learning : Cognitive and Computational Approaches*, p. 1-19, Elsevier Science/Pergamon, Amsterdam, 1999.
- [DUR 83] DUROUX A., « La valeur Absolue. Difficultés majeures pour une notion mineure », *Petit x*, vol. 3, p. 43-67, 1983.
- [DUV 93] DUVAL R., « Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée », *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, vol. 5, p. 37-65, 1993.
- [DUV 95] DUVAL R., *Sémiosis et pensée humaine. Registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*, Peter Lang, Berne, 1995.
- [HAD 75] HADAMARD J., *Essai sur la psychologie de l'invention dans les domaines mathématiques*, Gauthier-Villars, Paris, 1975.
- [HAU 87] HAUCHART C., ROUCHE N., *Apprivoiser l'infini. Un enseignement des débuts de l'analyse*, CIACO (PUL), Louvain-la-Neuve, 1987.
- [HIT 03] HIT F., « Le caractère fonctionnel des représentations », *Annales de Didactique et de sciences cognitives*, vol. 8, p. 255-271, 2003.
- [HIT 06] HIT F., « Students' functional representations and conceptions in the construction of mathematical concepts. An example. The concept of limit », *Annales de Didactique et de sciences cognitives*, vol. 11, p. 253-268, 2006.
- [JAN 87] JANVIER C. (DIR.), « *Problems of Representation in the Teaching and Learning of Mathematics* », Lawrence Erlbaum Associates, Londres, 1987.
- [LAG 02] LAGRANGE J.-B., « Etudier les mathématiques avec les calculatrices symboliques. Quelle place pour les techniques », dans Guin D., Trouche L. (dir.), *Calculatrices*

Symboliques. Transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique, p. 151-185, La Pensée Sauvage, Grenoble, 2002.

[LEG 93] LEGRAND M., « Débat scientifique en cours de mathématiques et spécificité de l'analyse », *Repères-IREM*, vol. 10, p. 123-159, 1993.

[LEG 01] LEGRAND M., « Scientific debate in mathematics courses », dans Holton D. (dir.), *The teaching and learning of mathematics at university level : An ICMI Study*, p. 127-135, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2001.

[PIA 75] PIAGET J., *L'Équilibration des structures cognitives*, PUF, Paris, 1975.

[RAB 95] RABARDEL P., *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*, Armand Colin, Paris, 1995.

[THO 02] THOMPSON P., « Some remarks on conventions and representations », dans Hitt F. (dir.), *Representations and Mathematics Visualization*, p. 199-206, International Group for the Psychology of Mathematics Education North American Chapter and Cinvestav-IPN, Mexico, 2002.

[TRO 02] TROUCHE L., « Une approche instrumentale de l'apprentissage des mathématiques dans des environnements de calculatrice symbolique », dans Guin D., Trouche L. (dir.), *Calculatrices Symboliques. Transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique*, p. 187-214, La Pensée Sauvage, Grenoble, 2002.

Chapitre 3

Approfondir une question dans un débat médiatisé par ordinateurs : complexité d'une situation d'apprentissage collaboratif

3.1. Introduction et problématique

A partir du milieu des années 1990, nous avons mené un programme de recherche dans le but d'élaborer des *environnements informatiques pour l'apprentissage coopératif*, fondés sur *des interactions épistémiques médiatisées par ordinateur* (voir [BAK 01] pour une synthèse de ce travail). La notion d'activité *épistémique* a été introduite par Ohlsson [OHL 96], par opposition aux activités de production (par exemple, la résolution d'un problème ou d'un exercice). Arguant qu'il est possible de résoudre un problème sans nécessairement le comprendre et qu'on évalue bien trop souvent un apprenant sur ses capacités à faire plutôt qu'à comprendre, Ohlsson invite à concevoir des *situations d'apprentissage* mettant en jeu des activités épistémiques, à savoir celles qui nécessitent un effort de compréhension préalable voire de production de sens, comme la reformulation, l'explication (faire comprendre), l'argumentation (justifier et convaincre) ou encore la négociation (trouver un compromis).

Dans ce paradigme, nous nous intéressons aux *interactions médiatisées* (par exemple, de type *chat*). Bien qu'elles puissent poser des difficultés sur le plan de la

production écrite, elles peuvent également favoriser les interactions épistémiques dans la mesure où le support écrit d'une communication « au ralenti » permet dans certains cas une réflexion accrue sur le problème à résoudre [DEV 02].

Pour mener à bien cette recherche, nous avons réalisé une série d'interfaces de communication médiatisée, qui *structuraient* l'activité coopérative des apprenants de différentes manières : C-Chene [BAK 97], pour la structuration des actes communicatifs, Connect [DEV 02] pour la structuration séparée des activités de résolution et de discussion épistémique, et Damoclès [QUI 00], pour la constitution automatique des dyades, entre autres. Ces recherches ont surtout montré la complexité des situations d'interaction médiatisée favorisant une interaction épistémique : il était possible d'atteindre notre objectif (environ 50 % de l'interaction étant de type épistémique) à condition de choisir une tâche qui se prêtait à une discussion approfondie, d'alterner travail individuel et collectif, de bien étudier les différences intersubjectives au sein des groupes d'apprenants, de séparer la discussion épistémique de la résolution, etc. En définitive, ce type d'interactions pouvait être favorisé grâce à l'utilisation d'un ensemble de techniques de *structuration* de l'activité coopérative des apprenants, opérant sur plusieurs plans :

- la communication [BAK 97] ;
- la séquence des activités discursives [DEV 02] ;
- la constitution du groupe [QUI 99, QUI 00] ;
- les moyens sémiotiques d'expression [QUI 03].

Or, lors de la mise en œuvre de ce programme de recherche, nous nous sommes rendu compte de *la complexité* des situations qu'il a fallu élaborer pour favoriser les interactions épistémiques médiatisées par ordinateur. En effet, il semblait que, d'une part, un grand ensemble de conditions interdépendantes devait être réuni, comme, par exemple, une tâche mobilisant des connaissances complexes ou un groupe comportant des différences intersubjectives *optimales*. Nous nous centrons sur un aspect de l'intersubjectivité [ROM 79], c'est-à-dire les différences des connaissances des sujets relatives au problème à résoudre : une différence trop importante peut conduire à une interaction fortement asymétrique, voire à des problèmes de compréhension mutuelle ; inversement, des différences trop ténues diminuent la complémentarité et l'apparition de conflits socio-cognitifs [QUI 00]. D'autre part, il était nécessaire de mettre en œuvre conjointement plusieurs techniques de structuration de l'activité (par exemple, en prévoyant une phase de discussion critique des solutions, séparée de la résolution même, tout en structurant la communication en un ensemble d'actes communicatifs).

Nous avons réinvesti les acquis de ce programme de recherche dans le cadre d'un projet européen SCALE (*Internet-based intelligent tool to Support Collaborative Argumentation-based LEarning in secondary schools* [SCA]), de 2001 à 2004. Le but de ce projet était de développer un environnement collaboratif favorisant l'apprentissage par des activités argumentatives sur Internet. Par rapport à nos travaux antérieurs, dans lesquels les interactions épistémiques étaient produites dans le cadre d'une activité de résolution coopérative de problèmes, nous avons étudié dans SCALE des interactions argumentatives à finalité cognitive interne, c'est-à-dire des débats sur des questions socialement vives à l'école secondaire en Europe. Il s'agissait donc de comprendre des débats et d'apprendre en débattant à se situer dans ces débats (voir également la méthode ACODESA de Hitt, chapitre 2).

Le *dispositif* construit dans le cadre de ce projet, DREW (*Dialogical Reasoning Educational Web tool* [SCA]), consiste en une plate-forme facilitant la mise en place de séquences d'activités collaboratives synchrones, médiatisées par ordinateurs, au moyen d'outils de communication (*chat*) ou de production (textes, schémas argumentatifs, dessins). La finalité cognitive interne de la tâche d'apprentissage nous a en effet conduits à développer des outils devant faciliter à la fois la tenue d'un débat et à travers cette pratique une certaine compréhension (ou analyse) du débat en cours.

Au cours de ce projet, nous avons mené plusieurs expériences dans des classes de terminale (élèves de 17-18 ans), afin d'étudier le potentiel de ces outils pour une certaine forme d'apprentissage : le développement d'une compréhension de *l'espace du débat* [BAK 03], c'est-à-dire les points de vue des différents acteurs, leurs arguments, leurs contre-arguments, leurs valeurs, ainsi que la compréhension des *notions fondamentales* en jeu dans le débat. Par exemple, dans le débat sur les OGM, de telles notions seraient la nature, le génome et le principe de précaution.

Dans la suite de ce chapitre, nous présenterons le contexte de cette recherche et la réflexion méthodologique qui sous-tend la conception du dispositif DREW. Puis nous présenterons la démarche expérimentale entreprise dans le cadre de l'étude de ses potentialités pour l'approfondissement d'une question (celle de la production des organismes génétiquement modifiés) et la méthode mise au point pour l'analyse du corpus collecté. Après avoir discuté les résultats de ces expériences, nous tirons des conclusions autant sur les outils développés que sur la démarche de conception, gageant que cette expérience permettra de dégager quelques enseignements pour le développement de dispositifs informatiques d'apprentissage coopératif à distance, conçus comme parties intégrantes des systèmes humains-machines complexes.

3.2. Complexité des situations d'apprentissage collaboratif

La majorité des recherches sur l'apprentissage coopératif qui ont été menées depuis une vingtaine d'années sont basées sur ce qu'on peut appeler le paradigme *interactions* [DIL 96]. Nous constatons qu'un grand nombre de recherches expérimentales mises en œuvre selon ce paradigme postulent, implicitement ou explicitement, une relation linéaire, voire causale, entre les caractéristiques des situations, les interactions et les apprentissages (connaissances construites) :

situation → interaction → connaissance

Nous proposons [BAK 04] de complexifier ce schéma causal linéaire, en fonction de multiples relations bidirectionnelles, voire circulaires, qui subsistent entre ses composantes, comme le montre la figure 3.1.

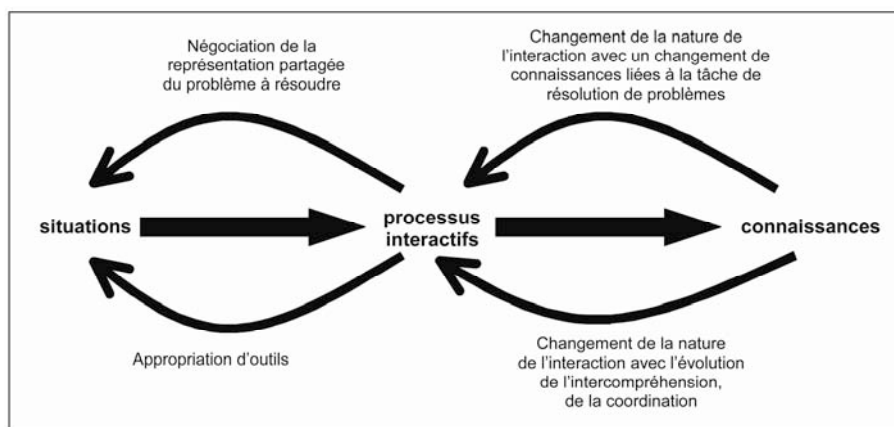


Figure 3.1. Relations circulaires entre situation, interaction et connaissance

Si l'interaction favorise la construction de connaissances (relatives à la tâche, à l'intercompréhension), un changement sur ce dernier plan transforme en retour la nature même de l'interaction. Par exemple, avec une compétence grandissante par rapport à la tâche, la quantité d'interactions diminue progressivement et la recherche d'une représentation partagée du problème se transforme en une co-construction itérative de solutions. De même, si, pour certains, les technologies et le problème (imposé) à résoudre sont des facteurs stables dans la situation, pour d'autres l'interaction serait le lieu de *l'instrumentalisation*, de l'appropriation, de la transformation des outils technologiques dans l'activité [RAB 95], le lieu de la négociation du sens du problème [GRO 97]. Plus généralement, selon ces derniers

auteurs, on ne saurait dissocier les dimensions sociales, cognitives et artefactuelles de l'activité, ni négliger le fait que le contexte de l'activité n'est pas donné d'emblée, mais qu'il est *co-construit*. Sur le fond, ces remarques induisent une pleine reconnaissance de la nature processuelle de l'interaction ; la démarche de la causalité linéaire est en réalité conçue pour que l'interaction puisse être « saucissonnée » en unités discrètes auxquelles on attribue une catégorie, dont l'analyse fréquentielle peut ou non expliquer l'amélioration ou la dégradation de l'état initial des connaissances de l'apprenant attestée lors d'un contrôle effectué après interaction ; mais la complexité inhérente à ces situations expérimentales rend les résultats obtenus difficilement généralisables.

Dans ce contexte, il serait sans doute plus éclairant de replacer les connaissances dans les situations elles-mêmes, selon la thèse de la cognition située [BRO 89] et de considérer les trois éléments du schéma de départ comme entretenant des relations qui évoluent dans le temps (voir figure 3.2).

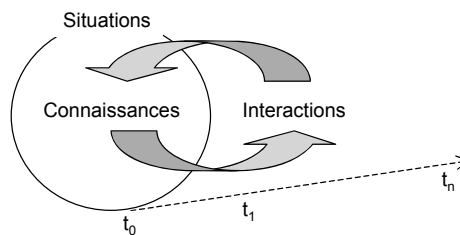


Figure 3.2. Les relations entre situations, interactions et connaissances évoluant dans le temps

Que peut-on conclure, au moins provisoirement ? Compte tenu des interdépendances entre les éléments du système situation-interaction-connaissance, celui-ci ne serait pas prévisible au-delà d'une certaine « fenêtre » temporelle. Ainsi, le problème essentiel consiste à déterminer, pour un système spécifique, l'échelle temporelle qui permet effectivement d'atteindre un équilibre, local ou non, révélateur d'un apprentissage. Pour faire face à une telle complexité, le chercheur ne pourra éviter d'engager une démarche de *modélisation des situations* dans lesquelles « ancrer » des environnements collaboratifs pour l'apprentissage, afin de faciliter l'élaboration de tels systèmes. Une telle modélisation doit se fonder sur l'analyse fine des relations entre des facteurs (situations socio-institutionnelles, socio-cognitives, modalités ou outils de débats, etc.), dans des cas ou corpus précis, procédant par induction afin d'étendre le champ de validité des résultats, pour dégager des interdépendances, voire des invariants. C'est ce que nous proposons d'étudier dans la section suivante.

3.3. Les situations de production d'interactions épistémiques

Examinons maintenant brièvement le cas des interactions épistémiques, et la multiplicité de leurs déterminants. Comme l'a remarqué Golder [GOL 96] pour le développement du discours argumentatif, « on ne peut pas argumenter sur n'importe quoi, [...] n'importe comment, [...] avec n'importe qui [et] dans n'importe quelle situation ». A l'instar des travaux de Bronckart [BRO 85], Golder analyse les situations de production de discours argumentatifs (c'est-à-dire par un locuteur individuel, par la parole ou par l'écrit) en termes d'*espace référentiel* (il s'agit de la nature intrinsèque de ce dont on parle) et d'*espace de production*, ce dernier se divisant en un *espace physique* et un *espace de l'interaction sociale*.

Pour rendre compte des situations de travail de groupe impliquant l'utilisation des technologies de l'Internet, nous proposons d'étendre ces espaces, de la manière illustrée dans la figure 3.3. Après avoir présenté les espaces que nous avons introduits pour mieux caractériser les situations d'interactions épistémiques, nous relèverons les points clés qui nous ont guidés pour la conception des situations de débat, qui en sont un cas particulier.

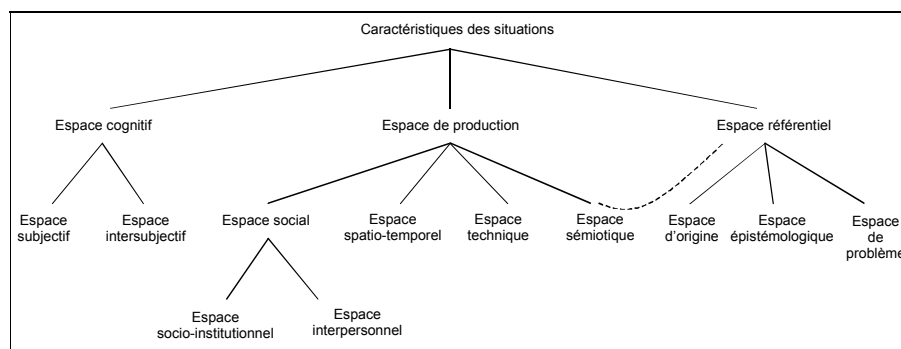


Figure 3.3. Les espaces de la production d'interactions épistémiques médiatisées par ordinateur

Plusieurs aspects de l'*espace référentiel* peuvent être distingués, en relation avec l'élaboration de connaissances : l'*origine* de la connaissance mise en discussion (origine cognitive, perceptuelle, socio-institutionnelle, etc.), sa *nature épistémologique* (un énoncé axiologique se prête plus à une discussion qu'un énoncé factuel), le *type de problème* à résoudre. Dans ce cadre, les distances *intersubjectives* [ROM 79] sont cruciales pour que le dialogue argumentatif puisse éviter le « dialogue de sourds » (voir plus haut). Enfin, l'*espace de production* doit être ici considérablement élaboré, pour rendre compte des spécificités des média

informatiques de production de solutions et de communication, notamment sur le plan des contraintes techniques (permanence, révocabilité des messages, etc.) [CLA 91] et des contraintes émanant des différents *registres sémiotiques* d'expression [DUV 95].

Nous n'avons certainement pas épuisé ici l'ensemble des facteurs à prendre en compte dans la conception des *environnements informatiques pour l'apprentissage humain* fondés sur les interactions épistémiques. Si l'ensemble des facteurs ne conduit pas à une recette infallible pour les concepteurs, il peut néanmoins assister la réflexion sur les facteurs à prendre en compte.

Outre l'énumération structurée des caractéristiques des situations, il est peut-être encore plus important de reconnaître *leur caractère paradoxal* et la difficulté d'atteindre *un point d'équilibre stable* dans des situations concrètes [BAK 02]. Trois types de paradoxes peuvent être distingués :

– *le paradoxe épistémico-cognitif* : les conditions nécessaires pour la production d'un discours argumentatif et les conditions nécessaires pour l'apprentissage conceptuel peuvent être en contradiction. Dans une situation conçue pour l'apprentissage conceptuel, l'*objet d'apprentissage* est évidemment à construire, dans la zone proximale de développement des élèves [VYG 34]. Or, l'interaction argumentative présuppose des prises de position relativement stables, afin que les positions opposées puissent s'affronter discursivement. Aussi est-il peu probable que les apprenants puissent adopter de telles positions ou attitudes stables par rapport à des connaissances qui, par hypothèse, sont en cours d'élaboration [NON 96]. Face à ce *paradoxe épistémico-cognitif*, l'apprentissage coopératif repose sur un équilibre délicat : il faut proposer des tâches d'apprentissage conceptuel suffisamment proches des connaissances antérieures des apprenants afin qu'ils puissent en discuter (et les défendre), mais suffisamment éloignées afin qu'il y ait un enjeu d'apprentissage (et qu'ils cherchent à comprendre) ;

– *le paradoxe socio-cognitif* : les dimensions socio-relationnelles et cognitives de l'interaction, spécifiquement en relation avec le conflit verbal, peuvent interagir d'une manière complexe. Le dialogue ayant pour but la réalisation d'une tâche qui lui est externe, il est nécessaire d'approfondir les divergences de points de vue par rapport à cette tâche, afin que le dialogue puisse préserver son intérêt. Or, comme tout approfondissement d'un conflit verbal constitue une menace pour la relation sociale, il peut apparaître chez les apprenants une tentation d'éviter la poursuite de la discussion. Ainsi, l'interaction risque d'osciller entre une menace pour la relation et le risque de ne pas aboutir (échec de la tâche). Dans ce contexte, la distance physique entre les protagonistes, reliés par Internet, peut être à double tranchant : elle peut à la fois permettre aux élèves davantage de liberté de parole, et diminuer la pression interpersonnelle pour approfondir la dimension cognitive de l'interaction ;

– *le paradoxe technico-cognitif*: les caractéristiques physiques du canal de la communication, dans le cas des interactions médiatisées par ordinateur, influencent la nature de l'activité discursive et cognitive mise en œuvre dans ce cadre. L'interaction, écrite et « ralentie » à travers Internet, peut amener les élèves à une réflexion accrue sur leur propre activité, en comparaison avec les dialogues oraux, et les contraindre à « filtrer » leurs énoncés pour privilégier l'expression des activités cognitives de modélisation les plus complexes. Ainsi, le problème pour le concepteur de ce type de situation est d'imposer un degré de contrainte sur la production d'énoncés qui favorise l'activité cognitive, sans pour autant l'inhiber.

L'investigation des trois paradoxes ci-dessus démontre la complexité de la mise en place d'une activité de compréhension de l'espace du débat. On a en effet montré que cet espace recouvre au moins six des espaces de la figure 3.3, à savoir : le subjectif, l'intersubjectif et l'épistémologique (paradoxe 1), l'interpersonnel (paradoxe 2), le technique et le sémiotique (paradoxe 3). Plus généralement, le problème de la conception d'un environnement collaboratif susceptible de favoriser l'interaction épistémique peut être vu comme la recherche d'un point d'équilibre pour les paradoxes relevés entre les divers espaces en jeu dans la situation d'interaction.

3.3.1. *Débattre au moyen de schémas argumentatifs*

DREW est l'environnement informatisé pour l'apprentissage humain coopératif développé par l'équipe RIM de l'École nationale supérieure des Mines de Saint-Etienne dans le cadre du projet SCALE. DREW procure une variété d'outils de communication modulaires permettant la réalisation d'activités partagées dans un navigateur. Il comporte notamment un outil de *chat* synchrone, un éditeur de texte partagé, et surtout un outil partagé pour la construction de graphes d'arguments (voir figure 3.4).

L'interface de construction de graphes d'arguments a été souhaitée la plus simple possible : des boîtes pour les arguments ou les thèses (en fait, des propositions) et deux types de liens argumentatifs (« + » et « - »). Dans une acception dialectique de l'argumentation [QUI 02], les liens « + » représentent les arguments *pour* (les défenses), tandis que les liens « - » représentent les arguments *contre* (les attaques). Ainsi, la mise en relation d'une boîte avec une autre explicite la relation argumentative existant entre l'argument et la thèse qu'il soutient ou qu'il critique.

Une caractéristique importante de DREW est le fait que les élèves peuvent y exprimer leurs propres opinions (pour ou contre) sur chaque élément du graphe (propositions ou relations). Les avis de chacun sont représentés par un code de

couleur et la forme de l'objet indique si les participants sont en conflit sur la proposition concernée. Cette particularité, qui a pour but de focaliser l'attention des participants sur leurs différences d'opinions et par conséquent sur la recherche d'un accord (discussion critique ou contradictoire), constitue l'originalité de ces graphes par rapport à nombre d'autres comme le système BELVEDERE [SUT 95, SUT 01]. Le graphe est ainsi autant une représentation évolutive d'un débat qu'un *médium* à travers lequel se produit et se construit un dialogue argumentatif.

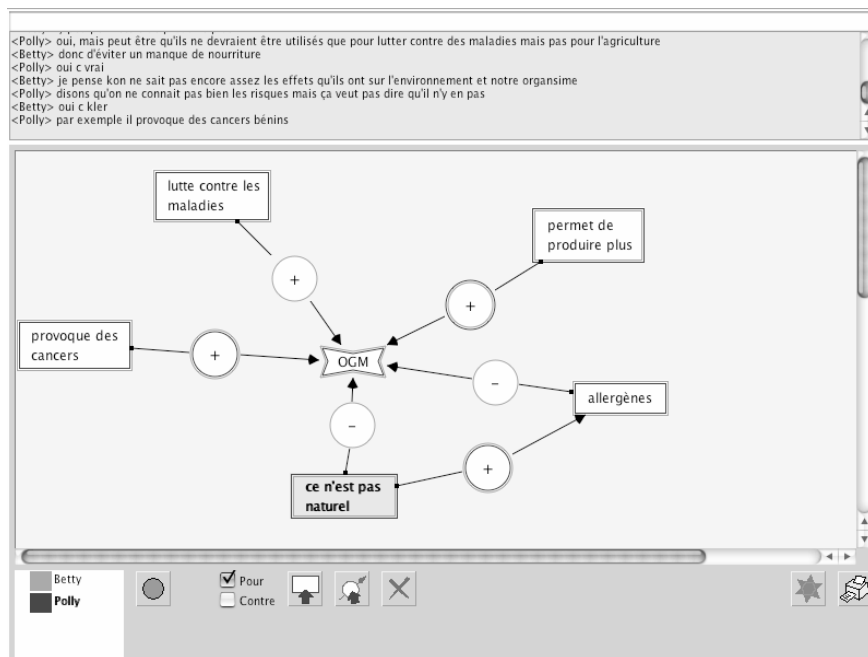


Figure 3.4. Les deux interfaces de communication utilisées pour le débat : le chat, en haut, et l'éditeur de graphes argumentatifs, en bas (ce schéma, construit par les apprenants, comporte des erreurs)

Nous avons conçu toutes nos situations de débat selon une séquence générique illustrée par la figure 3.5. La phase d'entraînement (0) de deux heures comprend une courte introduction aux notions d'argumentation et aux techniques requises pour la phase de débat (2), en particulier la représentation graphique des thèses, arguments pour et contre. Cette phase préliminaire comprend également un exercice d'entraînement aux outils de communication DREW. Le but de cette activité est d'éviter que l'apprentissage de l'utilisation de l'interface de communication ne concurrence l'activité de débat (2).

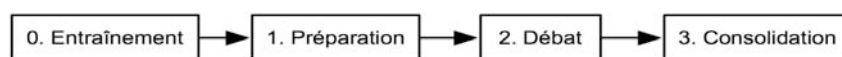


Figure 3.5. Séquence générique d'activités pour CABLE

Il s'ensuit alors la phase de débat (2), se déroulant selon les conditions expérimentales, à l'aide d'une interface de *chat* accompagnée ou non de l'éditeur de graphes d'arguments. Dans les deux contextes, les élèves doivent exprimer leurs opinions, présenter leurs arguments puis explorer et approfondir ensemble la question pour améliorer leurs textes individuels. Durant les dix dernières minutes, il leur est demandé de résumer leurs points d'accord et de désaccord. La raison pédagogique de cette phase est que, en interagissant l'un avec l'autre, les élèves sont amenés par différents moyens à approfondir et à élargir leur compréhension de l'espace du débat : par l'acquisition de nouveaux arguments par leur partenaire, en raffinant leur compréhension par l'expression et le développement d'arguments, par la critique ou par la négociation du sens des concepts en jeu.

Dans la phase finale de cette séquence (3), les élèves reviennent sur leur texte pour l'améliorer à la lumière de la discussion. Cette tâche a pour but d'aider les élèves à intégrer les connaissances acquises durant le débat ou à l'issue de celui-ci.

3.3.2. Une expérience au lycée

Nous avons mené une expérimentation en novembre 2001 dans un lycée de Lyon avec les outils présentés plus haut. Son but était double : d'une part, déterminer dans quelle mesure la séquence proposée conduit les élèves (18 ans environ) à élargir et à approfondir leur compréhension de l'espace du débat et, d'autre part, évaluer l'influence de l'utilisation d'un outil de construction de graphes d'arguments dans des interactions par *chat*.

L'expérience s'est déroulée en deux sessions : une session d'entraînement de deux heures (phase 0) puis une session de trois heures pour les trois autres phases. Deux classes du même établissement et de même filière ont participé, l'une dans le contexte « *chat* seul » (21 élèves répartis en 9 dyades et 1 triade), l'autre dans le contexte « *chat*-graphe » (28 élèves répartis en 14 dyades). Dans chaque cas, les élèves étaient associés aléatoirement pour éviter l'effet d'une constitution de dyades particulières¹³.

13. La constitution des dyades aurait pu être envisagée, comme lors d'une expérimentation précédente [QUI 99], en s'appuyant sur des textes rédigés par les apprenants avant le débat. Nous aurions ainsi placé les apprenants dans des situations potentiellement plus propices au

Nous avons mesuré l'apport des discussions des étudiants dans la compréhension de l'espace du débat en évaluant les différences entre les textes produits avant et après la discussion. Pour cela, nous avons élaboré une nouvelle méthode pour évaluer la qualité de l'espace du débat, comme celle exprimée dans les textes, appelée la méthode QED (qualité de l'espace du débat). Cette méthode repose sur la catégorisation des arguments avancés dans les textes produits par les élèves avant et après débat selon trois dimensions :

- *qualité de l'argumentaire* : ce critère cherche à mesurer la capacité de l'élève à comprendre et confronter les arguments selon les thèmes présents dans le débat (profondeur du débat), indépendamment de sa propre opinion. Sachant qu'il est plus facile de comprendre et rapporter un argument qui conforte son propre point de vue, nous estimons que la qualité de la compréhension de l'argumentaire sera d'autant meilleure que l'apprenant saura rapporter autant d'arguments « pour » que d'arguments « contre » ;

- *couverture de l'argumentaire* : on évalue l'étendue de l'espace du débat en analysant les thèmes abordés par l'élève. Le texte des élèves a une *large couverture* lorsque les arguments présentent une variété d'opinions ou de points de vue d'acteurs du débat ou couvrent les différents sujets de la question ;

- *cohérence de l'argumentaire avec l'opinion défendue* : le texte est *cohérent* lorsque le point de vue général (ou l'opinion) exprimé par l'élève est basé rationnellement sur des arguments donnés.

Nous mesurons la qualité de l'espace du débat (QED) d'un texte en faisant la synthèse des valeurs obtenues sur les trois dimensions précédentes.

Cette analyse menée sur 98 textes met en évidence une augmentation significative du QED entre les textes rédigés avant et après le débat, montrant ainsi que l'activité de consolidation a été productive. En revanche, il n'y a pas de différence significative entre les groupes ayant utilisé seulement le *chat* pour débattre et les groupes ayant utilisé le *chat* et l'éditeur de graphes [QUI 03]. La qualité de l'argumentaire ainsi que sa couverture thématique augmentent également dans les deux contextes. En revanche, nous observons un déclin de la cohérence dans le contexte *chat*-graphe, alors que la cohérence augmente dans le contexte *chat*. Cette différence est directement corrélée au changement d'opinion : lorsqu'un élève change d'opinion (ou la position générale de son texte), il n'apporte pas suffisamment de modifications à son argumentaire, et pénalise donc sa cohérence.

débat contradictoire. Cela n'a pourtant pas été notre choix car l'enjeu du débat était moins de s'engager dans une confrontation dialectique (où chacun cherche à l'emporter) que d'explorer l'espace du débat et de chercher à comprendre les positions de l'interlocuteur ou des acteurs du débat de société.

Or, nous constatons qu'il y a plus d'élèves qui changent d'opinion dans un contexte que dans l'autre. Il nous paraît cependant très délicat d'imputer cette variation au seul usage des outils de communication.

Le peu de différence attestée de l'impact de l'usage des outils de communication sur le texte final nous a conduits à comparer directement les échanges produits dans l'environnement DREW, grâce aux *traces* que cet outil a conservées et qu'il permet de visionner en temps rejoué. La grande difficulté de cette tâche de comparaison réside dans la nature très différente des entités tracées. D'un côté (*chat*), nous avons une trace homogène composée d'énoncés (événements communicatifs langagiers, produits de manière séquentielle, selon une certaine cadence, et dont l'élaboration demande une certaine durée) ; de l'autre côté (*chat-graphe*), nous avons une trace hétérogène comprenant pour partie des énoncés et pour partie des événements, portant sur des objets graphiques, beaucoup plus brefs, beaucoup plus nombreux et surtout pouvant se produire parallèlement aux premiers.

La méthode développée, Rainbow [BAK 03], repose sur une catégorisation générale des actes communicatifs en 7 classes, selon la fonction communicative des événements. On dispose d'une catégorie hors-tâche pour les énoncés hors sujet, de 2 catégories à dimension socio-interactionnelle et de 4 catégories dans l'espace de production (graphique ou discursif) : gestion du débat, des positions, des arguments et finalement des fondements épistémiques. Les analyses effectuées sur les données récoltées montrent principalement deux choses. La première est le déplacement d'une partie de l'activité de débat dans le module d'édition graphique. En effet, la part d'énoncés exprimant des opinions ou des arguments diminue notablement lorsque le module de graphes d'arguments est présent. En revanche, les activités d'approfondissement demeurent majoritairement dans le *chat*. Ces résultats permettent de délimiter les usages de l'outil graphique en tant que médium de débat : il facilite l'expression d'opinions et d'arguments, mais l'approfondissement y est moins favorisé.

Le second résultat est en fait la confirmation que ces deux activités (*chat* versus *chat-graphe*) demeurent très différentes et donc difficilement comparables. La masse de données récoltées dans le module graphique a tendance à noyer (statistiquement) celles récoltées dans le *chat* et donc à masquer dans les résultats les phénomènes qui s'y sont produits. Ainsi, quand bien même une méthode pourrait s'appliquer en théorie sur deux situations différentes, la comparaison quantitative reste très délicate à effectuer. Un deuxième point vient renforcer ce constat : le contexte *chat-graphe* nécessite de gérer finalement deux interfaces en même temps et demande donc un effort supplémentaire aux étudiants pour détecter où se passent les événements et

pour décider où produire leur contribution (ces décisions étant souvent à prendre collégalement).

En définitive, cette expérience nous a permis de valider au moins un usage pertinent pour notre outil d'édition graphique d'arguments et de démontrer qu'il était possible, malgré l'effort d'entraînement nécessaire à la maîtrise de ces *artefacts*, de débattre avec ceux-ci aussi bien qu'avec un simple outil de *chat*. Mais l'enseignement principal de cette expérience est d'ordre méthodologique : quand bien même aurions-nous conçu une situation propice au débat, avec des outils relativement simples et permettant le traçage des activités, avec des moyens d'évaluations originaux adaptés à nos questions de recherche, les activités que nous observons résistent à notre compréhension et surtout à notre besoin de comparaison. Comme l'illustre la figure 3.2, connaissances, processus interactifs et situations sont si étroitement interdépendants qu'il est bien difficile d'isoler tant la situation (voir la méthode QED) que les processus interactifs (voir la méthode Rainbow) comme variables pour l'étude de la coconstruction d'une connaissance du débat.

3.3.3. Discussion : retour sur la conception des outils de débat ?

Nous terminerons ce chapitre par une discussion puisque, finalement, cette expérience donne plus à réfléchir qu'à conclure. Nous voudrions ainsi proposer quatre axes de réflexion : la complexité des tâches, la place des outils d'analyse face à cette complexité, la motivation des apprenants et les technologies mises en œuvre.

3.3.3.1. Complexité des tâches

L'organisation de tâches dédiées à l'apprentissage collaboratif nécessite la mise en œuvre d'une variété d'activités, *instrumentées* ou non, individuelles ou collaboratives. Le succès d'une séquence d'apprentissage repose sur l'organisation cohérente de ces activités entre elles et en particulier, sur la continuité d'un enjeu d'apprentissage. Dans le cas d'activités de débat, placées ici au centre de la séquence de tâches, il est nécessaire que les phases qui précèdent le débat le préparent et que les phases qui lui succèdent (la consolidation) s'appuient réellement sur les résultats de ce débat. Dans notre cas, nous hésitions pour la phase de consolidation entre réécrire un texte ou modifier le texte de départ. Si la deuxième option était sans doute la moins coûteuse et la plus cohérente, nombre d'élèves renâclaient à réviser un texte qui leur avait demandé un effort important. L'expérience a montré que cette forme de consolidation par révision a été pourtant bien acceptée par les élèves, puisque les textes initiaux ont été effectivement révisés. Cependant, lors d'un changement d'opinion, il n'y a pas toujours eu de révision en profondeur de la cohérence de l'argumentaire.

3.3.3.2. *Outils d'analyse des activités épistémiques et complexité des situations*

Nous avons déclaré (voir section 4.2) que la *situation d'apprentissage*, en tant que système, était difficilement prévisible au delà d'une certaine fenêtre temporelle. Pourtant, par l'application croisée de deux méthodes d'analyse, l'une se focalisant sur la production d'une synthèse (activité épistémique de rédaction d'un document argumenté), l'autre sur le processus de débat (activité épistémique d'argumentation dans l'interaction), nous disposons d'outils permettant de mettre en évidence des phénomènes d'apprentissage : changements d'opinion, intégration d'arguments d'autrui dans son propre argumentaire, invention de nouveaux arguments, production d'explications, traces d'activités d'exploration et d'approfondissement). Des études plus approfondies des données analysées ainsi devraient permettre d'évaluer plus finement les interdépendances entre les espaces que nous avons définis et les paradoxes qui en découlent : influence des outils techniques de communication, de la pression interactionnelle (demande explicite de justification) ou de la mise en commun des capacités cognitives au sein des dyades (exploration collaborative, négociation du sens).

3.3.3.3. *Motivation des apprenants*

Le choix du thème du débat est sans doute un facteur clé de la motivation [GOL 96], mais les thèmes préférés des apprenants ne sont pas toujours compatibles avec le cadre institutionnel (les programmes). La communication à distance est également motivante au sens où elle donne l'occasion aux apprenants de rencontrer des nouveaux partenaires et de se confronter à des points de vue nouveaux. De plus, le fait de communiquer à distance permet de prendre du recul sur le débat : on accepte sans doute plus facilement le débat contradictoire sans crainte de perdre la face ; mais d'un autre côté, la distance réduit la pression interactive et rend les débats plus difficiles à contrôler.

3.3.3.4. *Technologies*

Si les technologies de la communication ont ouvert de larges horizons de recherche sur l'apprentissage collaboratif, ces outils nécessitent un temps d'adaptation, qu'il faut organiser et préparer. Cette préparation peut prendre des proportions non négligeables, voire dépasser le temps alloué aux activités productives. L'idéal est de concevoir cet entraînement en collaboration avec les enseignants (ce que nous avons fait) pour faire en sorte que cela ne soit pas du temps perdu. L'apprentissage du modèle des graphes d'arguments a pu se faire ainsi, dans ce contexte, dans un cadre pédagogique classique, même sans l'outil informatique.

3.4. Conclusion

Nous avons souhaité mettre en évidence la complexité de mise en œuvre et d'analyse de situations d'apprentissage collaboratif à travers une expérience menée dans un projet européen. Les outils développés, la méthodologie de conception et d'analyse des activités ont montré, d'une part, combien, dans l'étude des mécanismes d'apprentissage collaboratifs, situation, processus interactifs et connaissances sont très étroitement liés et, d'autre part, que le succès de la conception d'une activité collaborative repose moins sur des principes que sur des équilibres délicats à trouver entre facteurs souvent antagonistes.

Certes, la complexité des situations et l'effort de conception que demande la mise en place d'une situation d'apprentissage collaboratif par le biais d'interactions épistémiques médiatisées rendent difficile l'élaboration d'un véritable *modèle* générique transposable dans une multiplicité de situations. Pour autant, au fil de notre programme de recherche, nous avons acquis une certaine expérience en la matière et, heureusement, tout n'est pas à réinventer à chaque fois. L'activité des élèves s'organise selon un schéma de tâches désormais stable, la définition de chaque tâche suit une analyse des situations, certes complexes, mais dont les paramètres sont de mieux en mieux connus. Enfin, notre méthode d'analyse des interactions (Rainbow) se situe à un niveau de granularité suffisamment large pour que son adaptation aux formes d'interaction et aux outils de communication se fasse sans gros efforts.

En définitive, si cette expérience devait tenir lieu de modèle (ou d'exemple à suivre), celui-ci résiderait sans doute plus dans la démarche et dans la méthode adoptée que dans la proposition d'une vision théorique du fonctionnement de ces phénomènes complexes que sont les apprentissages collaboratifs. Quand bien même serions-nous capables de formuler un modèle, avec ses limites et ses imperfections, son application dans des situations concrètes d'apprentissage ne pourrait faire l'impasse sur un travail de réflexion sur la nature même des activités épistémiques que l'on souhaite proposer aux apprenants et des outils technologiques qu'on leur soumet. Cette tâche pour le chercheur est inhérente à la question de la réutilisabilité des modèles.

3.5. Bibliographie

[BAK 97] BAKER M., LUND K., « Promoting reflective interactions in a computer-supported collaborative learning environment », *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 13, p. 175-193, 1997.

- [BAK 01] BAKER M., DE VRIES E., LUND K., QUIGNARD M., « Interactions épistémiques médiatisées par ordinateur pour l'apprentissage des sciences : bilan de recherches », *Sciences et Techniques Educatives*, vol. 8, n° 1-2, 2001.
- [BAK 02] BAKER M., BRIXHE D., QUIGNARD M., « La coélaboration des notions scientifiques dans les dialogues entre apprenants : le cas des interactions médiatisées par ordinateur », dans Trognon A., Bernicot J. (dir.), *Pragmatique et Cognition*, p. 109-138, Presses Universitaires de Nancy, 2002.
- [BAK 03] BAKER M., QUIGNARD M., LUND K., SEJOURNE A., « Computer-supported collaborative learning in the space of debate », dans Wasson B., Ludvigsen S., Hoppe U. (dir.), *Designing for Change in Networked Learning Environments : Proceedings of the International Conference on Computer Support for Collaborative Learning 2003*, p. 11-20, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003.
- [BAK 04] BAKER M., Recherches sur l'élaboration de connaissances dans le dialogue, Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Psychologie, Université Nancy II, octobre 2004, [en ligne] : <http://www.vjf.cnrs.fr/umr8606/FichExt/mbaker/>.
- [BRO 85] BRONCKART J.-P., BAIN D., SCHNEUWLY B., DAVAUD C., PASQUIER A., *Le fonctionnement des discours. Un modèle psychologique et une méthode d'analyse*, Delachaux et Niestlé, Lausanne, 1985.
- [BRO 89] BROWN J.S., COLLINS A., DUGUID S., « Situated cognition and the culture of learning », *Educational Researcher*, vol. 18, n° 1, p. 32-42, 1989.
- [CLA 91] CLARK H.H., BRENNAN S., « Grounding in communication », dans Resnick L.B., Levine J.M., Teasley S.D. (dir.) *Perspectives on Socially Shared Cognition*, American Psychological Association, Washington D.C., p. 127-149, 1991.
- [DEV 02] DE VRIES E., LUND K., BAKER M., « Computer-mediated epistemic dialogue : Explanation and argumentation as vehicles for understanding scientific notions », *Journal of the Learning Sciences*, vol. 11, n° 1, p. 63-103, 2002.
- [DIL 96] DILLENBOURG P., BAKER M.J., BLAYE A., O'MALLEY C., « The evolution of research on collaborative learning », dans Reimann P., Spada H. (dir.), *Learning in Humans and Machines : Towards an Interdisciplinary Learning Science*, p. 189-211, Pergamon, Oxford, 1996.
- [DUV 95] DUVAL R., *Sémiosis et pensée humaine. Registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*, Peter Lang, Berne, 1995.
- [GOL 96] GOLDER C., *Le développement des discours argumentatifs*, Delachaux et Niestlé, Lausanne, 1996.
- [GRO 97] GROSSEN M., LIENGME BESSIRE M.-J., PERRET-CLERMONT A.-N., « Construction de l'interaction et dynamiques socio-cognitives », dans Grossen M., Py B. (dir.), *Pratiques sociales et médiations symboliques*, Peter Lang, Bern, 1997.
- [NON 96] NONNON E., « Activités argumentatives et élaboration de connaissances nouvelles : le dialogue comme espace d'exploration », *Langue Française*, vol. 112, p. 67-87, 1996.

- [OHL96] OHLSSON S., « Learning to do and learning to understand : A lesson and a challenge for cognitive modeling », dans Reimann P., Spada H. (dir.), *Learning in Humans and Machines : Towards an Interdisciplinary Learning Science*, p. 37-62, Pergamon, Oxford, 1996.
- [QUI 99] QUIGNARD M., BAKER M.J., « Favouring modellable computer-mediated argumentative dialogue in collaborative problem-solving situations », *Actes de l'International Conference on Artificial Intelligence and Education*, p. 129-136, Le Mans, juillet 1999.
- [QUI 00] QUIGNARD M., Modélisation cognitive de l'argumentation dialoguée. Etudes de dialogues d'élèves en résolution de problème de sciences physiques, Thèse de doctorat de sciences cognitives, Université Joseph Fourier, Grenoble, 2000.
- [QUI 02] QUIGNARD M., « A Collaborative Model of Argumentation in Dyadic Problem-Solving Interactions », dans van Eemeren F.H., Blair J.A., Willard C.A., Snoeck Henkemans A.F. (dir.), *Proceedings of the Fifth International Conference of the International Society for the Study of Argumentation (ISSA'02)*, p. 867-873, Amsterdam, 25-28 juin 2002.
- [QUI 03] QUIGNARD M., BAKER M., LUND K., SEJOURNE A., « Conception d'une situation d'apprentissage médiatisée par ordinateur pour le développement de la compréhension de l'espace du débat », dans Desmoulins C., Marquet P., Bouhineau D. (dir.), *Actes de la conférence EIAH 2003*, p. 355-366, INRP-ATIEF, Paris, 2003, disponible sur le Web : <http://archiveseiah.univ-lemans.fr/EIAH2003/>
- [RAB 95] RABARDEL P., *Les hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains*, Armand Colin, Paris, 1995.
- [ROM 79] ROMMETVEIT R., « On the architecture of intersubjectivity », dans R Rommetveit., Blakar R.M. (dir.), *Studies of language, thought, and verbal communication*, p. 93-108, Academic Press, Londres, 1979.
- [SCA] Site du projet européen SCALE (Internet-based intelligent tool to Support Collaborative Argumentation-based LEarning in secondary schools) : <http://scale.emse.fr> (consulté en janvier 2007).
- [SUT 95] SUTHERS D., WEINER A., « Groupware for developing critical discussion skills », *Proceedings of Computer Supported Cooperative Learning*, p. 341-348, Lawrence Erlbaum, Mahwah NJ, 1995.
- [SUT 01] SUTHERS D., HUNDHAUSEN C., « Learning by Constructing Collaborative Representations : An Empirical Comparison of Three Alternatives », *Proceedings of the First European Conference on Computer-Supported Collaborative Learning*, p. 577-584, Universiteit Maastricht Press, 2001.
- [VYG 34] VYGOTSKI L.S., *Pensée et langage*, Editions sociales, Paris, 1985 (deuxième édition).

Chapitre 4

EIAH partenaires des acteurs de la situation d'apprentissage

4.1. Introduction

L'utilisation de l'ordinateur en apprentissage, et des TICE maintenant, a parfois suscité une certaine illusion selon laquelle il suffirait de mettre à leur disposition des ordinateurs ou des réseaux pour que les personnes puissent subitement apprendre seules. Cela met bien en avant deux mythes : d'un côté, celui d'une technologie toute-puissante qui répond à l'ensemble des difficultés et des attentes de l'apprenant du fait de ses capacités d'adaptation surpuissantes, et, de l'autre côté, celui de l'apprenant capable d'être totalement autonome. Il nous semble qu'il faut raison garder et avoir une démarche pragmatique. Pour notre part, nous souhaitons accroître les capacités des machines à aider les apprenants dans leurs activités, tout en prenant en compte leurs limites. Ce point de vue nous a amenés à proposer des solutions humaines aux déficiences de la machine en faisant appel aux enseignants et, par conséquent, à définir des problématiques informatiques qui s'intéressent plus particulièrement au partenariat entre la machine et les *acteurs* apprenants et enseignants.

L'objectif de ce chapitre est de proposer une vision des EIAH (*environnements informatiques pour l'apprentissage humain*) où la machine est partenaire de ces acteurs dans une relation triangulaire apprenant-machine-enseignant. Nous montrons tout d'abord en quoi une étude de ce partenariat dans un contexte d'apprentissage est pertinente (voir section 4.2). La réalisation de systèmes partenaires des acteurs

apprenants et enseignants est une tâche difficile : c'est pourquoi nous ne prétendons pas être arrivés à concevoir des systèmes qui coopèrent à tous les instants avec ces deux types d'acteurs. Néanmoins, pour certaines phases d'apprentissage et certaines phases du travail des enseignants, nous pensons avoir réussi à mettre en œuvre cette notion de partenariat. Nous présentons donc les travaux que nous avons effectués sur ce thème dans deux contextes différents que sont la robotique pédagogique (voir section 4.3) et le suivi de compétences (voir section 4.4). De ces recherches, nous tirons des propositions génériques en termes de partenariat apprenant-machine-enseignant ne dépendant pas d'un domaine d'apprentissage spécifique (voir section 4.5).

4.2. Partenariat personne-machine dans un contexte d'apprentissage

Les variations interindividuelles dans l'apprentissage posent de nombreux problèmes dans les situations d'apprentissage. Ce qui peut être facile pour un apprenant peut nécessiter beaucoup de soutien pour un autre. Dans l'approche psychoculturelle de l'apprentissage de Bruner, les interventions de l'enseignant s'intègrent la plupart du temps dans un processus d'étayage qui vise à rendre l'enfant ou le novice capable de résoudre un problème, de mener à bien une tâche ou d'atteindre un but [BRU 76]. L'adulte restreint la complexité de la tâche en permettant à l'enfant de résoudre des problèmes qu'il ne peut traiter tout seul [BRU 83]. La théorie de l'apprentissage social de Vygotski aborde cette question de la difficulté à résoudre des problèmes seul, sous l'angle de la collaboration entre un enfant et un adulte dans le cadre scolaire. La collaboration est alors vue comme un moyen pour l'élève de faire plus que s'il était seul, en supposant que « ce que l'enfant sait faire aujourd'hui en collaboration, il saura le faire tout seul demain » [VYG 34]. Nous avons parlé ici de l'apprentissage des enfants, mais il en est de même pour l'apprentissage chez les adultes [LIN 01, PAS 94].

Face au nombre important d'apprenants à former, à la multiplicité et à l'hétérogénéité des publics, la mise en œuvre de ces approches sociales est difficile. La volonté des enseignants/formateurs¹⁴ d'intervenir individuellement auprès des apprenants au meilleur moment pédagogique peut être entravée par des difficultés diverses comme les phénomènes de sursollicitation de l'enseignant en cours de session (voir section 4.3) ou la difficulté du suivi *a posteriori* et à plus long terme des compétences et connaissances des apprenants. Pourtant nécessaires à l'individualisation de l'apprentissage, ces tâches de suivi ne sont pas traitées

14. Pour simplifier la lecture, nous utiliserons dans la suite du texte uniquement le terme d'enseignant pour désigner de manière générique un enseignant ou un formateur.

prioritairement par les enseignants, par manque de temps et en raison du fort engagement qu'elles demandent.

Une manière de pallier les difficultés rencontrées par les enseignants pourrait se trouver dans la réalisation de dispositifs informatiques d'apprentissage capables de prendre en charge une grande part de l'enseignement. Or, comme nous l'examinons dans la section suivante, l'état des recherches en ce domaine, plus particulièrement du côté des systèmes tutoriels intelligents (STI), ne permet pas d'y parvenir pour le moment. Ces divers problèmes et constats nous amènent à mettre en avant l'intérêt de travailler en recherche sur la piste d'un partenariat apprenant-machine-enseignant (voir paragraphe 4.2.2).

4.2.1. Difficultés de conception de dispositifs informatiques pour l'enseignement

Une première difficulté dans la conception de STI se situe dans la modélisation de l'expertise pédagogique [BRU 98]. Il n'existe pas à ce jour d'expertise pédagogique cohérente complète et il semble illusoire d'en avoir une un jour prochain [BAL 93]. Par ailleurs, la pluralité des modalités d'apprentissage des élèves [GEO 83] fait qu'il est difficile de réaliser des STI qui puissent prendre en charge une formation complète et s'adapter aux différentes modalités d'apprentissage. Enfin, quand le développement des STI va jusqu'à un stade opérationnel, les pratiques enseignantes sont difficilement compatibles avec la fine granularité de la modélisation proposée [BAK 00].

Une deuxième difficulté concerne la construction, en machine, d'un modèle des connaissances de l'apprenant que le STI puisse exploiter pour s'adapter à lui et apporter le soutien nécessaire. Des modèles par recouvrement, modèles des erreurs, modèles différentiel du passé [WEN 87] jusqu'aux travaux actuels sur l'utilisation des réseaux bayésiens [VAN 97] ou sur les modèles visualisables par les apprenants [KAY 00], aucun ne s'est imposé. Le choix, parmi toutes ces formes et techniques de modélisation, est difficile et repose généralement sur des considérations *ad hoc*. De plus, établir un diagnostic des besoins des apprenants semble également difficile : « l'interprétation en temps réel des données saisies à l'interface du système, la difficulté de distinguer entre ce qui relève du bruit (c'est-à-dire ce qui n'est pas pertinent pour la tâche concernée, dans le sens où il n'est pas lié à une conception sur la notion) et de l'information pertinente font que la réalisation d'un bon diagnostic et par conséquent la détermination d'un modèle de l'élève est très difficile » [TAH 93].

Dans le cas où les apprentissages se fondent sur une pédagogie de l'action utilisant des supports pédagogiques externes à l'ordinateur (c'est-à-dire des microrobots), une troisième difficulté pour concevoir des STI porte sur la représentation des artefacts manipulés [LER 95]. Ce contexte est restrictif, mais il concerne plus particulièrement un des domaines d'application privilégiés de nos travaux : la robotique pédagogique. Si l'on souhaite développer des aides à l'apprenant dans la réalisation de tâches portant sur un *artefact* externe, le système doit disposer d'une représentation fiable de cet artefact. Pour cela, il peut s'appuyer sur un modèle de référence de l'artefact utilisé qu'il confronte avec les informations fournies par l'apprenant. En l'absence d'un modèle de référence, il ne peut se fier qu'aux informations transmises par les apprenants. Dans ce cas, le problème de la fiabilité des informations données se pose. En effet, les apprenants peuvent très bien donner une description de l'artefact en complète contradiction avec la réalité sans que le système puisse vérifier la véracité des informations. Les possibilités d'assistance automatique se trouvent alors sérieusement limitées.

4.2.2. Entre sursollicitation du formateur et machines omnipotentes

De ces études, il nous paraît clair que, dans notre objectif d'aider l'enseignant à adapter ses interventions à la fois quantitativement et qualitativement aux besoins des apprenants, nous ne devons pas orienter la conception des *dispositifs* informatiques d'apprentissage vers le remplacement de l'enseignant. Nous ne devons pas non plus aller jusqu'à placer l'enseignant au centre des dispositifs conçus principalement pour les apprenants. Par contre, la machine doit avoir pour rôle de faciliter la communication entre les apprenants et l'enseignant, de médiatiser au mieux leurs rapports. D'autre part, elle doit fournir la meilleure aide possible aux apprenants pour faciliter leur travail et, à l'enseignant, pour exercer son expertise car c'est lui qui connaît le mieux les apprenants. La machine ne doit en rien se substituer au jugement humain. Par exemple, il nous paraît important de donner les moyens aux enseignants de réintégrer les tâches de suivi des apprenants au cœur de l'enseignement pour mettre en œuvre les approches citées au début de cette partie, visant à favoriser l'apprentissage en tenant compte des variations interindividuelles.

En conclusion nous pouvons dire que nous acceptons « le principe que le logiciel n'est qu'un instrument parmi d'autres, qu'il ne constitue qu'une partie de l'environnement éducatif, que ses effets sont nécessairement restreints et qu'il doit, dans la plupart des cas, être complété ou accompagné par une interaction humaine » [LIN 01]. C'est pourquoi il nous semble intéressant d'étudier le *partenariat personne-machine* dans un contexte d'apprentissage et plus particulièrement dans la relation triangulaire apprenant-machine-enseignant, (désignée ensuite par partenariat

A-M-E). Examinons maintenant des exemples de travaux effectués sur ce thème : les premiers dans un contexte de robotique pédagogique (voir section 4.3) et les seconds dans un contexte de suivi de compétences (voir section 4.4).

4.3. Partenariat A-M-E dans une formation en robotique pédagogique

La robotique pédagogique, telle que nous la pratiquons au LIUM [LER 95, VIV 00], a pour objectif de permettre une alphabétisation à l'informatique et à la technologie. Cette alphabétisation s'adresse tant à la formation initiale dans le domaine de la technologie (c'est-à-dire des élèves de collège) qu'à la reconversion d'adultes susceptibles de travailler dans des milieux robotisés. Notre approche pédagogique est fondée sur la *pédagogie de projet*, elle consiste à amener les apprenants (par groupes de deux ou trois) à concevoir et construire des microrobots modulaires (voir figure 4.1). L'ordinateur est utilisé dans ces situations comme support à la pédagogie de projet mise en œuvre, en permettant notamment de piloter les microrobots et, au travers du pilotage et de supports de cours interactifs, d'amener les apprenants à comprendre le fonctionnement des microrobots et les notions technologiques de base sous-jacentes.

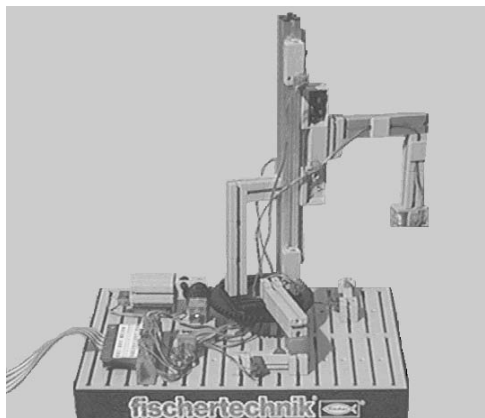


Figure 4.1. Exemple d'un microrobot

Deux types de difficultés ont été à l'origine de nos travaux en robotique pédagogique sur le partenariat apprenant-machine-enseignant : la programmation des microrobots et les phénomènes de sursollicitation du formateur. Les formations en entreprise avaient pour cadre des stages de remise à niveau d'ouvriers peu qualifiés qui incluaient la conception, la construction et le pilotage de microrobots. Un des buts était d'amener les stagiaires à réaliser des microrobots selon un cahier

des charges donné et à découvrir l'utilisation d'un ordinateur, mais il ne s'agissait en aucun cas de reconvertir les ouvriers en programmeurs. Nous avons constaté dans ce contexte les difficultés des stagiaires à utiliser un environnement de programmation et le langage de programmation associé (LOGO à l'époque) pour programmer leurs robots [LER 95]. Il fallait donc trouver un moyen d'alléger leur tâche de programmation, d'où l'idée de la mise en place d'un partenariat avec le système informatique pour la génération des programmes et le pilotage des microrobots.

L'identification des phénomènes de sursollicitation du formateur est également issue de l'observation des stages de formation en entreprise [LER 95]. Ces formations se déroulaient en salle avec un formateur et plusieurs groupes d'apprenants, chaque groupe travaillant sur des activités de projets avec un ordinateur et du matériel de microrobotique. Les observations ont permis de montrer que, dans un tel contexte, la charge d'activité du formateur, répartie entre les divers groupes, est parfois si forte, qu'intervenir au moment pédagogiquement le plus juste devient impossible. Le formateur est sursollicité parce qu'il doit effectuer des tâches diverses telles que l'enseignement des notions de technologie et de programmation pour piloter les microrobots, le débogage des programmes, la gestion des activités pédagogiques et de ses interventions pour chaque groupe. Cette sursollicitation n'est pas constante. Elle dépend du nombre et de l'homogénéité des groupes de stagiaires ainsi que de leurs aptitudes. Cette sursollicitation entrave le soutien individuel des apprenants et peut même mettre en péril économiquement des formations professionnelles. En effet, dans le cas des formations, il était impossible à un formateur de travailler avec plus de trois groupes de trois stagiaires, alors que le seuil de rentabilité est de douze à quinze stagiaires pour ce type de stage.

Pour pallier les deux types de difficultés énoncés, nous nous sommes donc intéressés à la manière dont on pouvait instaurer un partenariat apprenant-machine-enseignant. Ces travaux ont été effectués dans le cadre de la conception de l'application Roboteach [LER 95]. Roboteach est un environnement support d'activités de projet en robotique pédagogique qui permet l'apprentissage de notions de base pour assurer le pilotage de microrobots modulaires pilotés par ordinateur. Il est constitué notamment :

- de livres électroniques de cours ;
- de livres d'exercices interactifs ;
- d'un environnement de description qui permet de décrire physiquement n'importe quel type de microrobot modulaire Fischer-Technik[©] et qui assure la génération automatique de programmes de pilotage associés ;

– d'un environnement de programmation/pilotage du microrobot par manipulation directe à partir des programmes générés par l'environnement de description.

Roboteach met aussi à la disposition de l'enseignant des outils pour planifier et suivre les activités. Voyons dans la suite de cette section comment le partenariat apprenant-machine-enseignant a été mis en œuvre dans le cadre de situations d'apprentissage de projet intégrant l'utilisation de Roboteach.

4.3.1. Partenariat A-M-E en situation de projet en robotique pédagogique

Dans le cadre d'une activité de projet en robotique pédagogique, le but d'un apprenant ou d'un groupe d'apprenants est de concevoir, de construire et de faire fonctionner un microrobot exécutant les tâches spécifiées dans un cahier des charges. Du point de vue du système informatique (Roboteach), un projet s'articule autour de deux tâches distinctes : la description du microrobot, d'une part, et la programmation et le pilotage, d'autre part. Voyons en détail la modélisation du partenariat qui émerge des *interactions* multiples entre des apprenants ou un groupe d'apprenants¹⁵, le système et l'enseignant, en situation de projet (voir figure 4.2).

L'apprenant(s) connaît, du point de vue mécanique, le microrobot qu'il a construit et les actions qu'il veut lui faire faire. Par contre, il ne sait pas créer les programmes qui lui permettraient de piloter le microrobot. Le système a des connaissances sur la génération des programmes, sur le diagnostic de pannes mécaniques et électriques des microrobots et sur le processus de description. Par conséquent, l'apprenant(s) et le système peuvent coopérer pour aboutir au pilotage correct du microrobot conçu.

La coopération se traduit par la séparation des tâches à effectuer. L'apprenant(s) a pour tâche de décrire le microrobot au système, grâce à l'environnement de description, et d'élaborer les programmes complexes¹⁶ dans l'environnement de programmation/pilotage, à partir des programmes de base¹⁷ et des programmes

15. Pour faciliter la lecture, nous emploierons le terme d'apprenant(s) pour désigner un groupe d'apprenants (qui correspond à la majorité des cas de figure dans nos formations en robotique pédagogique) ou un apprenant seul. Quand nous utiliserons apprenant(s), nous conjuguerons le verbe qui suivra à la 3^e personne du singulier pour alléger la rédaction.

16. Un programme complexe est composé d'une combinaison de programmes élémentaires et éventuellement de structures algorithmiques d'itération et de répétition.

17. Un programme de base permet d'activer ou d'arrêter une sortie (c'est-à-dire un moteur) ou de lire l'état d'une entrée (c'est-à-dire un interrupteur de fin de course, une cellule photosensible).

élémentaires¹⁸ générés par l'environnement de description. Quant au système, d'une part, il génère les programmes de base et les programmes élémentaires à partir de la description donnée par l'apprenant(s) dans l'environnement de description et, d'autre part, il assiste l'apprenant(s) lors de cette activité de description.

L'assistance dans la phase de description consiste : 1) à apporter des conseils pour déterminer les pannes mécaniques ou électriques du micro-robot, 2) à aider l'apprenant(s) à retrouver les erreurs dans la description (c'est-à-dire un mauvais nom attribué à un moteur) ou 3) à le guider dans sa tâche de description. L'évolution du degré d'assistance et la modulation du contenu de l'assistance sont paramétrées par l'enseignant lors de la planification des activités (voir paragraphe 4.3.2). Dans tous les cas de figure, lorsqu'il ne sait plus répondre aux sollicitations de l'apprenant(s), le système fait appel à l'enseignant pour débloquer la situation. Ce dernier a alors à sa disposition un bilan sur le problème en cours et les conseils apportés par le système. Nous sommes bien ici dans le cadre d'un partenariat machine-enseignant.

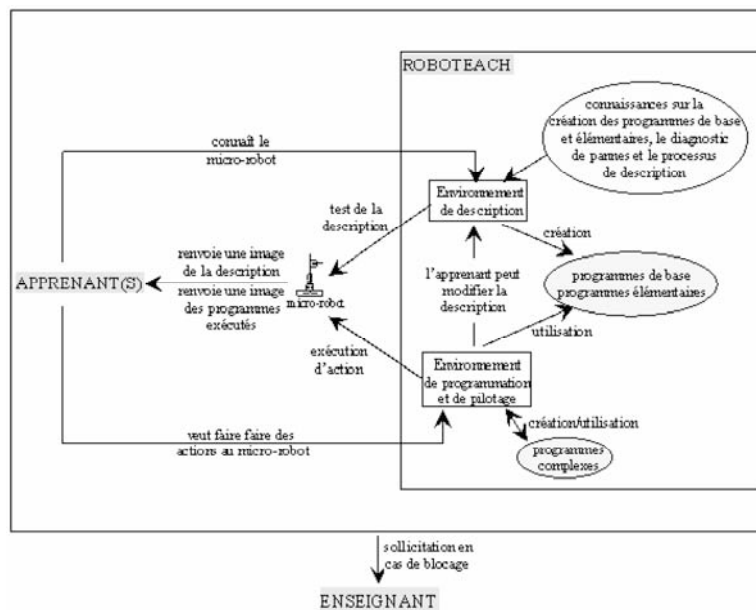


Figure 4.2. Modélisation du partenariat apprenant-machine-enseignant en situation de projet

18. Un programme élémentaire assure l'exécution, au niveau du micro-robot, d'un mouvement élémentaire (mouvement permettant d'aller d'un interrupteur à un autre, les deux interrupteurs étant associés à un même axe) ou d'une action élémentaire (c'est-à-dire l'activation d'un aimant, l'ouverture d'une pince).

Le microrobot manipulé est le cœur du dispositif intervenant d'une façon indirecte mais importante dans le partenariat apprenant-machine-enseignant. En effet, le test d'un élément de la description ou d'un programme se traduit par l'exécution d'une action au niveau du microrobot. Si le résultat de l'action est positif (l'effet obtenu correspond à l'effet attendu), la partie de la description ou le programme testé est validé. Dans le cas inverse, la description ou le programme est remis en cause, impliquant des modifications et une éventuelle assistance de la part du système. Le microrobot, par ses mouvements, renvoie une image de la description ou des programmes créés. Il agit en tant que révélateur des dysfonctionnements de la description, de la programmation et du pilotage. Si un dysfonctionnement se révèle pendant une activité de programmation/pilotage, l'apprenant(s) peut revenir sur la description, pour corriger les erreurs ou modifier la description par rapport à des changements opérés sur le microrobot. C'est la raison pour laquelle il est possible de modifier la description à partir de l'environnement de programmation/pilotage. Toutes les modifications effectuées sur les programmes générés par l'environnement de description sont automatiquement répercutées dans l'environnement de programmation/pilotage. Les effets de dysfonctionnements du microrobot peuvent aussi être utiles à l'enseignant, pour mieux comprendre la situation de blocage quand il vient assister l'apprenant(s).

L'exemple présenté dans cette section montre bien la mise en œuvre d'un partenariat apprenant-machine-enseignant dans le cadre de projets en robotique pédagogique avec le logiciel Roboteach. Une coopération s'instaure entre le système et l'apprenant(s) pour programmer et piloter le microrobot, l'enseignant venant interagir avec l'apprenant(s) et la machine à l'appel de l'un ou de l'autre pour régler des problèmes non résolus dans le cadre du partenariat apprenant-machine. Un partenariat se met alors en place entre enseignant, machine et apprenant(s) pour trouver la solution au problème posé.

4.3.2. Apprendre en faisant varier la coopération en robotique pédagogique

Dans le contexte de projet en robotique pédagogique, l'apprenant(s) débutant, qui ne connaît rien aux microrobots, a normalement besoin d'une assistance forte, contrairement à celui qui a manipulé plusieurs fois le matériel et a ainsi été confronté à diverses pannes et difficultés (mécaniques, électriques, de description). Par ailleurs, un des buts pédagogiques de nos formations est d'amener les apprenants à acquérir des savoirs et savoir-faire qui leur permettent de résoudre des problèmes technologiques, notamment lorsque des pannes surviennent. Dans ces deux cas de figure, il nous paraît pertinent de faire évoluer l'assistance non seulement pour l'adapter au niveau de l'apprenant(s), mais aussi dans l'optique de faire progresser celui-ci. Pour cela, on peut imaginer diminuer l'assistance au fil des

activités jusqu'à la réduire au strict minimum, voire éventuellement la faire disparaître, si l'apprenant(s) a gagné une autonomie certaine face à la résolution de problèmes technologiques liés au matériel utilisé.

Nous proposons deux manières de faire évoluer l'assistance : 1) en agissant sur le degré d'intervention de la machine et 2) en modifiant le contenu de l'assistance.

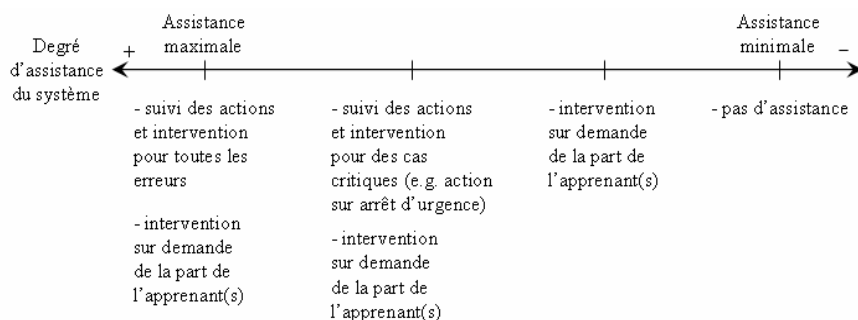


Figure 4.3. Echelle des degrés d'assistance lors de la description [LER 95]

Au niveau du degré d'intervention de la machine, nous avons identifié deux principes d'intervention : à la demande de l'apprenant(s) et selon le suivi du travail de l'apprenant(s) par la machine. Ce second principe repose sur le fait que, en fonction du suivi des actions effectuées par l'apprenant(s) à l'interface de la machine ou sur l'artefact contrôlé par la machine, le système peut décider d'intervenir selon certains critères définis : c'est-à-dire erreurs de manipulation observées sur l'artefact, dans le logiciel, erreur de programmation, etc. Le degré d'intervention peut être fonction du niveau de l'erreur repérée ; par exemple dans le contexte de robotique pédagogique, l'activation de l'arrêt d'urgence logiciel peut nécessiter une intervention rapide de la machine, voire de l'enseignant. Dans le cadre de l'assistance à la description de microrobots présentée à la section précédente, nous avons identifié quatre degrés d'intervention du système sur l'échelle de graduation de l'assistance (voir figure 4.3).

Au niveau du contenu de l'assistance, le type de conseils donnés au cours de la session peut être modifié. Par exemple dans le cas de la description d'un microrobot, les conseils portent sur l'utilisation de l'environnement de description, sur la description des microrobots et sur le diagnostic d'une panne mécanique ou électrique du microrobot. Il suffit d'intervenir sur les connaissances présentes dans la base de connaissances d'assistance pour agir sur le type de conseils apportés et la part d'autonomie laissée à l'apprenant pour la résolution de ses problèmes.

La variation de l'assistance (degré d'intervention et contenu) peut-être envisagée par adaptation du système au profil et au comportement de l'apprenant(s) au cours de la séance ou bien par paramétrage de l'assistance par l'enseignant, par la machine ou par les deux, avant la session. Suite aux limites des dispositifs informatiques (voir paragraphe 4.2.1), nous avons choisi le paramétrage.

4.3.3. La question du suivi des apprenants avec le logiciel Roboteach

Avec le logiciel Roboteach, la présentation des activités à l'apprenant(s) est gérée par la machine à partir d'une planification réalisée par l'enseignant. La machine sollicite l'intervention de l'enseignant à deux occasions : lors des rendez-vous programmés entre l'enseignant et l'apprenant(s) et lorsqu'elle ne sait plus apporter de conseils dans les phases d'assistance (voir section précédente). Dans ce dernier cas, il est fait appel à l'enseignant pour débloquer la situation.

Si l'enseignant constate, en cours de séance, des difficultés importantes au niveau de l'apprenant(s) nécessitant une remise en cause de la session, il peut interrompre l'activité et apporter les changements qu'il souhaite grâce à un environnement formateur/auteur. L'opération dure peu de temps et l'apprenant(s) se retrouve dans une situation adaptée à ses compétences. La création de sessions, suivie d'éventuelles adaptations en cours de séance, permet une planification dynamique des activités de l'apprenant(s) par l'enseignant. Ce dernier anticipe dans un premier temps le déroulement d'une session, puis la rectifie au cours de la séance en fonction des faits observés et des faits issus de l'étude de la trace des activités (voir ci-après).

Pour aider l'enseignant dans le suivi des activités, nous avons mis en place un système de visualisation hypertextuelle de la trace des activités de l'apprenant(s). La machine enregistre toutes les actions effectuées par l'apprenant(s), ses performances ainsi que des informations supplémentaires telles que le temps, les erreurs, etc. La représentation de la trace d'une séance sous une forme hypertextuelle est construite en fonction des types d'événements contenus dans le fichier de traces [LER 95]. L'ossature de l'hypertexte est constituée d'une première page écran de base qui rassemble les informations générales sur la séance et permet l'accès à des pages écran spécifiques aux activités ou aux actions effectuées par l'apprenant(s). Cette représentation permet à l'enseignant de regarder de façon macroscopique ou microscopique le travail de l'apprenant(s) sur une séance en accédant rapidement aux informations qu'il juge pertinentes. C'est un outil de réflexion pour l'enseignant. A partir de ce qu'il connaît des apprenants, de son analyse des séances passées et des traces reformulées sous forme d'hypertexte, l'enseignant décide des orientations pédagogiques et évalue le travail effectué.

Le problème de ce type de visualisation se situe au niveau du volume important d'informations recueillies, aucun filtre n'étant mis en place. L'hypertexte est complet, mais complexe à exploiter. C'est pourquoi nous avons engagé une étude sur les possibilités d'analyser cette trace afin de donner à l'enseignant un extrait des informations pertinentes d'un point de vue *pédagogique* relativement à une session d'apprentissage [DES 97]. Il est ressorti de cette étude qu'il était possible de repérer les comportements critiques de l'apprenant(s) au cours de son interaction avec la machine. Par la suite, cette étude a servi de base aux recherches menées sur le suivi synchrone d'activités à distance [DES 03]. Le partenariat machine-enseignant se trouve enrichi par le fait que la machine alerte l'enseignant en cas de comportements critiques repérés, ce dernier ayant à disposition des informations sur l'activité de l'apprenant(s) issues de la trace enregistrée par la machine.

4.3.4. Bilan sur l'application Roboteach

L'application Roboteach peut être présentée comme un système partenaire des apprenants et des enseignants, pour des activités de projet en robotique pédagogique, qui assure :

- une résolution coopérative de problème avec partage des tâches entre la machine et l'apprenant(s) pour la création des programmes de pilotage ;
- une assistance à l'apprenant(s) pour la résolution de problèmes dans le cas de dysfonctionnements du microrobot ;
- un partenariat avec l'enseignant pour assurer le suivi des activités de l'apprenant(s) et apporter des solutions à des problèmes non résolus dans le partenariat apprenant-machine.

Ce logiciel a été réalisé selon une démarche itérative avec plusieurs expérimentations auprès de stagiaires de certificat d'aptitude professionnelle en électricité équipement industriel et d'ouvriers en entreprise. A l'issue de cycles itératifs (plus de 400 heures de mise à l'essai), nous avons industrialisé et diffusé l'application Roboteach[©] en l'adaptant pour l'enseignement des systèmes automatisés dans les collèges français [LER 02].

4.4. Partenariat A-M-E dans un contexte de suivi de compétences

Le suivi des connaissances et compétences des apprenants est une pratique très sensible en éducation, capitale pour permettre la personnalisation de l'apprentissage. C'est toutefois une tâche au potentiel sous-exploité, souvent négligée, car non prioritaire pour les enseignants. Cette tâche exige en effet beaucoup de temps et

d'engagement de la part de ces derniers pour des retombées certes très importantes, mais pas immédiates. Afin de rendre sa place au suivi de compétences des apprenants dans l'enseignement et de permettre aux enseignants de bénéficier de ses apports, nous suggérons de proposer des EIAH spécifiques s'adressant aux enseignants, visant à les aider dans cette tâche à la fois complexe et lourde. Celle-ci est potentiellement le lieu d'un *partenariat* riche entre EIAH et enseignants. Le suivi est en effet une activité pour laquelle l'enseignant peut bénéficier d'une assistance de la machine notamment grâce aux techniques d'intelligence artificielle, dont on a toutefois vu les limites (paragraphe 4.2.1), mais également pour laquelle l'expertise, l'expérience, le ressenti de l'enseignant sont inégalables. Il n'est ainsi ni possible ni souhaitable de chercher à prendre la place de l'enseignant pour le suivi des apprenants. Mais il peut être intéressant de lui proposer un partenariat avec la machine suivant différents modes de coopération selon les moments, allant de la délégation pour les tâches réputées simples mais fastidieuses, ou faisables par la machine seule, à la médiatisation et la médiation pour les tâches où l'acteur principal doit rester l'enseignant, la machine n'étant alors qu'un support, en passant par des tâches où les deux partenaires coopèrent activement.

Pour le suivi de compétences, nous proposons de distinguer clairement la phase de *diagnostic* des compétences de la phase d'*exploitation* du résultat de ce diagnostic. Les travaux que nous présentons dans cette section relèvent pour les premiers de la phase de diagnostic de compétences et pour les seconds de la phase d'exploitation du bilan résultant.

Dans le domaine des EIAH, le résultat du diagnostic de compétences est généralement assimilé au *modèle de l'apprenant* établi et/ou manipulé par le système informatique, alors que l'on parlera plus volontiers de *bilan* ou de *profil* dans l'enseignement. Nous préférons ce dernier terme de *profil* que nous définissons comme un ensemble d'informations concernant un apprenant ou un groupe d'apprenants, collectées ou déduites à l'issue d'activités pédagogiques, qu'elles soient informatisées ou non. Il s'agit bien ici de profils représentatifs des spécificités de chaque apprenant et non de profils-type caractérisant des regroupements de profils ressemblants. Les profils d'apprenant peuvent être de sources différentes : certains sont issus d'EIAH disposant d'un modèle de l'apprenant et l'externalisant [PAI 95], d'autres sont sous forme papier-crayon. Ils peuvent être établis à la demande de différents acteurs du processus d'apprentissage : enseignants, institutions, ou apprenants eux-mêmes. Les profils d'apprenants peuvent porter sur les connaissances de l'apprenant, ses compétences, ses conceptions ou encore son comportement. Enfin, ces informations peuvent être représentées sous diverses formes : textuelle, numérique ou graphique.

Dans cette section nous montrons comment ces profils d'apprenants donnent lieu, dans nos travaux, à un partenariat, d'une part, enseignant-machine pour la constitution des profils et, d'autre part, apprenant-machine-enseignant pour leur exploitation.

4.4.1. Partenariat E-M pour un diagnostic de compétences : le projet PEPITE

4.4.1.1 Le projet PEPITE : motivations et objectifs

Le projet PEPITE a pour objectif de modéliser les connaissances et compétences d'élèves de 15 ans (classes de troisième et de seconde de l'enseignement français) en algèbre élémentaire, en construisant leur profil [JEA 00]. La constitution de tels profils est un problème complexe si l'on souhaite obtenir des informations suffisamment riches sur l'apprenant, ne rendant pas seulement compte de son comportement pendant une session d'apprentissage, mais également des connaissances ou compétences qu'il a acquises). Par exemple, on ne souhaite pas seulement savoir que Jean-Philippe a tapé « 0 » dans la zone de réponse de la question « calculez l'expression $2x^2 + 5x - 3$ pour $x = -3$ », et qu'il a cliqué sur « faux » pour répondre à la question « l'égalité $3 + 5a = 8a$ est-elle vraie pour toutes les valeurs de a ? », mais également que « Jean-Philippe sait partiellement interpréter des expressions algébriques » (voir figure 4.4). Le système informatique doit en effet *interpréter les traces des interactions* entre l'apprenant et le système (c'est-à-dire les observables : productions de l'élève, mais aussi frappes du clavier, déplacements de la souris, clics, utilisation des menus et fonctionnalités du système, etc.) afin d'attribuer une signification aux comportements de l'apprenant en identifiant ses buts, stratégies et connaissances [BAL 94]. Interpréter le comportement de l'apprenant en termes de compétences ou de connaissances nécessite des connaissances liées à la situation d'apprentissage mise en œuvre dans l'EIAH, et des techniques informatiques sophistiquées, si l'on souhaite travailler à partir d'activités riches ne se résumant pas à des QCM, afin de permettre aux apprenants d'exprimer pleinement leurs connaissances. Ainsi, dans les systèmes existants, le suivi concerne plus facilement le comportement des apprenants que leurs connaissances.

Pour lever en partie les difficultés posées par la modélisation de l'apprenant, nous proposons dans cette recherche une approche originale pour le diagnostic. D'une part, l'origine de ce travail est une analyse didactique multidimensionnelle validée dont le résultat est un outil « papier-crayon » qui aboutit à la création du profil cognitif des élèves [GRU 95], processus que nous avons informatisé [JEA 00]. D'autre part, nous considérons le « logiciel élèves » permettant le recueil des observables comme faisant partie intégrante du diagnostic : de la qualité des

observables recueillis dépend en effet en partie la qualité du modèle de l'apprenant construit. Enfin, avec ce système, nous nous adressons aux enseignants comme utilisateurs finaux d'un logiciel et nous leur proposons non pas un système de diagnostic automatique, mais un système d'*assistance* au diagnostic, dont ils sont partenaires, pour la constitution du profil cognitif de leurs apprenants.

4.4.1.2. *Description des modules du système*

L'élaboration du profil de l'élève se fait en trois étapes auxquelles correspondent trois modules du système. Le premier module du système, PEPITEST, propose un test aux élèves et recueille les observables. La conception de ce logiciel a posé des problèmes de transfert d'environnement et d'exercices « papier-crayon » sur ordinateur, problèmes qui ne peuvent pas se résumer à une simple médiatisation. Le deuxième module, PEPIDIAG, analyse les réponses des élèves pour établir leur profil. Pour cela il tient compte à la fois de la diversité des questions (qu'elles soient fermées ou ouvertes) et de la diversité des réponses proposées par les élèves (qui contiennent aussi bien du langage naturel que des expressions algébriques). Pour chaque type de réponse que nous avons identifié, nous proposons une technique d'analyse adaptée. Le troisième module, PEPIPROFIL (voir figure 4.4), est consacré à la présentation des profils à l'enseignant ; c'est ce logiciel qui fait le lien entre le profil construit et l'utilisateur de ce profil : il doit permettre à l'enseignant de s'approprier les profils cognitifs en intégrant ces informations, à la fois riches et complexes, à l'image qu'il avait déjà de ses élèves.

4.4.1.3. *Le partenariat enseignant-machine dans le système*

Le partenariat entre le logiciel et l'enseignant est de différents types selon les modules du système : nous proposons d'abord une délégation partielle pour la phase de diagnostic, complexe et laborieuse. Les tâches de diagnostic qui incombaient à l'enseignant sont en effet effectuées par le système, puis vérifiées et complétées par l'enseignant s'il le souhaite. Ensuite, l'analyse transversale est effectuée par le système, car il s'agit d'une tâche purement calculatoire à laquelle l'enseignant ne participe pas. Enfin, nous proposons une médiatisation pour la dernière tâche, plus sensible, de « transmission » des profils à l'enseignant ; c'est là que les interactions entre l'enseignant et le système sont les plus riches. Pour favoriser l'appropriation par l'enseignant du profil proposé par le système et pour qu'il puisse l'utiliser pour personnaliser son enseignement, le logiciel offre différents modes de représentation et différents types d'implication de l'enseignant dans l'utilisation du logiciel (de la simple consultation du profil à la modification du diagnostic), selon l'expérience de l'utilisateur et selon la confiance qu'il accorde au système de diagnostic. Ainsi, l'outil proposé ne prétend pas être un système de diagnostic automatique, remplaçant l'enseignant dans sa tâche, mais au contraire un système d'assistance au

diagnostic, dont les propositions peuvent être complétées et même questionnées par l'enseignant (voir figure 4.4).

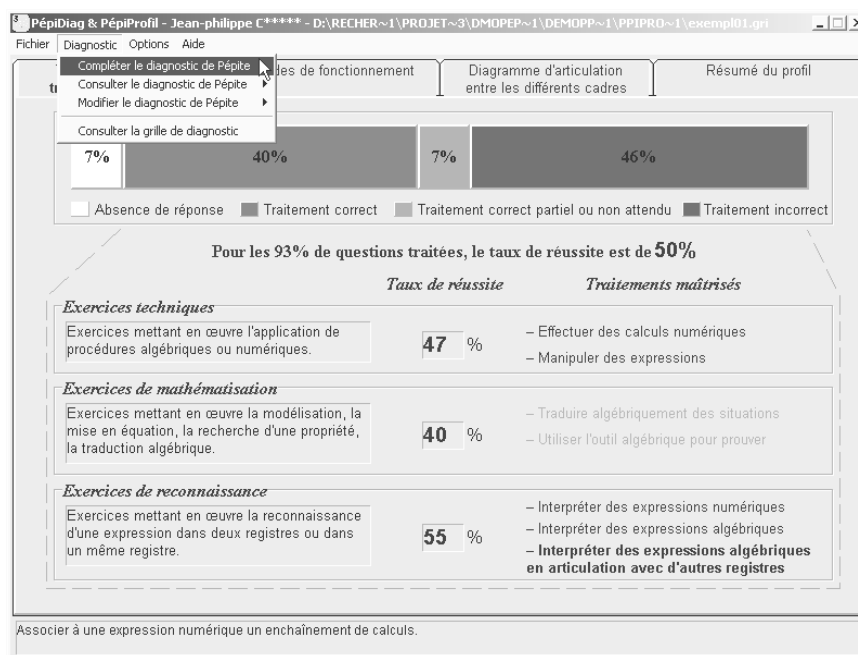


Figure 4.4. Exemple de profil de PEPITE : les taux de réussite et les traitements maîtrisés de Jean-Philippe, ainsi que les possibilités d'intervention de l'enseignant dans le diagnostic

4.4.1.4. Bilan concernant PEPITE

Les différents modules de PEPITE ont donné lieu à des évaluations pluridisciplinaires [NOG 04] dans le cadre d'une *conception différenciée* : la conception différenciée vise à faciliter les relations entre les différents interlocuteurs des informaticiens dans un projet EIAH, nécessairement pluridisciplinaire. Elle propose de faire appel à des méthodes de conception différentes, selon que les concepteurs du projet travaillent avec des apprenants, des enseignants, des experts ou des chercheurs [JEA 04].

Le premier prototype du système permet d'analyser automatiquement environ 75 % des réponses des élèves, cette analyse peut être complétée ou modifiée par l'enseignant, dans le cadre du partenariat avec la machine. Nous avons également montré que les profils construits correspondent aux connaissances et compétences des élèves identifiées par leur enseignant. Si le logiciel élèves a été testé à plusieurs

reprises en situation réelle en classe, avec un grand nombre d'élèves, les tests concernant le « logiciel enseignants » restent plus limités, même s'ils ont déjà montré que les représentations proposées par le logiciel sont efficaces [DEL 03, JEA 00].

4.4.2. Partenariat A-E-M pour le suivi de compétences : le projet PERLEA

4.4.2.1. Le projet PERLEA : motivations et objectifs

Les EIAH conçus dans les laboratoires de recherche restent faiblement utilisés dans l'enseignement. Lorsqu'ils le sont, c'est généralement de façon ponctuelle ; ils portent souvent sur une partie réduite du programme de l'année scolaire et les enseignants ne les utilisent que dans le cadre d'un nombre limité de séances. Par ailleurs, lorsque les EIAH produisent des profils d'apprenant, ceux-ci ne sont pas réinvestis dans le processus de gestion des compétences au sein de la classe malgré l'intérêt qu'ils pourraient représenter. Cela s'explique notamment par la difficulté de récupérer et d'exploiter des informations différentes issues de sources diverses. Enfin, il peut exister de nombreux profils différents pour un même apprenant, qui correspondent souvent à des photographies partielles de l'état de l'apprentissage de cet apprenant prises à chaque fois à un instant donné. En partant de ces constatations, nous proposons, à travers le projet PERLEA, une façon d'améliorer l'intégration des EIAH au système éducatif, en établissant des *passerelles* entre l'utilisation des EIAH et les pratiques quotidiennes des enseignants [JEA 05]. Ces passerelles prennent la forme d'outils d'aide à l'enseignant permettant de fusionner des profils issus des pratiques des enseignants et des profils produits par des EIAH, afin de les exploiter conjointement au sein de la classe.

Le projet PERLEA peut être vu dans la continuité du projet PEPITE, dans la mesure où il développe, en la généralisant, la phase de présentation des profils. Mais il se démarque des projets PEPITE et LINGOT [DEL 03] par l'approche générique qu'il adopte. Nous pensons en effet qu'il est préférable de *déconnecter* les phases de diagnostic et d'utilisation des profils d'apprenants dans les EIAH car le diagnostic est très dépendant de la discipline et même des activités proposées, alors que l'exploitation des profils est selon nous indépendante de la discipline et peut être généralisée.

Afin d'adopter une démarche générique, nous souhaitons proposer un cadre pour gérer les profils sans y associer aucun contenu : c'est l'enseignant qui intègre les contenus correspondant aux connaissances ou compétences qu'il souhaite observer chez ses élèves, en s'appuyant toutefois sur la structure que le système met à sa disposition. Cette recherche nous amène ainsi à traiter la question suivante :

comment concevoir, compléter et exploiter des profils à la fois *génériques* (non spécifiques à une discipline ou un niveau scolaire), *hybrides* (comportant des informations issues de sources différentes : papier-crayon ou provenant d'EIAH) et *évolutifs* (dont la structure et le contenu peuvent évoluer dans le temps en raison de la prise en compte de l'évolution des compétences des apprenants au cours de l'année) ?

Le projet PERLEA donne lieu au développement d'un EIAH, l'environnement EPROFILEA (environnement d'exploitation de profils par les enseignants et les apprenants) [JEA 05]. Le rôle de cet environnement est d'assister l'enseignant dans sa gestion de profils, quelle que soit la discipline concernée et quel que soit le niveau, scolaire ou universitaire, que ces profils soient créés par l'enseignant lui-même ou externes (issus d'EIAH). EPROFILEA doit permettre l'exploitation de ces profils par les différents acteurs de la situation d'apprentissage. Les acteurs les plus concernés par l'environnement sont les enseignants ou formateurs qui possèdent différents profils pour chacun de leurs élèves et désirent les réutiliser et les exploiter pour suivre l'évolution de leur apprentissage. Mais il est également intéressant de présenter les profils aux apprenants eux-mêmes afin de leur permettre de savoir ce que l'enseignant ou le système sait ou pense d'eux, de prendre conscience de l'état de leurs connaissances, de leurs points faibles et points forts, dans une démarche métacognitive. Par ailleurs, les institutions, Education Nationale et établissements scolaires, peuvent être intéressées par l'exploitation des profils d'apprenants afin d'évaluer l'apprentissage de l'ensemble des apprenants de l'institution. Les profils d'apprenants peuvent enfin permettre aux familles de suivre l'apprentissage de leur enfant et d'instaurer un dialogue avec l'apprenant et les enseignants.

4.4.2.2. Description et scénario d'usage d'EPROFILEA

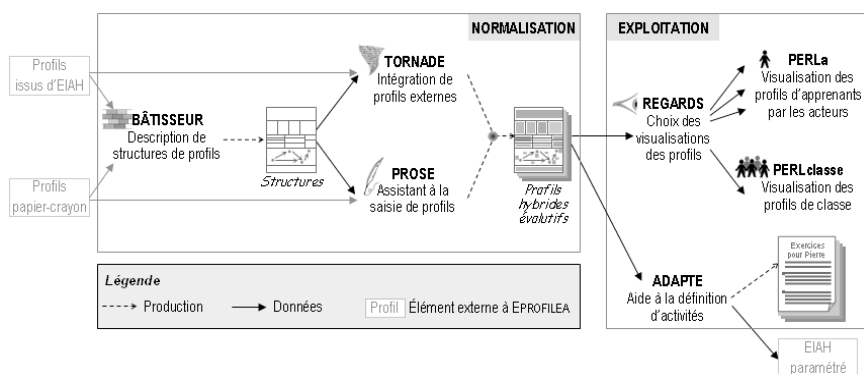


Figure 4.5. Architecture d'EPROFILEA

EPROFILEA comporte deux parties (voir figure 4.5) : la constitution de profils conformes à l'environnement et leur exploitation. La réutilisation de profils nécessite avant tout la description de leur structure. Cette description est élaborée par l'enseignant dans le module BATISSEUR. Ce module opérationnalise le langage de description de profils défini dans PERLEA. Ce langage permet à l'enseignant de décrire les profils préexistants, qu'ils soient issus d'EIAH ou papier-crayon, quels que soient les types d'informations qu'ils contiennent. Compléter la structure des profils créée dans BATISSEUR pour constituer des profils d'apprenants se fait de façons différentes selon que les données sont issues de profils papier-crayon ou d'un EIAH. Dans le cas de profils papier-crayon, EPROFILEA comporte un assistant, PROSE (profils saisis par l'enseignant) aidant l'enseignant à saisir les données de chacun de ses élèves selon la structure de profils définie dans BATISSEUR. Cela nécessite la représentation de la progression de la saisie par élève et par élément du profil. Dans le cas des profils issus de logiciels, EPROFILEA propose des systèmes de conversion de profils (les « tourbillons »), interfaces entre le logiciel externe et EPROFILEA, ainsi qu'un module, TORNADE, assistant un enseignant expert dans la constitution de tourbillons adaptés aux EIAH dont on souhaite réutiliser les profils.

A partir des profils résultants, l'enseignant établit dans le module REGARDS la visualisation des profils qui sera proposée à chaque acteur de la situation d'apprentissage. Ce module permet d'établir des vues différentes d'un même profil : vue enseignant, vue apprenant, vue famille, etc. Pour construire ces différentes vues, l'enseignant choisit les parties du profil qui seront consultables par les différents acteurs, le vocabulaire utilisé, adapté aux acteurs, ou encore le mode de représentation (par exemple graphique, textuel ou numérique). Les modules PERL (profils d'élèves réutilisés) permettent la visualisation interactive des profils par les différents acteurs selon les vues déterminées par l'enseignant dans REGARDS. En ce qui concerne les apprenants, ces visualisations viseront en particulier à favoriser le développement de compétences métacognitives en proposant aux élèves des activités autour des profils leur permettant d'intégrer et d'exploiter les informations qui leur sont fournies (activités proposant notamment la reformulation, l'annotation, la négociation des éléments du profil, la pose d'objectifs à atteindre, etc.). Les modules PERL se déclinent selon que la visualisation concerne les profils d'élève ou les profils de classe, et sont adaptés aux types d'acteurs concernés : l'enseignant lui-même, les apprenants, voire les institutions. Par ailleurs, nous travaillons à la conception d'un dernier module, ADAPTE, permettant de proposer aux apprenants des activités adaptées à leurs compétences et connaissances mises en évidence par leurs profils : activités papier-crayon proposées par le système ou activités informatisées gérées par un autre EIAH. Pour ce module, nous devons trouver un équilibre entre généralité de l'environnement EPROFILEA et spécificités

disciplinaires ou liées à l'âge, au niveau scolaire ou universitaire. Nous devons identifier en outre jusqu'où il est possible et souhaitable d'automatiser la création d'activités.

4.4.2.3. Le partenariat apprenant-machine-enseignant dans le projet PERLEA

Profil Carnet de Bord		
Pauline T		
classe Cycle 3		
Auto-évaluations: les notes que je me suis donné		
Notes très basses	11	<input type="text"/>
Notes basses	2	<input type="text"/>
Notes moyennes	6	<input type="text"/>
Bonnes notes	0	<input type="text"/>
Très bonnes notes	2	<input type="text"/>
Calcul		
Multiplication		
♦ Je pense que je sais un peu	mes tables de multiplication.	
♦ Je pense que je ne sais pas	la technique de la multiplication.	
♦ Je pense que je ne sais pas	la technique de la multiplication pour les nombres décimaux.	
♦ Je pense que je ne sais pas	à quel moment utiliser la multiplication.	
Passage Enoncé-Calcul		
Enoncé ---> Calcul	Je pense que je sais un peu	lorsque j'ai compris l'énoncé, passer au calcul.
Calcul ---> Enoncé	Je pense que je ne sais pas	lorsque j'ai trouvé mon résultat au calcul, faire correspondre ce résultat à l'énoncé.

Figure 4.6. Exemple de profil EPROFILEA servant de base à des activités de négociation entre enseignant et apprenant en contexte d'autoformation [EYS 04]

Dans le projet PERLEA, le partenariat machine-usagers se situe à différents niveaux. EPROFILEA établit tout d'abord principalement un partenariat machine-enseignant pour la gestion des profils des apprenants, aidant l'enseignant à combiner des informations de sources diverses pour les exploiter de différentes manières (suivi des compétences des apprenants et de leur évolution dans le temps, mais aussi proposition d'activités personnalisées). L'environnement établit également un partenariat machine-apprenants dans les modules PERL s'adressant aux apprenants

en leur proposant des activités sur les profils. Le partenariat entre le système et l'apprenant vise à faire émerger des compétences métacognitives chez ces apprenants. Enfin, EPROFILEA propose de mettre en œuvre une coopération apprenant-machine-enseignant dans l'activité de négociation de leur profil par les apprenants, négociation que nous prévoyons d'initier entre la machine et l'apprenant avant l'intervention de l'enseignant (voir exemple de la figure 4.6).

4.4.2.4. Bilan concernant EPROFILEA

Si l'environnement EPROFILEA n'a pas encore été développé dans son ensemble et donc pas testé à grande échelle, nous avons d'ores et déjà développé des prototypes de la plupart des outils présentés. Un dispositif expérimental a notamment été développé et mis à l'essai. Basé sur l'architecture d'EPROFILEA, allant de la description des profils à leur négociation par des apprenants, ce prototype concernait l'aide à l'autoévaluation pour des élèves de 10 ans. La réutilisation de profils d'apprenants issus d'autoévaluation est un cas très particulier de réutilisation de profils, mais il nous a permis de vérifier la faisabilité du projet, notamment dans un cas extrême (voir figure 4.6 et [EYS 04]). Nous avons également expérimenté plus précisément, avec succès, auprès d'enseignants du primaire et du secondaire les prototypes des différents modules de la phase de normalisation des profils. Ces prototypes servent de support à nos réflexions et sont un moyen de communication, notamment avec les enseignants avec lesquels nous travaillons dans le cadre du projet selon une méthode de conception différenciée (voir paragraphe 4.4.1.4).

4.5. Le partenariat A-M-E dans une situation d'apprentissage

Un des objectifs des recherches en EIAH est de proposer des modèles génériques à partir desquels il est possible de développer des EIAH dans des domaines d'apprentissage variés. A partir des travaux présentés dans les sections précédentes et sur les bases de la modélisation de situation d'apprentissage proposées par [LER 02], nous commençons par décrire une modélisation de la situation d'apprentissage comportant un partenariat apprenant-machine-enseignant. Cette modélisation nous sert ensuite à décliner les partenariats entre les différents acteurs.

4.5.1. Modélisation de la situation d'apprentissage avec partenariat A-M-E

Pour commencer, nous partons d'une modélisation des situations d'apprentissage avec partenariat, qui décrit l'organisation et la configuration de la situation d'apprentissage (place des enseignants et apprenants, travail en groupe ou isolé,

etc.), ainsi que les interactions typées (aide, coopération, navigation dans une application, etc.) entre les humains et les machines. Un des mérites de cette modélisation est de guider le concepteur dans toutes les phases du processus de développement (des spécifications à l'analyse des expérimentations) des EIAH qui seront utilisés dans la situation d'apprentissage modélisée [LER 02].

Les situations d'apprentissage auxquelles nous nous sommes intéressés dans ce chapitre se limitent à un seul enseignant. Nous n'avons pas souhaité extrapoler ici la modélisation de la situation d'apprentissage à plusieurs enseignants de manière à rester cohérents avec les travaux présentés (voir sections 4.3 et 4.4) et à bien cerner la multiplicité des partenariats dans ces contextes. Du point de vue de la variété des activités, nous prenons en compte aussi bien les aspects individuels que collectifs des activités. En effet, une activité peut être le fruit du travail d'un individu ou d'un collectif. Néanmoins la perception de l'individuel et du collectif est différente si l'on se place au niveau de l'ordinateur. Des apprenants peuvent travailler ensemble sur une même activité mais n'utiliser qu'un seul ordinateur. Leur travail se trouve donc réifié en une seule instance dans l'ordinateur. Néanmoins pour bien mettre en avant la pluralité et la diversité des activités, nous représentons dans la modélisation suivante les apprenants comme pouvant travailler individuellement (sujet) ou collectivement (groupe) en fonction des contextes.

L'*espace de partenariat* est la notion centrale de la modélisation des situations d'apprentissage décrites ci-après. Nous le définissons ainsi : un espace de partenariat est le lieu où se déroulent des partenariats éventuellement de natures variées (coopération, assistance, interaction) à des niveaux différents et/ou dans des cadres différents, faisant intervenir des acteurs hétérogènes par leur nature (informatiques, humains) et par leurs rôles (machine, apprenant, enseignant). Dans un espace de partenariat apprenant-machine-enseignant (voir figure 4.7), les apprenants interagissent avec l'ordinateur selon les modes spécifiques à chacune des activités prescrites (c'est-à-dire navigation dans un hypermédia, programmation d'actions, réalisation d'un test, coopération à la réalisation d'une tâche). L'ordinateur gère la présentation des activités, optimise le travail collectif avec l'apprenant(s) en coopérant éventuellement avec lui et sollicite l'enseignant en cas de problème. Il peut être aussi prévu l'utilisation de supports pédagogiques sous la forme d'objets réels (c'est-à-dire des microrobots préassemblés) ou d'un micromonde matériel (c'est-à-dire des briques pour construire des microrobots). Dans ce cas, les apprenants sont amenés à manipuler des objets réels, à les construire et l'ordinateur peut contrôler leurs mouvements s'ils sont pilotés par ordinateur.

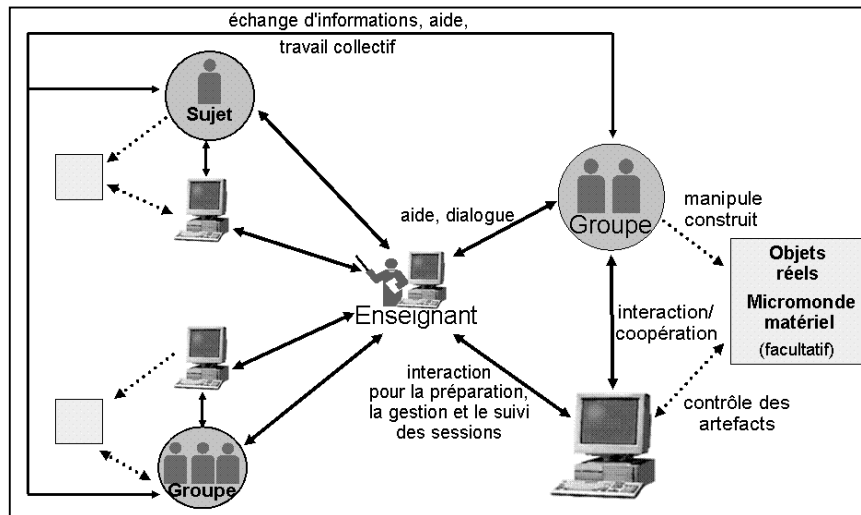


Figure 4.7. Espace de partenariat apprenant-machine-enseignant

Dans l'espace de partenariat, les apprenants peuvent être amenés à échanger des informations, à s'aider et à coopérer/collaborer. L'enseignant coordonne éventuellement ces échanges, par exemple dans le cadre de la mise en place d'un travail collectif. Il surveille d'un point de vue global les activités et apporte son aide, si besoin, aux apprenants. Il peut être amené à dialoguer plus formellement avec eux dans le cadre de rendez-vous fixés au cours des activités, soit directement, soit de façon médiée. Cela lui permet par exemple d'effectuer une synthèse avec les apprenants, de manière individuelle ou en groupe, sur les notions abordées ou de déterminer les difficultés. L'enseignant interagit avec les différentes machines afin de préciser, de planifier et de suivre les activités des différents sujets et groupes d'apprenants. Il peut enfin interagir avec les systèmes *a priori* pour préparer la session des apprenants, au cours des activités et *a posteriori* pour effectuer un suivi des apprenants.

4.5.2. Les différents partenariats en jeu

Comme dans tout travail, une assistance complémentaire peut s'avérer nécessaire à un moment donné, de façon à aider l'utilisateur dans la réalisation de sa tâche. Nous allons, dans la suite de cette section, expliciter les différents partenariats que nous avons identifiés dans le modèle de situation d'apprentissage exposé ci-dessus. Nous

n'avons pas la prétention d'être exhaustifs, mais d'exposer les principaux partenariats sur lesquels nos travaux ont porté.

4.5.2.1. *Coopérer pour effectuer une tâche*

Comme nous l'avons exprimé (voir section 4.2), l'un des principes de l'étayage brunérien est de réduire la tâche de l'apprenant de manière à l'aider à résoudre ses problèmes. Selon ce principe, on peut très bien imaginer de déléguer à la machine réalisation d'une partie d'une activité, de manière à faciliter le travail de l'apprenant. Cette prise en charge est particulièrement intéressante quand la réalisation d'une tâche ne fait pas partie de l'apprentissage en lui-même mais est un passage obligé d'une activité (c'est-à-dire la programmation des microrobots par les ouvriers peu qualifiés, voir section 4.3). Les systèmes mis en œuvre dans ce cas sont appelés des systèmes coopératifs de résolution de problèmes (le lecteur trouvera des exemples d'applications dans [FIS 90]). Le problème à résoudre est décomposé en plusieurs tâches, chacune des tâches étant allouée à l'utilisateur ou au système participant à la résolution [DEG 92]. Le contrôle de la résolution est assuré soit par l'utilisateur, soit par le système, soit par les deux.

Il nous paraît pertinent d'utiliser ce type de système dans le cas où la résolution d'une tâche n'est pas nécessairement liée à l'objectif d'apprentissage mais aussi quand des apprenants n'ont pas toutes les aptitudes requises pour réaliser l'activité donnée. En les soulageant de certaines tâches, on leur donne plus de chance de réussir. Cette possibilité est très intéressante dans le cas de groupes de formation très hétérogènes où l'on peut individualiser la coopération en fonction des compétences des apprenants.

Cette notion de coopération n'est pas limitée au seul partenariat apprenant-machine, on peut la retrouver aussi dans le partenariat enseignant-machine comme c'est le cas dans la phase de diagnostic du projet PEPITE (voir paragraphe 4.4.1.3). Le partage des tâches permet notamment de transférer à la machine des tâches purement calculatoires ou particulièrement lourdes.

4.5.2.2. *Assister la réalisation d'une tâche*

Sans aller jusqu'à une prise en charge complète de certaines tâches, le partenariat du système peut être aussi envisagé sous la forme d'une assistance aux apprenants au cours de leurs activités. Notre approche en termes d'assistance informatique est de prôner un partenariat entre les usagers et la machine, plutôt qu'un guidage direct du système. Cette assistance a pour but d'aider localement les apprenants dans leurs activités (c'est-à-dire assistance à la description de microrobots, voir section 4.3). Elle rend ainsi les apprenants plus autonomes par rapport à la réalisation des activités, limitant les sollicitations extérieures auprès d'un enseignant ou de pairs.

On parle dans ce domaine de systèmes de résolution de problèmes avec assistance coopérative de la machine (par exemple, l'environnement JANUS d'aide à la conception architecturale de cuisines [FIS 90]). Pour les systèmes de ce type, c'est l'utilisateur qui résout un problème en utilisant un support informatisé (c'est-à-dire un environnement de conception architecturale), et contrôle la coopération. L'assistance est soit demandée par l'utilisateur quand il en ressent le besoin, soit proposée par le système lorsque ce dernier détecte une erreur dans la résolution.

Néanmoins, il est rarement possible de concevoir une assistance informatisée suffisamment performante pour répondre au plus grand nombre de situations qui posent problème aux usagers. Dans le cas où le système ne sait plus apporter de conseils, il est souhaitable que l'utilisateur puisse s'adresser à un expert humain qui saura lui apporter l'aide nécessaire. L'avantage du modèle de situation d'apprentissage proposé est qu'il inclut dans la situation un expert en la personne d'un enseignant. C'est pourquoi nous mettons en œuvre une logique de soutien aux apprenants qui s'appuie d'abord sur une assistance informatique avant de faire appel à l'enseignant lorsque le système ne sait plus répondre aux sollicitations des apprenants. Le système peut alors aider l'enseignant dans sa tâche de tutorat en lui fournissant des informations sur les conseils qu'il a pu apporter : nous sommes bien, ici, dans un partenariat réel entre apprenant, machine et enseignant.

4.5.2.3. *Apprendre en faisant varier le partenariat*

Le but de tout acte d'enseignement est de faire progresser les apprenants dans leurs apprentissages. La coopération entre un apprenant et un EIAH peut être pensée selon cette logique. Une manière d'y arriver est de concevoir l'EIAH de manière à ce que l'assistance ou la prise en charge de la réalisation de tâches par la machine *évolue* au fil des activités. Ainsi, dans de tels systèmes, la tâche est au départ partiellement effectuée par le système ou effectuée par l'apprenant sous le contrôle du système. Par la suite, le système peut déléguer de plus en plus d'actions à l'élève en fonction des progrès de ce dernier, pour arriver au final à une complète autonomie de l'élève vis-à-vis de la tâche à réaliser. On assiste là à une métamorphose du système qui, à mesure que l'apprenant progresse, voit son assistance à la résolution de tâche diminuer. On est ici dans une situation où il ne s'agit pas seulement de coopérer/collaborer pour résoudre une tâche, mais aussi d'apprendre en coopérant/collaborant avec la machine. Il est clair que, étant données les limites des dispositifs informatiques d'apprentissage (voir section 4.2), cette métamorphose est plus facilement envisageable actuellement sous la forme d'un paramétrage du système par l'enseignant (comme cela a été effectué dans le logiciel Roboteach, voir section 4.3).

La variation du partenariat peut aussi être intéressante dans un partenariat machine-enseignant, plus particulièrement dans un contexte de formation des maîtres, l'enseignant étant un enseignant en formation. En effet, pour le projet PEPITE (voir section 4.4), le système d'assistance au diagnostic de compétences en algèbre développé a été exploité en formation des maîtres [DEL 03], de façon à permettre aux enseignants de comprendre les mécanismes du diagnostic et d'exercer leurs compétences en la matière. Pour cela les enseignants peuvent adapter leur degré d'interaction avec le système dans la constitution du diagnostic des compétences d'un apprenant : ils peuvent dans un premier temps observer le diagnostic proposé par le système, puis apprendre progressivement à le construire en coopération avec la machine.

4.5.2.4. *Etre partenaire pour gérer et suivre le travail des apprenants*

En ce qui concerne le partenariat machine-enseignant, nous distinguons trois phases : avant, pendant et après la session d'apprentissage des apprenants.

Avant une session, la machine et l'enseignant peuvent interagir afin de construire, organiser ou configurer les activités prescrites aux apprenants. Les interactions machine-enseignant peuvent dans ce cas consister en l'utilisation par l'enseignant d'un module permettant de paramétrer le logiciel destiné à ses élèves, par exemple pour fixer le degré d'assistance du système à la résolution d'une tâche, comme cité précédemment. Le partenariat peut être également plus marqué dans la tâche de préparation par l'enseignant des activités des apprenants, comme c'est le cas dans le projet AMBRE pour la génération par l'enseignant d'exercices permettant d'alimenter la session des apprenants [DUC 05]. Dans ce travail, nous avons choisi de permettre à l'enseignant d'intervenir comme partenaire de la machine à différents moments de la création des exercices, selon le niveau d'implication qu'il souhaite avoir : il peut obtenir, en interaction avec le système, des problèmes correspondant précisément à ses souhaits ou au contraire laisser la machine proposer des exercices pour lesquels il définit peu ou pas de contraintes.

Pendant la session, machine et enseignant peuvent être partenaires pour conduire les activités, pour suivre leur déroulement, pour intervenir auprès des apprenants en cas de difficultés et éventuellement pour modifier la configuration des activités prescrites (voir par exemple nos travaux en robotique pédagogique, paragraphe 4.3.3).

Après la session, machine et enseignant peuvent être partenaires afin d'analyser les événements et les interactions qui se sont produits pendant la session ou d'établir un bilan sur les connaissances et compétences mises en œuvre. C'est le cas dans nos

travaux sur le diagnostic de compétences en algèbre élémentaire (voir section 4.4), où enseignant et système coopèrent dans la constitution de profils d'apprenants. C'est également le cas dans l'approche plus générique adoptée dans nos travaux récents sur le suivi des compétences, travaux dans lesquels nous proposons d'établir un partenariat entre machine, enseignant et apprenants pour l'exploitation de profils d'apprenants dont nous avons détaillé la mise en œuvre (voir section 4.4).

4.6. Conclusion

Face aux difficultés que rencontrent, d'un côté, les apprenants dans la réalisation de leurs activités d'apprentissage et, de l'autre, les enseignants dans la mise en place et le suivi de ces activités, nous avons proposé dans ce chapitre une vision des EIAH où la machine est partenaire des usagers dans une relation triangulaire apprenant-machine-enseignant. En fonction des situations, les tâches sont déléguées à la machine par l'homme, menées par l'homme ou effectuées en étroite coopération entre l'homme et la machine. Nous avons précisé ce que nous entendions par partenariat homme-machine dans un contexte éducatif en nous appuyant sur des travaux concrets menés sur ce thème dans les contextes différents que sont la robotique pédagogique et le suivi de compétences. A partir de ces travaux nous avons établi un modèle de situation d'apprentissage permettant d'identifier différents types et niveaux de partenariat entre apprenant(s), machine et enseignant.

Nous pensons que cette piste de recherche sur le partenariat apprenant-machine-enseignant est particulièrement intéressante, notamment pour pallier les difficultés actuelles de conception de dispositifs informatiques capables de prendre en charge des enseignements. Ces travaux sont en droite ligne de ceux sur la coopération personne-machine qui s'attachent principalement à développer des systèmes coopératifs qui font intervenir l'homme et l'ordinateur en prenant en compte les buts de l'homme, les forces et les faiblesses respectives de l'homme et de l'ordinateur, ainsi que la nature et la structure de la tâche [FIS 90, WOO 90]. Ces systèmes ont pour objectif de permettre à l'homme et à la machine de réaliser des tâches que chacun pris séparément ne pourrait pas mener à bien, ou ferait mal ou moins vite.

Pour aller plus loin dans cette voie, une de nos idées serait de réfléchir à un système méta-coopératif, qui permette à la machine de coopérer avec l'enseignant pour paramétrer et analyser la coopération entre la machine et les apprenants ; c'est la raison pour laquelle nous parlons de métacoopération [LER 02].

4.7. Bibliographie

- [BAK 00] BAKER M., « The roles of models in Artificial Intelligence and education research : a prospective view », *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 11, p. 16-23, 2000.
- [BAL 93] BALACHEFF N., BARON G.-L., BARON M., DILLENBOURG P., GRANDBASTIEN M., GRAS R., MADAULE F., MENDELSON P., NGUYEN-XUAN A., NICAUD J.-F., « EIAO : points de vue des disciplines », *Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur, Actes des 3^e journées EIAO de Cachan*, p. 7-14, Eyrolles, Paris, 1993.
- [BAL 94] BALACHEFF N., « Didactique et intelligence artificielle », dans Balacheff N., Vivet M. (dir.), *Didactique et intelligence artificielle*, p. 7-42, La Pensée Sauvage, Grenoble, 1994.
- [BRU 98] BRUILLARD E., Conception et usages des instruments informatiques pour l'apprentissage et l'enseignement, Habilitation à Diriger les Recherches, Université du Maine, 1998.
- [BRU 76] BRUNER J.S., « The role of tutoring in problem solving », *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, vol. 17, p. 89-100, 1976.
- [BRU 83] BRUNER J.S., HICKMANN M., « La conscience, la parole et la "zone proximale" : réflexions sur la théorie de Vygotsky », *Le développement de l'enfant : savoir faire, savoir dire*, p. 281-292, PUF, Paris, 1983.
- [DEG 92] DE GREEF H.P., BREUKER J.A., « Analysing system-user cooperation in KADS », *Knowledge Acquisition*, vol. 4, p. 89-108, 1992.
- [DEL 03] DELOZANNE E., PREVIT D., GRUGEON B., JACOBONI P., « Supporting teachers when diagnosing their students in algebra », *Workshop Advanced Technologies for Mathematics Education, Actes de la conférence AI-ED 2003*, p. 461-470, IOS Press, Amsterdam, 2003.
- [DES 97] DESPRES C., LEROUX P., « Raisonner sur la trace : analyse de sessions avec l'application ROBOTEACH », *Actes des 5^e journées EIAO de Cachan*, p. 277-288, Hermès, Paris, 1997.
- [DES 03] DESPRES C., LEROUX P., « Tutorat synchrone en formation à distance – Un modèle pour le suivi pédagogique synchrone d'activités d'apprentissage à distance », dans Desmoulins C., Marquet P., Bouhineau D. (dir.), *Actes de la conférence EIAH 2003*, p. 139-150, ATIEF/INRP, Paris, 2003, disponible sur le Web : <http://archiveseiah.univ-lemans.fr/consulter.php>
- [DUC 05] DUCLOSSON N., JEAN-DAUBIAS S., RIOT S., « AMBRE-enseignant : un module partenaire de l'enseignant pour générer des problèmes », dans Tchounikine P., Joab M., Trouche L. (dir.), *Actes de la conférence EIAH 2005*, p. 353-358, INRP/UM2, 2005, disponible sur le Web : <http://archiveseiah.univ-lemans.fr/consulter.php>
- [EYS 04] EYSSAUTIER C., JEAN-DAUBIAS S., « A Device Helping Learners to Self-Assess Themselves », *Actes de la conférence CALIE 2004*, p. 185-190, Grenoble, 2004, [en ligne] : <http://www-clips.imag.fr/calie04/proceedings.html> (consulté en décembre 2006).

- [FIS 90] FISCHER G., « Communication requirements for cooperative problem solving systems », *Information Systems*, vol. 15, n° 1, p. 21-36, 1990.
- [GEO 83] GEORGE C., *Apprendre par l'action*, PUF, Paris, 1983.
- [GRU 95] GRUGEON B., Etude des rapports institutionnels et des rapports personnels des élèves à l'algèbre élémentaire dans la transition entre deux cycles d'enseignement : BEP et Première G, Thèse de doctorat, Université Paris VII, 1995.
- [JEA 00] JEAN S., PÉPITE : un système d'assistance au diagnostic de compétences, Thèse de doctorat, Université du Maine, 2000.
- [JEA 04] JEAN-DAUBIAS S., « De l'intégration de chercheurs, d'experts, d'enseignants et d'apprenants à la conception d'EIAH », *Actes de la conférence TICE 2004*, p. 290-297, 2004.
- [JEA 05] JEAN-DAUBIAS S., EYSSAUTIER-BAVAY C., « An environment helping teachers to track students' competencies », *Workshop LEMORE, Actes de la conférence AI-ED 2005*, p. 19-23, Amsterdam, 2005.
- [KAY 00] KAY J., « Accretion Representation for Scrutable Student Modelling », *Actes de la conférence ITS 2000*, p. 514-523, Springer-Verlag, Berlin, 2000.
- [LER 95] LEROUX P., Conception et réalisation d'un système coopératif d'apprentissage - Etude d'une double coopération : maître-ordinateur et ordinateur-groupe d'apprenants, Thèse de doctorat, Université Paris VI, 1995.
- [LER 02] LEROUX P., Machines partenaires des apprenants et des enseignants – Etude dans le cadre d'environnements supports de projets pédagogiques, Habilitation à Diriger des Recherches, Université du Maine, 2002.
- [LIN 01] LINARD M., « Concevoir des environnements pour apprendre : l'activité humaine, cadre organisateur de l'interactivité technique », *Sciences et Techniques Educatives*, vol. 8, n° 3-4, p. 211-238, Hermès, Paris, 2001.
- [NOG 04] NOGRY S., JEAN-DAUBIAS S., OLLAGNIER-BELDAME M., « Evaluation des EIAH : une nécessaire diversité des méthodes », *Actes de la conférence TICE 2004*, UTC, Compiègne, p. 265-271, 2004, disponible sur le Web : <http://archive-edutice.ccsd.cnrs.fr> (consulté en décembre 2006).
- [PAI 95] PAIVA A., SELF J., HARTLEY R., « Externalising Learner Models », *Actes de la conférence AI-ED '95*, p. 509-516, Washington, 1995.
- [PAS 94] PASTRE P., « Variations sur le développement des adultes et leurs représentations », *Education Permanente*, vol. 119, n° 2, p. 33-63, 1994.
- [TAH 93] TAHRI S., Modélisation de l'interaction didactique : un tuteur hybride sur CABRI-GEOMETRE pour l'analyse de décisions didactiques, Thèse de Doctorat de l'Université Joseph Fourier, Grenoble I, 1993.
- [VAN 97] VANLEHN K., MARTIN J., « Evaluation of an assessment system based on Bayesian student modeling », *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 8, n° 1, p. 179-221, 1997.

- [VIV 00] VIVET M., « Des robots pour apprendre », *Sciences et Techniques Educatives*, vol. 7, n° 1, p. 17-60, Hermès, Paris, 2000.
- [VYG 34] VYGOTSKI L.S., *Pensée et langage*, Editions sociales, Paris, 1985 (deuxième édition).
- [WEN 87] WENGER E., *Artificial Intelligence and Tutoring Systems. Computational and cognitive approaches to the communication of knowledge*, Morgan Kaufmann Publishers, Los Altos, 1987.
- [WOO 90] WOODS D.D., ROTH E.M., BENNETT K., « Explorations in Joint Human-Machine Cognitive Systems », dans Robertson S., Zachary W., Black J.B. (dir.), *Cognition, Computing and Cooperation*, p. 123-158, Ablex, Norwood, NJ, 1990.

Chapitre 5

Une modélisation du processus d'innovation s'articulant sur une dynamique de réseaux d'acteurs

5.1. Introduction

L'analyse des mécanismes impliqués dans un processus d'innovation a retenu l'attention de nombreux chercheurs durant cette dernière décennie. Que leur point de départ soit pédagogique, sociologique ou systémique, toutes ces analyses convergent pour mettre en évidence la *complexité* du processus et la *multiplicité* des variables impliquées. Certains auteurs comme Cuban [CUB 86, CUB 01] ou Grunberg et Summers [GRU 92] ont souligné, depuis longtemps déjà, les spécificités d'un processus d'innovation impliquant la mise en œuvre de dispositifs à forte composante technologique. Dès lors, plutôt que de faire appel à des modèles conçus pour expliquer l'innovation en général, nous nous sommes attachés au développement d'une approche spécifique aux innovations pédagogiques impliquant la mise en œuvre de supports technologiques plus ou moins complexes.

C'est dans ce contexte qu'est né un premier modèle qui a été proposé en 1997 par Depover et Strebelle [DEP 97]. Depuis sa présentation, dans le cadre d'un colloque organisé par l'Institut de recherche et de documentation pédagogique (IRDP) à Neuchâtel, ce modèle a été appliqué à différents contextes scolaires par Depover et Strebelle [DEP 03], Strebelle, Depover, Stylianidou et Dimitracopoulou [STR 03], Strebelle, Depover et Komis [STR 05], mais aussi à la formation en

entreprise par Depover, Quintin et De Lièvre [DEP 98] et par Hryshchuk [HRY 05]. Ces applications nous ont permis de percevoir les points forts de ce modèle mais aussi ses limites.

Avant de revenir plus en détail sur ce modèle (voir section 5.4), nous pensons important de rappeler que celui-ci est le produit d'une double démarche qui s'appuie à la fois sur une analyse articulant une étude *a priori* des variables susceptibles d'influencer le processus d'innovation et sur la confrontation de ces variables avec des données issues du terrain. Dans ce texte, nous procéderons selon la même logique en précisant certains aspects du modèle en fonction d'informations issues de la littérature scientifique, mais aussi de données recueillies dans le cadre de la conception et de l'intégration progressive d'un environnement technologique conçu pour l'apprentissage *collaboratif* de compétences de modélisation.

Comme nous l'avons déjà suggéré, notre volonté est d'amender notre modèle initial (voir figure 5.2) pour prendre en compte l'évolution des conceptions en matière d'innovation, de manière à intégrer le rôle des *réseaux* dans une innovation à caractère transnational. En effet, le projet « ModellingSpace¹⁹ » (désigné dans la suite de ce texte par l'abréviation MS), qui nous servira de base pour illustrer la mise au point de la seconde version de notre modèle (voir figure 5.3), concerne des équipes de recherche issues de quatre pays européens (Belgique, France, Grèce et Portugal) qui se sont investis, à titres divers, dans l'élaboration d'un environnement technologique susceptible d'être utilisé dans un contexte international.

Avant de présenter le modèle sur lequel nous nous sommes appuyés et son origine, nous commencerons par décrire brièvement le *dispositif* technopédagogique qui a été développé dans le cadre de cette recherche en étroite collaboration entre l'équipe informatique et les chercheurs chargés de son implémentation progressive sur le terrain. Par la suite, nous tenterons de montrer comment certains modèles de l'innovation et en particulier celui proposé par Callon [CAL 86] et Latour [LAT 87] permettent de prendre en compte le rôle de réseaux et de *communautés de pratique* dans le processus d'innovation.

5.2. Un environnement d'aide à la modélisation collaborative : ModellingSpace

L'environnement MS propose aux élèves de construire ou d'explorer différentes formes de modèles de la relation entre les variables d'une situation. Un modèle peut être présenté selon différentes perspectives : comme un système d'*entités* (objets

19. L'expression « ModellingSpace » désignera, dans ce texte, à la fois l'environnement de modélisation qui a été développé et le projet dans lequel ce développement s'est inscrit.

permettant de représenter des variables) et de relations entre ces entités, comme un tableau de données, un graphique ou encore, une expression mathématique. La présentation des relations et des propriétés du modèle s'effectue dans une succession de fenêtres spécifiques comme l'illustre la saisie d'écran de la figure 5.1.

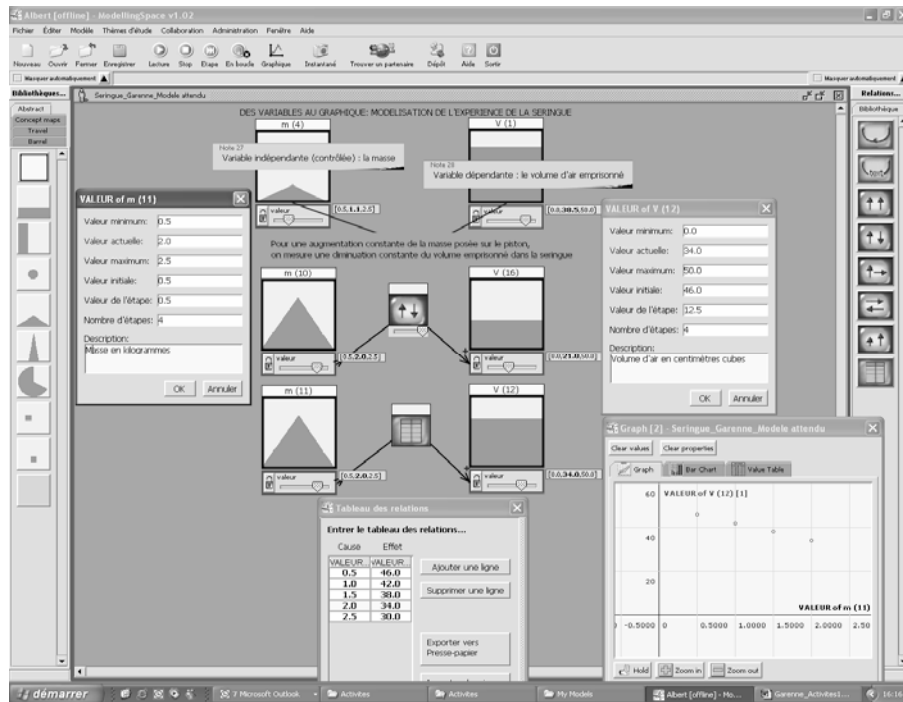


Figure 5.1. Saisie d'écran de MS v1.02 – Modèles de la relation entre le volume emprisonné dans une seringue fermée et la masse posée sur le piston

L'outil de modélisation de l'environnement MS se présente comme un espace de manipulation directe surtout utilisé par les étudiants pour construire et explorer des modèles élaborés à partir d'une bibliothèque d'entités dites primitives (barre d'outil à gauche sur la saisie d'écran de la figure 5.1) et d'une bibliothèque de relations (barre d'outil à droite). Dans la suite de ce texte, nous appellerons *espace de modélisation* cet espace de manipulation. Cette notion est à distinguer de celle, plus large, d'*environnement de modélisation* qui englobe l'espace de modélisation ainsi que l'ensemble des fonctionnalités et outils qui y sont associés.

Les *entités* peuvent être vues comme les blocs de construction des modèles. Une entité est constituée d'une série d'objets permettant de représenter les variables d'un phénomène. Une entité peut prendre un certain nombre d'états. Chacun de ces états correspond à une gamme de valeurs distinctes parmi les propriétés de l'entité. Une représentation visuelle de l'entité est associée à chacun de ces états. Chaque entité représente soit un objet du monde réel de manière figurative (dessin, photographie ou enregistrement vidéo), soit une grandeur ou un concept de manière plus abstraite.

Les entités disposées sur l'espace de modélisation peuvent être reliées par trois grands types de *relations* : une relation qualitative à la base de la construction d'une carte conceptuelle, une relation semi-quantitative sous forme d'un code iconographique, pour représenter une relation de covariation par exemple, ou une relation quantitative sous forme d'un tableau de données, d'un graphique ou d'une expression mathématique. Ces relations offrent à l'utilisateur l'opportunité de créer, pour une même situation, une succession de modèles de niveaux conceptuels différents. Quand un modèle a été construit, il peut être exploré et testé par la visualisation d'une *simulation* des variations. Le comportement dynamique d'un modèle peut ainsi être lu en continu, en boucle, en pas à pas ou avec arrêt sur image. Les modèles, en s'exprimant sous forme de représentations dynamiques, iconiques ou graphiques, participent à la concrétisation d'idées abstraites. Ces représentations jouent un rôle de support cognitif qui accompagnera le raisonnement de l'élève dans le processus de construction d'une pensée scientifique.

L'environnement MS permet la construction de modèles, tant sur un mode individuel que sur un mode d'*utilisation collaborative en ligne*. MS est en effet conçu pour que des partenaires distants puissent interagir en partageant un modèle sur l'espace de modélisation qui devient ainsi un *espace de collaboration* (au sens de co-élaboration, c'est-à-dire d'élaboration conjointe d'une production basée sur une représentation partagée), à distinguer de la coopération au sens de Leroux et Daubias (voir chapitre 4, section 4.2). Le synchronisme est assuré par une console de coordination, de sorte que l'action d'un participant sur un des objets partagés est visible par son partenaire en temps réel. Par ailleurs, un outil de communication en direct ou *chat*, équipé d'un « ouvrier de dialogue », est intégré à l'environnement de modélisation. Des messages écrits peuvent ainsi être échangés par les partenaires tout au long de la collaboration. La fenêtre de dialogue du *chat* se superpose à l'espace de modélisation.

Outre l'espace de modélisation et le gestionnaire d'entités, l'architecture de l'environnement MS comporte cinq autres composantes qui constituent autant d'outils de soutien, non seulement aux étudiants, mais également aux enseignants, en cours de processus d'enseignement/apprentissage : un environnement de

supervision, un outil d'analyse de la collaboration (COLAT), un espace de dépôt commun que nous appelons collecticiel, des outils de soutien à la communauté et un serveur relais de communication.

La fonctionnalité principale de l'*environnement de supervision* est la présentation et le traitement des fichiers journaux historiques produits par l'environnement de modélisation. Ceux-ci contiennent les enregistrements des *traces* des actions réalisées par un utilisateur, ainsi que les messages échangés par des partenaires engagés dans une modélisation en collaboration. Cet environnement permet de reconstituer en *play-back* les étapes de l'activité de modélisation en utilisant le journal historique. Il les présente en pas à pas ou en continu, à une vitesse de déroulement déterminée par l'utilisateur. Cet outil n'est rendu accessible qu'à des usagers spécifiques, typiquement les enseignants et les chercheurs. De son côté, l'outil d'*analyse de la collaboration* est destiné à l'analyse d'enregistrements vidéo ou audio et à la synchronisation de données comportementales associées aux actions enregistrées dans le fichier journal. Il s'agit d'un outil qui peut être utilisé pour visualiser, annoter et analyser les journaux historiques de modélisation, typiquement par les chercheurs puisqu'il peut faire office d'environnement générateur de recherche qualitative dans le cadre d'études ethnographiques.

Situé sur le serveur de MS, le *collecticiel* contient des *ressources pédagogiques* au sens défini par Guin et Trouche (voir chapitre 7, paragraphe 7.3.4). Ces ressources intègrent des situations d'apprentissage, des éléments d'exploitation didactique relatifs à ces situations et des outils directement exploitables dans l'environnement MS, comme des entités et des bibliothèques d'entités conçues et éditées par des utilisateurs différents en fonction des besoins propres à un scénario particulier, ainsi que des modèles construits et mis au point par ces utilisateurs dans le cadre de leurs scénarios d'exploitation pédagogique. Ce collecticiel, accessible *via* le Web, offre à des utilisateurs (enseignants ou étudiants), distants l'un de l'autre, la possibilité de télécharger ou de déposer du matériel en vue d'un échange (comparaison, confrontation) ou d'un partage. Les *outils de soutien à la communauté*, situés dans le serveur de MS, fournissent des services tels que la gestion de groupes, la gestion de sessions, la gestion des entrées et sorties des utilisateurs (inscription, reconnaissance) et une facilitation de l'*interaction* synchrone des environnements de modélisation. Ces outils constituent une composante qui facilite également l'interaction entre différents environnements de modélisation. Le *serveur relais de communication* fournit des facilités de communication locale entre des postes clients, sans devoir utiliser le serveur de la communauté.

5.3. Un dispositif pédagogique pour développer des compétences de haut niveau

Le caractère très ouvert de MS permet d'envisager son utilisation dans l'enseignement de diverses disciplines scientifiques comme les mathématiques, la physique, la chimie, la biologie, l'éducation à l'environnement ainsi que dans le cadre d'approches interdisciplinaires. L'exploitation pédagogique de MS attribue un rôle actif au sujet apprenant, un objectif étant d'intervenir sur les facteurs susceptibles d'agir sur la qualité de ses apprentissages. Cette démarche éducative, qui se situe dans le paradigme de l'apprendre à apprendre, se centre sur les compétences transversales qui permettent aux élèves d'appréhender différentes situations de la vie quotidienne ou plus scientifiques :

- des compétences de modélisation, des compétences métacognitives, une capacité de réflexion créative et adaptative, des compétences de communication et de collaboration ;
- l'appropriation des concepts, des lois et de la manière de penser des différentes disciplines ;
- l'interconnexion des connaissances et des méthodes dans le cadre d'une approche interdisciplinaire.

Le développement de ces compétences est mis en œuvre par l'application d'une démarche didactique centrée sur l'apprentissage contextualisé, la métacognition et la facilitation du transfert des compétences ; l'exposé des motifs cognitifs et pédagogiques qui ont conduit à la conception de MS est détaillé dans [KOM 03]. Pour en arriver à une utilisation efficace de cet environnement relativement complexe, la conception des outils pédagogiques est conceptualisée dans le projet MS comme un processus d'innovation impliquant les principaux acteurs dès les premières phases de développement. Dès la phase initiale, des groupes d'enseignants ont ainsi été associés au projet MS qui s'est déroulé sur trois ans, entre avril 2001 et mars 2004. Cette approche en matière de conception des outils, comme l'ont décrite Depover et Marchand [DEP 02], permet d'intégrer à la démarche de conception la prise en compte des contraintes de l'utilisateur et du contexte dans lequel les outils seront utilisés. Dans le cadre de cette approche, les enseignants ne sont pas uniquement considérés comme des utilisateurs d'un nouvel outil mais également comme participant à l'ensemble du processus de création de l'environnement et d'élaboration du dispositif pédagogique. En collaboration avec les chercheurs, les enseignants participent aussi au processus d'élaboration de nouvelles connaissances relatives ici à la modélisation, à l'exploration ainsi qu'à l'apprentissage collaboratif.

Au cours du projet MS, trente situations d'apprentissage de différents types ont été développées. Une partie d'entre elles a été conçue par les enseignants eux-mêmes, soutenus et aidés concrètement dans ce travail par les chercheurs et les

conseillers pédagogiques. Une autre série de situations a été conçue par des groupes de spécialistes en didactique avec le soutien des enseignants. Les situations ont été validées et mises à l'épreuve dans le cadre de scénarios d'exploitation didactique au sein des écoles participant au projet MS. La plupart de ces activités d'apprentissage avec MS sont accompagnées de fiches spécifiques qui amènent les élèves à travailler dans l'environnement de modélisation, parfois en parallèle avec l'utilisation d'un matériel papier-crayon. L'ensemble des situations d'apprentissage et des scénarios associés est accessible depuis le collecticiel de MS. Dans le cadre des essais d'implantation de *l'environnement d'apprentissage informatisé MS*, 15 chercheurs de quatre universités européennes ont ainsi travaillé en étroite collaboration avec 34 enseignants au cours de deux années scolaires. A la fin de la recherche, plus de 500 élèves et étudiants âgés de 10 à 18 ans avaient été impliqués dans le projet en réalisant des activités avec MS au sein de 16 écoles. Chacun d'eux a utilisé l'environnement de modélisation pendant un minimum de trois périodes de temps scolaire d'environ cinquante minutes chacune.

L'un des principaux objectifs de l'introduction de MS dans les écoles consistait à améliorer le raisonnement scientifique des élèves par le développement de compétences relatives au processus de modélisation. En s'appuyant sur les résultats rapportés par Smyrniou, Ferret et Weil-Barais [SMY 03], on peut dire que cet objectif était pertinent puisque la conclusion la plus notable de l'évaluation des stratégies cognitives utilisées par les étudiants au cours des activités accomplies avec l'environnement MS ainsi que de l'analyse des représentations qu'ils ont développées est que l'environnement constitue un outil efficace pour appréhender les transformations de situations en termes de relations entre variables. Son utilisation peut favoriser la mise en œuvre de relations entre, d'une part, les aspects de la réalité et, d'autre part, la conceptualisation ainsi que les représentations symboliques de ces aspects. Les effets sur l'apprentissage les plus significatifs de l'utilisation de MS se concentrent sur la construction de concepts, la compréhension et les relations. Par ailleurs, le processus d'apprentissage qui a été mis en place dans le cadre du projet MS a permis de participer au développement d'une gamme de compétences qui donnent aux étudiants la capacité de résoudre des problèmes variés.

En résumé, le projet MS a permis de créer une dynamique d'innovation en s'appuyant, pour la soutenir et la fortifier, sur les moyens offerts aujourd'hui par les technologies de la communication. En parallèle, il s'agissait aussi de mettre en place des outils de collecte systématique de données permettant d'observer, de décrire et d'analyser comment de nouveaux dispositifs techno-pédagogiques prennent leur place au sein du milieu scolaire. C'est l'élaboration progressive du modèle théorique qui a servi de cadre conceptuel à cette description et à cette analyse que nous nous proposons de développer ci-après.

5.4. Evolution des conceptions en matière d'innovation techno-pédagogique

5.4.1. D'une conception technocentrée vers une conception sociocentrée

Dans sa version originale, le modèle de description et d'analyse de l'innovation est articulé autour de deux axes : un axe dynamique, représenté verticalement sur la figure 5.2, qui rend compte du processus d'innovation, et un axe topologique, représenté horizontalement sur la figure 5.2, qui permet de définir les différents sous-systèmes par référence auxquels l'innovation va se construire. L'axe dynamique conduit à situer le processus d'innovation en fonction de trois moments essentiels désignés par les termes *adoption*, *implantation* et *routinisation*. Dans ce texte, nous souhaitons revenir sur ces intitulés en soulignant les limitations que leur utilisation engendre, compte tenu de l'évolution des conceptions en matière d'innovation depuis que le modèle initial a été proposé.

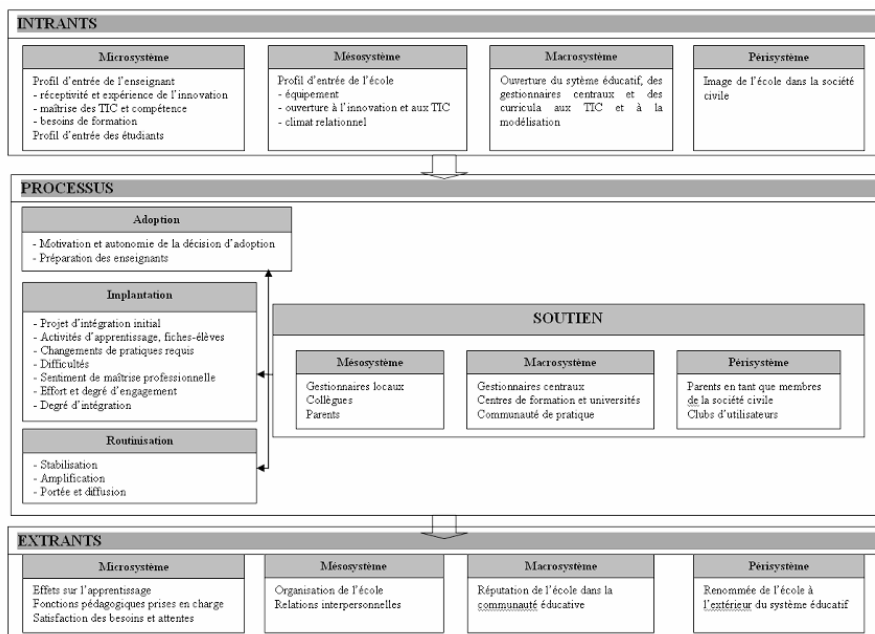


Figure 5.2. Modèle de l'innovation techno-pédagogique en contexte scolaire (Depover et Strebelle [DEP 97])

Si l'on examine les trois termes décrivant les étapes clés du processus d'innovation techno-pédagogique à la lumière des conceptions actuelles en matière d'innovation, il apparaît assez évident que ces termes se rattachent à un point de vue

qui accorde une place prépondérante aux effets structurants d'un dispositif technologique nouveau sur le milieu social. Le *rôle structurant* du dispositif technologique a notamment été mis en évidence par les travaux relatifs aux progiciels de gestion et à leurs effets déterminants sur les modes de fonctionnement des organisations. En contexte scolaire, une telle conception a souvent conduit à considérer les enseignants et les autres acteurs du système éducatif en termes de frein et de résistance, qu'il s'agit de vaincre pour implanter un nouveau dispositif techno-pédagogique, plutôt que de potentiel à exploiter.

En matière d'innovation, une autre conception a vu le jour, pour laquelle le rôle du *milieu social* dans le processus d'innovation a davantage été mis en exergue. L'étude des pratiques de *détournement* et d'*appropriation* des logiciels par les utilisateurs a notamment permis de démontrer l'importance des acteurs sur les mécanismes de diffusion des technologies. Barley [BAR 86], par exemple, considère qu'une technologie prend racine dans son contexte d'utilisation et qu'une même technologie peut conduire à des configurations organisationnelles différentes en fonction de son utilisation par les acteurs. Dans le même ordre d'idées, Bruillard et Baron [BRU 06] soulignent le rôle des acteurs sur la place que les technologies pourront occuper dans l'éducation.

Selon qu'on adhère à une conception qui accorde une place prépondérante à la valeur structurante de l'innovation techno-pédagogique sur le milieu social, ou qu'on privilégiera une approche qui met en avant le rôle déterminant du milieu social sur le devenir de l'innovation, l'importance qu'on accordera aux effets de l'environnement et des différents systèmes qui le structurent (méso, macro et périsystème) sur le processus d'innovation sera très différente. Ainsi, une conception « technocentrée » conduira à considérer l'innovation techno-pédagogique comme le facteur déclencheur du changement alors qu'une conception « sociocentrée » donnera aux variables du milieu un rôle prépondérant.

Dans le cadre d'une approche selon laquelle les acteurs issus du milieu social jouent un rôle essentiel dans le processus d'innovation, l'utilisation de termes comme adoption, implantation ou routinisation est difficilement acceptable car ils donnent à penser que les utilisateurs sont passifs et que les dispositifs technologiques leur sont imposés de l'extérieur.

Pour mettre en évidence, dans toute leur subtilité, les mécanismes qui président au changement et à l'innovation, c'est plutôt en termes de complémentarité qu'il convient d'envisager ces deux approches. Ainsi, tout en reconnaissant le rôle déclencheur parfois joué par la technologie, il est tout aussi clair que, pour qu'un changement s'installe, il faut une implication, une adhésion et une appropriation par

les utilisateurs. Remarquons que cette différenciation peut être rapprochée, mais pas assimilée à celle qui est souvent évoquée entre approche *top-down* et *bottom-up*. S'il est vrai qu'une approche par la technologie est le plus souvent initiée en suivant la voie hiérarchique alors qu'une approche qui met l'accent sur le rôle du milieu social émerge souvent du terrain, on peut très bien voir naître des changements technologiques à partir du milieu²⁰ et constater que les acteurs ne se mobilisent que pour répondre à des mots d'ordre venus d'en haut, émanant par exemple de leurs autorités de tutelles ou de leurs représentants syndicaux.

5.4.2. Un modèle issu de la sociologie de la traduction

Pour proposer un modèle qui intègre les deux perspectives que nous venons de distinguer, nous nous inspirerons d'une conception du changement issue de la *sociologie de la traduction* qui a été élaborée par Callon [CAL 86] et Latour [LAT 87] dans le contexte de l'entreprise. La théorie de la traduction reprend l'idée du déterminisme social, mais en remplaçant celui-ci au sein d'un réseau d'interactions qui prend en compte aussi bien les aspects technologiques que les aspects sociaux ou économiques de l'innovation. Ce ne sont plus uniquement les stratégies mises en œuvre par les utilisateurs qui construisent l'innovation, mais bien l'interaction que ces utilisateurs entretiennent avec les différentes catégories d'acteurs, y compris ceux qui sont directement responsables du changement technologique. L'idée de traduction se réfère au fait que les acteurs d'un projet sont amenés à réinterpréter leur vision d'une innovation en fonction de l'évolution de leur situation dans les différents réseaux humains qui se sont constitués autour de cette innovation. La théorie de la traduction implique que la controverse et la problématisation précèdent toujours l'émergence d'une innovation et que la constitution des réseaux, qui permettent à l'innovation de s'installer, se réalise à travers la résolution des controverses. Une innovation progresse non pas par ses qualités intrinsèques, mais grâce aux réseaux d'acteurs qu'on a pu mobiliser autour d'elle. Comme l'a montré Cros [CRO 04], il est clair que, en contexte éducatif, ces réseaux d'acteurs sont particulièrement importants et complexes, notamment parce qu'ils véhiculent souvent des points de vue divergents sur le bien-fondé d'un changement et sur les risques que comportent certaines formes d'*instrumentation* de la relation pédagogique.

Selon Akrich, Callon et Latour [AKR 88], l'analyse d'une innovation à travers la théorie de la traduction distingue quatre moments dans la mise en place de

20. C'est le cas notamment de la technologie *Wi-Fi* qui a été initiée par des militants associatifs américains ainsi que du *peer to peer* mis au point par des étudiants bricoleurs et passionnés de musique.

l'innovation et la construction des réseaux d'acteurs qui gravitent autour d'elle. La *problématisation* correspond à la définition provisoire du projet, ainsi qu'à l'identification des principaux acteurs et des controverses qui les caractérisent. Cette étape aboutit à l'élaboration de solutions dans lesquelles chacun devrait pouvoir se retrouver. L'*intéressement* décrit une étape au cours de laquelle différents acteurs vont déployer un certain nombre de stratégies en vue de rallier d'autres acteurs autour d'un objectif commun. La résolution de cette étape fait généralement appel à un médiateur en vue de concilier les intérêts des différents acteurs. L'*enrôlement* est l'aboutissement du processus d'intéressement lorsque celui-ci a réussi. Il consiste à attribuer un rôle à chacun des acteurs en vue de consolider le réseau. Enfin, la *mobilisation* correspond à l'implication d'une masse critique d'acteurs permettant d'assurer une certaine stabilisation de l'innovation.

Il s'agit, dans cette description du processus d'innovation, d'analyser l'évolution du rôle des acteurs, ce qui constitue un point de vue différent, mais aussi complémentaire par rapport au point de vue centré sur les phases du processus d'innovation que nous avons adopté dans le modèle proposé dans cette contribution.

A travers ces différentes étapes, la nature de ce qui constitue l'innovation peut évoluer considérablement en fonction des réseaux constitués, des interactions entre les acteurs au sein de ces réseaux et des types de rapports sociaux qui s'installent entre les acteurs (*coopératifs*, hiérarchiques, etc.). Il s'agit d'un processus interactif, mais aussi itératif, de sorte que ce qui a été défini à l'occasion d'une étape peut parfaitement être remis en cause lors d'une étape ultérieure. Selon la théorie de la traduction, l'innovation correspond à un changement en profondeur au niveau des acteurs concernés. Elle change leur mentalité, leurs représentations et leurs comportements en s'appuyant sur une mobilisation collective et un partage des connaissances.

5.5. Evolution d'un modèle pour la description et l'analyse de l'innovation

5.5.1. *Un processus d'innovation structuré en trois étapes*

L'évolution des idées en matière d'innovation et, plus particulièrement, les travaux que nous venons d'évoquer en ce qui concerne les changements liés aux nouveaux dispositifs techno-pédagogiques nous conduisent à une conception ouverte du processus d'innovation dans laquelle la notion de *réseau* d'acteurs occupe une place centrale et où la dynamique qui s'installe au sein du processus d'innovation est de nature itérative plutôt que linéaire.

L'idée proposée dans le modèle initial, selon laquelle l'innovation se déroulerait au sein d'un micro-système clairement identifiable et isolable des autres systèmes susceptibles d'agir sur le processus d'innovation, nous paraît devoir être assouplie pour faire place à celle de réseau qui, en s'élargissant progressivement, engloberait les différents sous-systèmes (méso-système, macro-système et périsystème). Les interactions au sein de ces différents sous-systèmes et entre eux doivent être analysées non seulement en termes d'influence positive ou négative sur le processus d'innovation, mais aussi en fonction des représentations qu'elles permettent de construire de l'innovation. Chacun des acteurs s'investit dans le processus d'innovation avec ses propres attentes, ses réticences et ses valeurs, en fonction desquelles le rôle qu'il jouera se définira progressivement, non seulement en tenant compte de ses caractéristiques personnelles, mais aussi en fonction des échanges qui prendront place au sein des réseaux auxquels il sera associé. Cette dynamique de réseau réglera non seulement le changement au niveau des individus, mais elle contribuera également à l'évolution des groupes d'acteurs et donc des représentations de l'innovation techno-pédagogique qui se construiront progressivement au fil du processus.

Même s'il n'a plus la valeur normative qui lui était associée dans le modèle initial, le découpage du processus d'innovation en trois étapes conserve, selon nous, un intérêt heuristique évident lorsqu'il s'agit de décrire et d'analyser le processus d'innovation. Un certain nombre d'amendements nous paraissent toutefois devoir être apportés à ce découpage afin d'éviter certaines simplifications auxquelles il a parfois conduit. Tout d'abord, comme nous l'avons déjà indiqué, l'évolution d'une étape vers l'autre ne s'inscrit pas dans une logique linéaire telle que le passage à l'étape suivante correspondrait à une rupture qui interdirait tout retour en arrière. Au contraire, la transition d'une étape vers la suivante correspond à une phase de perturbation telle que les retours en arrière sont fréquents, en particulier sous la pression des réseaux d'acteurs qui encadrent le processus. Compte tenu de la logique nouvelle dans laquelle s'inscrit le processus, les termes utilisés pour baliser l'innovation réclament aussi certaines mises au point terminologiques.

Le terme *adoption*, utilisé pour désigner la première étape, évoque trop directement, selon nous, une conception technocentrée de diffusion d'une innovation où la technologie serait définie *a priori*. Au contraire, le modèle que nous proposons ici s'efforce de mettre l'accent sur les intérêts et les valeurs des acteurs dans le processus d'appropriation et sur le modelage de la technologie en fonction des usages. Cette étape, qui correspond à la première mise en contact des acteurs avec ce que l'on pourrait considérer comme un prototype d'innovation (plus ou moins avancé selon la nature du changement qu'on a choisi de mettre en place), est l'occasion d'une appropriation active du dispositif par les acteurs et le point de

départ de la définition des usages à travers les réseaux qui seront constitués. Pour ces raisons, nous proposons d'utiliser pour désigner cette phase du processus d'innovation l'expression *appropriation par les acteurs* qui fait davantage référence à l'implication active des réseaux d'acteurs.

Le terme *implantation* résiste également assez mal à la conception du changement que nous souhaitons proposer ici. Le passage à une phase de stabilisation qui suit l'appropriation par les acteurs correspond davantage à une structuration des usages en vue de dégager ceux qui seront les plus porteurs et à la consolidation des réseaux à travers la spécialisation des rôles des acteurs (*l'enrôlement* selon Callon [CAL 86]). Parallèlement, ce qui était un prototype d'innovation prend progressivement forme à travers le modelage par les acteurs. Le rôle des réseaux pour soutenir le processus qui préside à l'affinage du dispositif et à la stabilisation des usages est particulièrement important. Pour refléter l'importance du point de vue des acteurs à cette étape du processus, nous proposons d'utiliser à ce niveau l'expression *structuration des usages*.

La troisième phase décrite par le terme *routinisation* dans le modèle initial s'inscrit dans la continuité de la phase précédente et correspond plus à un changement quantitatif par rapport à la phase précédente qu'à un changement réel des mécanismes impliqués. Les réseaux s'étoffent, les usages porteurs sont promus et le dispositif évolue vers une forme qui permettra sa diffusion à plus large échelle. Pour décrire les mécanismes en jeu à ce stade, nous parlerons de *diffusion et de stabilisation des usages*, ce qui nous paraît préférable au terme routinisation pour traduire l'idée que tout en se stabilisant le dispositif reste ouvert au changement et à l'intégration de nouveaux usages.

Pour caractériser cette troisième phase, nous avons choisi d'utiliser, contrairement à d'autres auteurs comme Owston [OWS 03], le terme *diffusion* plutôt que transfert pour mettre en évidence le *caractère progressif* du passage de l'échelle locale à une utilisation plus extensive. L'idée de transférer ce qui a marché à un endroit vers d'autres lieux est rarement porteuse de succès car la réussite d'une innovation est intimement liée au *contexte* (institutionnel mais aussi humain) qui lui a donné naissance. Si l'on ajoute à cela le fait que beaucoup d'innovations liées aux technologies requièrent un changement en profondeur des pratiques d'enseignement (ce que Fullan [FUL 01] appelle une *reculturalisation*), il n'y a rien d'étonnant au fait que beaucoup de changements pédagogiques liés aux technologies échouent au moment de passer de l'usage *pionnier* par quelques enthousiastes à un usage extensif par la communauté éducative. Comme l'a bien souligné Cuban [CUB 99] à propos des Etats-Unis, il existe encore aujourd'hui un décalage flagrant entre le développement de l'accès aux technologies et la progression de leur usage en classe.

La diffusion implique un *enracinement* des pratiques dans le milieu social qui fournira le substrat à partir duquel l'innovation pourra s'épanouir. Si l'on veut donner à une innovation toutes ses chances de se développer, il faut assurer au départ un isomorphisme suffisant entre le milieu de naissance et le milieu d'accueil plutôt que de considérer que l'arrivée d'une technologie nouvelle va tout changer. Pour reprendre l'idée de reculturalisation émise par Fullan (*ibidem*), il faut préparer le changement de culture pédagogique avant d'introduire les technologies qui permettront d'asseoir et de conforter ce changement plutôt que croire que l'innovation technologique va tout changer par sa simple présence en classe. La réussite du processus de diffusion dépend pour une large part de la manière dont il a été préparé lors des étapes précédentes et plus particulièrement de l'infiltration des milieux sociaux, d'abord proches puis plus éloignés, par un état d'esprit favorable au changement de sorte que lorsque l'occasion de faire évoluer leurs pratiques se présentera, les acteurs trouveront naturel de suivre la voie tracée par les pionniers.

5.5.2. Rôle des acteurs et évolution des technologies

La conception de l'innovation que nous avons progressivement introduite au fil de ce texte privilégie clairement le rôle des acteurs, mais elle n'ignore pas pour autant le poids des technologies et des injonctions centralisatrices. Elle permet de rendre compte des initiatives issues du milieu social qui s'inscrivent dans une démarche de type *bottom up*, mais elle fournit aussi une base intéressante pour analyser les mécanismes de réappropriation par les acteurs d'une innovation de type *top down* imposée de l'extérieur. En particulier, elle permet de comprendre pourquoi une idée venue d'en haut, même si elle a été testée auprès de quelques volontaires, trouve rarement crédit auprès de ceux auxquels elle a été imposée. Ce n'est généralement pas l'innovation en soi qui est rejetée, mais plutôt l'idée de se voir imposer des usages à la construction desquels on n'a pas été associé. À côté du refus direct, il existe aussi des stratégies de rejet plus subtiles qui consistent, par exemple, à tout faire pour que les choses ne marchent pas de manière à pouvoir constater par la suite qu'on avait effectivement raison d'être méfiant.

Pour analyser l'innovation liée aux technologies, il faut également prendre en compte le fait que le processus d'innovation en trois phases que nous venons de décrire s'inscrit dans des cycles plus amples qui correspondent à l'évolution globale des technologies. Ces cycles ont été décrits pour la première fois dans le contexte éducatif par Cuban [CUB 86]. Ainsi, selon cet auteur, à une première phase d'enthousiasme suscité par une technologie nouvelle auprès d'individus novateurs, succède une phase de désillusion qui correspond aux réactions des praticiens face aux problèmes techniques et pédagogiques que pose l'usage de la technologie en classe. Vient ensuite une phase où les critiques deviennent plus prononcées et sont

reprises avec plus ou moins d'intensité par les milieux officiels, ce qui conduit généralement à l'abandon progressif de la technologie. Ainsi, depuis une vingtaine d'années, on a connu les modalités d'exploitation des TIC en classe suivantes : l'enseignement d'un langage de programmation, le développement de la pensée à travers l'environnement LOGO, l'exploitation en classe de logiciels d'exercices puis de certains progiciels (traitement de texte, base de données, etc.), les hyper et les multimédias, la recherche sur Internet, la communication à distance et l'apprentissage *collaboratif*. Sans qu'une forme d'exploitation chasse véritablement l'autre, on doit bien constater que certaines modalités sont très présentes, dans les usages, mais aussi dans les recherches, à certaines périodes alors qu'elles le sont beaucoup moins à d'autres.

Si l'on prend en considération ces cycles dont l'ampleur s'étale généralement sur plusieurs années, le destin qui sera réservé à une innovation dépendra également de la phase du cycle dans laquelle elle s'inscrit. Ainsi, si elle est introduite à un moment qui correspond au début d'un cycle, l'enthousiasme lié à l'arrivée d'une technologie nouvelle soutiendra certainement l'intérêt qu'elle éveillera auprès des enseignants alors que, au contraire, l'apparition d'une innovation à un moment où la technologie sur laquelle elle repose est considérée comme vieillissante réduira ses chances d'intéresser le public auquel elle est destinée. Dans cette perspective, on peut dire que le projet MS bénéficie de la vague d'intérêt suscitée par les possibilités d'exploitation à l'école primaire et secondaire des technologies permettant de mettre œuvre un apprentissage collaboratif à distance.

5.6. Rôle des réseaux et des communautés de pratique dans l'innovation

5.6.1. Réseaux et segmentation de l'ensemble des acteurs

Comme nous l'avons vu, la notion de *réseau* occupe une place centrale dans les théories modernes de l'innovation. Dans cette section, nous tenterons de montrer comment ces réseaux s'élaborent progressivement pour devenir, comme le souligne Wenger [WEN 98], de véritables lieux d'apprentissage organisés sous forme de *communautés de pratique* (évoquées par Hotte, voir chapitre 10, paragraphe 10.2.3). A l'instar de ces auteurs, nous utiliserons la notion de communauté de pratique pour désigner un groupe structuré d'individus investis dans la réalisation de tâches communes qui impliquent une réelle *réification*, c'est-à-dire une production d'objets partagés (matériels ou cognitifs) donnant sens à la tâche réalisée (en l'occurrence pour MS certains éléments de scénario pédagogique). Par contre, le terme réseau fait référence à une forme d'engagement plus superficielle qui ne se traduit pas nécessairement par des productions communes.

Par souci de clarté, nous avons conservé la segmentation de l'ensemble des acteurs en fonction de leur proximité par rapport au processus d'innovation telle qu'elle a été proposée dans le modèle initial. Cela nous a amenés à distinguer entre le microsystème qui regroupe les acteurs en prise directe avec le processus d'innovation, le mésosystème, le macrosystème et le péricystème qui permettent d'englober l'école, son environnement social et le système éducatif dans son ensemble. La schématisation adoptée dans la figure 5.3 pour représenter les liens entre les différents systèmes et le processus d'innovation met en évidence l'enchâssement des différents niveaux qui traduit la possibilité de constituer des réseaux d'échanges impliquant des acteurs de niveaux différents. Par exemple, un réseau peut se structurer en intégrant les enseignants directement impliqués dans le processus d'innovation, mais aussi les responsables d'établissements (mésosystème) ainsi que le personnel chargé de l'inspection scolaire (macrosystème). Ces réseaux peuvent concerner un projet local bien circonscrit, un système éducatif dans son ensemble ou encore plusieurs systèmes éducatifs. Cette conception, qui intègre les différents niveaux systémiques plutôt que de les cloisonner, est en accord avec les propositions de Senge, Cambron-McCabe, Lucas, Smith, Dutton et Kleiner [SEN 00] qui insistent sur la nécessité que tous les niveaux du système travaillent de concert pour que le changement réussisse.

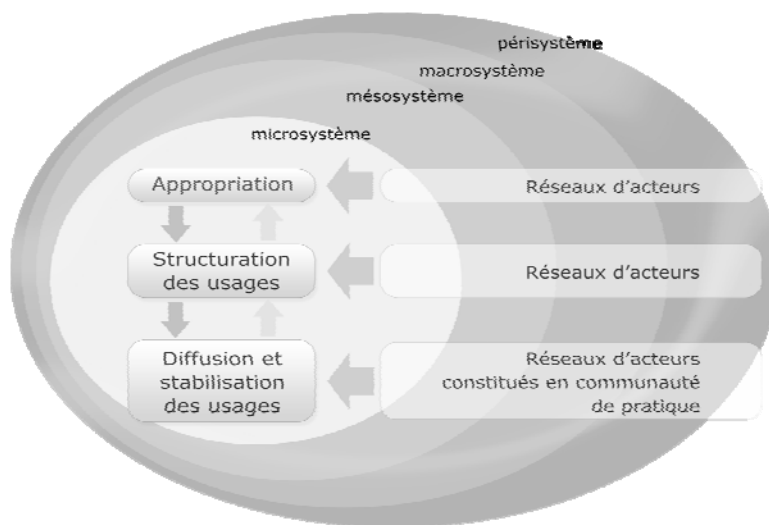


Figure 5.3. *Modèle du processus d'innovation techno-pédagogique*

5.6.2. L'organisation des réseaux dans le cadre de MS

Dans le cadre du projet MS, de manière à avoir une relation de proximité avec les acteurs impliqués dans la recherche collaborative, les réseaux d'utilisateurs ont été constitués à l'intérieur des aires géographiques restreintes dans lesquelles sont situées les quatre universités partenaires : la province du Hainaut en Belgique, la région Pays de Loire en France, l'île de Rhodes en Grèce et la région de Lisbonne au Portugal. Plusieurs réseaux ont été constitués par pays, à l'intérieur de chacune de ces quatre zones. Dans cette perspective, des contacts ont été pris tantôt avec des gestionnaires centraux susceptibles d'aider les différents partenaires à identifier des enseignants intéressés par l'usage des TIC dans leur classe, tantôt directement avec des enseignants ayant déjà été associés à des activités de recherche. Ces réseaux ont été constitués en tenant compte des particularismes nationaux. C'est ainsi qu'en Belgique francophone, par exemple, chacun des trois grands pouvoirs qui organisent un enseignement ont été impliqués séparément avec leurs propres responsables pédagogiques (inspecteurs de l'enseignement organisé par la communauté française et conseillers pédagogiques pour l'enseignement provincial et communal, ainsi que pour l'enseignement catholique).

L'existence d'un réseau fait non seulement référence aux interactions qui s'installent entre différentes personnes, mais aussi au résultat de ces interactions qui fait qu'un point de vue propre au réseau se dégage progressivement à travers l'échange et la négociation. Plus que l'avis de chacune des individualités qui le constitue, c'est le point de vue qui est porté par un réseau qui marquera l'évolution de l'innovation. Pour expliquer et comprendre la constitution des réseaux, on peut utilement faire appel aux mécanismes décrits par la théorie de la traduction, en particulier à la problématisation et à la controverse en ce qui concerne la phase d'appropriation, à l'intéressement et à l'enrôlement lors de la structuration des usages et à la mobilisation pour la phase de diffusion.

Le rôle et le niveau d'intégration des réseaux pourront évoluer avec le temps et la phase du processus d'innovation concernée. Ainsi, lors de la phase d'appropriation, les variables locales liées au mésosystème (gestionnaires locaux, enseignants, parents) prendront plus de poids dans la manière dont l'innovation se mettra en place et dans les usages qui seront construits. Par la suite, comme nous avons pu le constater dans le projet MS, les facteurs issus du macrosystème, tels que les politiques nationales en matière d'intégration des technologies, pèseront davantage et complexifieront les démarches permettant de définir des politiques d'usage transversales qui transcendent les particularismes locaux.

A ce propos, dans le projet MS, tous les concepteurs se rejoignent sur la mise en œuvre d'une démarche contextualisée et créative par résolution de problèmes proposés dans des *situations d'apprentissage* concrètes et, autant que faire se peut, proches du vécu des élèves. Cependant, la réaction des acteurs des réseaux d'utilisateurs de MS a été très variable selon les spécificités du matériel et les particularismes nationaux. Par exemple, les *scénarios didactiques* centrés sur une démarche hypothético-déductive, avec modélisation des possibles, ont été davantage prônés et exploités en France et en Grèce qu'en Belgique et au Portugal, où la préférence fut nettement donnée aux activités d'apprentissage s'appuyant sur une modélisation de situations directement ou indirectement observées. Concrètement, dans le premier type de scénarios, les élèves sont amenés à élaborer une liste de paramètres possibles d'une situation ou d'un phénomène donné, à représenter ces paramètres à l'aide de l'espace de modélisation de MS, à analyser le comportement dynamique de ces modèles et à les confronter à la réalité de manière à déterminer quels sont les paramètres significatifs.

Dans le second type de scénario, les élèves construisent avec MS différents modèles d'une situation expérimentale donnée, décrivent le comportement dynamique de ces modèles, les comparent avec les modèles élaborés par leurs pairs et dans un deuxième temps, avec les modèles scientifiquement admis comme les lois d'un phénomène. Ce débat sur la forme à donner aux *scénarios pédagogiques* illustre bien le type d'échanges qui prennent place lors de la phase d'appropriation de l'innovation par les acteurs, et les controverses qui peuvent naître de l'expression des points de vue individuels et des différences culturelles existant entre les pays impliqués dans un projet.

Sans pour autant négliger l'importance des autres acteurs, de nombreuses études comme celles réalisées par Fullan [FUL 01, FUL 99] mettent en évidence le rôle central joué par les enseignants dans la dynamique de réseau. C'est un apport déterminant du fonctionnement en réseau que de créer des conditions favorables à l'émergence de partenariats locaux, mais aussi nationaux et internationaux, dans le cadre desquels les enseignants ont l'occasion de faire évoluer leurs pratiques en les confrontant avec celles de collègues agissant dans des environnements scolaires parfois fort éloignés. Il est important de remarquer que la possibilité d'encadrer le fonctionnement du réseau par un dispositif de communication à distance adéquat est particulièrement utile pour les enseignants qui, contrairement aux responsables, n'ont que très peu d'occasions de se rendre à l'étranger pour rencontrer des collègues. Dans ce contexte, les échanges virtuels relayés par des outils modernes de communication seront bien souvent amenés à remplacer les échanges en présentiel.

5.6.3. Des réseaux aux communautés de pratique

La notion de *communauté de pratique* offre un cadre intéressant pour structurer le fonctionnement des réseaux susceptibles de soutenir le processus d'innovation. Nous avons expérimenté une telle pratique au niveau national et international dans le cadre du processus d'innovation associé à MS, à partir de la mise en place d'un serveur qui gère différentes formes d'échanges au sein de la communauté d'utilisateurs de cet environnement technologique. Parmi les échanges suscités, on trouve, bien entendu, des forums de discussion qui constituent des lieux de mise en commun des pratiques, mais aussi des outils plus spécifiques permettant notamment l'échange de scénarios pédagogiques et de ressources mises à jour régulièrement. Un nombre significatif de situations d'apprentissage sont ainsi directement accessibles depuis les pages nationales intitulées « Ecoles et matériels » de l'espace enseignants du site Web de MS. Depuis cet espace, un utilisateur potentiel de MS peut télécharger le descriptif d'une activité d'exploitation de l'environnement de modélisation ou un document de travail destiné aux élèves.

Cette organisation sous forme de communauté de pratique correspond au passage d'une phase de structuration des usages à une *stabilisation progressive* de ceux-ci sous l'effet structurant de l'espace d'échange à distance. L'émergence progressive d'une véritable communauté mobilise également des mécanismes proposés dans la théorie de la traduction, en particulier l'intéressement qui décrit bien le jeu des acteurs aux prises avec la nécessité de présenter les productions de chacun (scénarios pédagogiques) sous une forme permettant leur usage par d'autres et l'enrôlement qui conduira à définir les rôles de chacun dans la mise à disposition et la gestion des ressources communes.

Dans le projet MS, ces ressources constituent un matériel concret et directement utilisable, mais ces ressources peuvent également être adaptées à des contextes d'utilisation autres que ceux pour lesquels elles ont été conçues. Par ce caractère d'adaptabilité, nous rejoignons la notion de *scénario d'usage* proposée par Vivet [VIV 91]. Sa diversité est mise en évidence sur la base de sept critères : le niveau d'enseignement, la discipline et le thème, la démarche pédagogique (constructive, inductive, hypothético-déductive), le mode d'intégration, le moment de l'intégration, la durée de l'activité et les moyens mis en œuvre.

Le terme *communauté* correspond à un approfondissement de l'organisation en réseau, en ce sens qu'il requiert un degré plus intense d'implication des acteurs qui conduit à construire un véritable sentiment d'appartenance et à dégager des points de vue communs qui caractériseront son fonctionnement. Dillenbourg, Poirier et Carles [DIL 03] vont plus loin dans la caractérisation de la notion de communauté en insistant sur l'importance de la construction d'une *identité* propre au groupe qui

conduit à la création d'une microculture avec ses règles et son langage propre. Il est clair qu'il s'agit là d'une forme avancée d'organisation à laquelle ne peuvent prétendre tous les réseaux constitués autour d'une innovation et qui correspond à un objectif à long terme susceptible de contribuer à la stabilisation et à la diffusion des usages. Pour revenir au modèle de la traduction que nous avons évoqué pour décrire le processus d'innovation, le passage du fonctionnement en réseau à un fonctionnement communautaire favorisera la réinterprétation du dispositif innovant et son appropriation par les membres de la communauté. Un autre apport significatif de l'organisation en communauté de pratique relève de sa fonction d'apprentissage. En effet, dans le cadre d'un processus d'innovation, la communauté constituera un lieu privilégié d'acculturation qui lui permettra d'évoluer par l'initiation de nouveaux membres et l'approfondissement de la culture commune.

Dans le cadre du projet MS, le rapprochement des réseaux d'utilisateurs de l'environnement technologique en cours de développement s'est d'abord effectué au niveau national. Naturellement les communautés nationales se sont constituées par rapprochement entre les différents réseaux de praticiens et de chercheurs. Par contre les partenariats internationaux entre réseaux d'enseignants ont vu le jour plus tardivement, avec un caractère moins spontané et plus limité. A l'initiative des chercheurs, des contacts ont été noués entre les réseaux de manière bilatérale. Des échanges virtuels ont été organisés et encadrés entre enseignants belges francophones et français d'une part, et entre enseignants grecs et portugais d'autre part (en anglais pour ces derniers). Grâce à la proximité géographique des réseaux belges et français, une rencontre en présentiel a pu être organisée dans la région Pays de Loire. Si ces rapprochements ont permis des échanges fructueux basés sur la mise en commun de ressources et la confrontation de pratiques, ils ont également débouché sur un partenariat entre les enseignants d'un réseau grec et d'un réseau portugais qui, en collaboration étroite avec des chercheurs, ont conçu et exploité le scénario d'une activité centrée sur la communication et le travail collaboratif entre leurs élèves.

Pour que la communauté puisse conserver sa dynamique et évoluer vers une certaine stabilisation des usages, il est important qu'elle adopte des modes d'organisation qui lui permettront de prendre en compte les points de vue et les expériences des nouveaux acteurs en les intégrant à sa culture plutôt que d'adopter une attitude normative visant à censurer les originalités et les initiatives par peur de remettre en question ce qui a été élaboré au fil du temps. C'est tout l'art des animateurs de la communauté que d'assurer cette dynamique et de faire en sorte que l'innovation ne se perde pas dans la routine.

Même si, comme nous l'indiquons par l'intitulé de la troisième phase du processus d'innovation, on peut s'attendre avec le temps à une certaine stabilisation de l'innovation, il ne s'agit pas d'un processus figé, fermé à toute évolution. Au contraire, pour qu'un dispositif techno-pédagogique puisse continuer à vivre, il est essentiel qu'il soit capable de s'adapter aux évolutions technologiques, mais aussi aux idées nouvelles issues des différents milieux pédagogiques dans lesquels il prendra place. La diffusion des usages n'implique pas une simple réplication de ce qui a été élaboré par d'autres, mais plutôt une *reconstruction personnelle* au sein d'une communauté dont le rôle est d'encadrer et de soutenir, et non d'imposer.

Comme le souligne Savoie-Zajc [SAV 04], le recours au concept de communauté de pratique permet de mieux comprendre le rôle des différents acteurs dans le processus d'innovation en considérant notamment la *culture professionnelle* à laquelle ils appartiennent. En particulier, la nature des liens qui existent entre les communautés de praticiens et de chercheurs est souvent éclairante pour décrire les dynamiques qui se mettent en place aux différentes étapes du processus d'innovation et les difficultés qui peuvent apparaître en raison des particularités de chacune de ces microcultures. Culture de pratique et culture de recherche sont généralement amenées à coexister dans un processus d'innovation, sans que l'une prenne nécessairement le pas sur l'autre. Au contraire, c'est plutôt dans l'enrichissement mutuel de ces deux cultures que le changement pourra trouver l'énergie nécessaire pour dépasser les doutes et les remises en cause qui jalonnent son parcours.

5.7. Pour une modélisation dynamique du processus d'innovation

Comme nous l'avons déjà évoqué dans ce texte, le modèle proposé est le résultat d'un double mouvement : d'une part, une utilisation répétée, par nous et par d'autres chercheurs, d'un modèle du processus d'innovation qui s'est progressivement amendé et, d'autre part, une prise de conscience du *rôle des réseaux* à l'occasion de notre implication dans un projet mobilisant des acteurs multiples. Ce double mouvement, qui consiste, de manière conjointe et complémentaire, à partir d'un modèle pour décrire et analyser le déroulement d'un processus et à s'appuyer sur l'observation des phénomènes pour élaborer ou raffiner un modèle préalablement conceptualisé, nous paraît particulièrement riche lorsqu'il s'agit de *saisir la dynamique* d'un processus d'innovation.

Si on le place dans cette conception dynamique, le modèle proposé (voir figure 5.3) n'est qu'un moment, un instantané, dans un processus en mouvement permanent qui, de notre point de vue, caractérise la modélisation des phénomènes humains en particulier lorsqu'ils s'inscrivent dans un contexte technologique en évolution constante. Toutefois, malgré son caractère labile et fugace, un tel modèle

n'est pas pour autant inintéressant. En effet, il permet d'éclairer une réalité qui, compte tenu de sa complexité, est souvent difficile à cerner, il guide l'observateur vers certains aspects importants à côté desquels il risquerait de passer, il structure la perception d'un phénomène pour la rendre plus cohérente... mais, il peut aussi être sclérosant en restreignant la vision de l'observateur à ce qui est prévu dans le modèle. Pour cette raison, il nous semble important de préserver le double mouvement que nous venons d'évoquer, qui conduit à remettre en permanence en cause le modèle pour le faire mieux coller à la réalité.

Certains pourraient considérer que cette absence de permanence questionne la notion même de modèle en s'appuyant sur le fait qu'un modèle doit permettre de décrire un ensemble de phénomènes relevant d'un champ de connaissances donné et donc, de disposer d'une certaine permanence. Notre conception est différente en ce sens que nous considérons qu'un modèle peut parfaitement être efficace tout *en évoluant de manière continue* en fonction des contextes dans lesquels il est appliqué et de l'usage qu'en fait l'utilisateur. Selon la conception que nous proposons, la production d'un modèle n'est pas une fin en soi mais plutôt *un outil* qui permet d'appréhender une réalité à un moment déterminé. En ce sens, il peut aider le praticien à découvrir une réalité selon une approche différente de celle qu'il aurait utilisée spontanément ou stimuler la réflexion du chercheur. Mais il en est des modèles comme du livre que le narrateur, dans les nourritures terrestres de Gide, conseille à Nathanaël de jeter lorsqu'il l'aura lu pour s'émanciper... et construire ses propres modèles.

5.8. Remerciements

La recherche décrite dans cet article a été réalisée dans le cadre du projet « ModellingSpace » IST-2000-25385, financé par le programme « IST-School of Tomorrow » de la Commission européenne. Ont collaboré à ce projet l'université d'Angers, l'université de l'Egée, l'université de Patras, l'université nouvelle de Lisbonne, Schlumberger Sema en Espagne et l'université de Mons-Hainaut.

5.9. Bibliographie

[AKR 88] AKRICH M., CALLON M., LATOUR B., « A quoi tient le succès des innovations ? Premier épisode : l'art de l'intéressement », *Annales des mines : Gérer et comprendre*, vol. 121, p. 4-17, 1988.

[BAR 86] BARLEY S.R., « Technology as an Occasion for Structuring : Evidence from Observations of CT Scanners and the Social Order of Radiology Departments », *Administrative Science Quarterly*, vol. 31, p. 78-108, 1986.

- [BRU 06] BRUILLARD E., BARON G.-L., « Usages en milieu scolaire : caractérisation, observation et évaluation », dans Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.), *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*, p. 269-283, Hermès, Paris, 2006.
- [CAL 86] CALLON M., « Eléments pour une sociologie de la traduction », *L'année sociologique*, vol. 36, p. 169-208, 1986.
- [CRO 04] CROS F., « Emergence et installation de l'innovation scolaire : pertinence de la théorie de la traduction », dans Bronckart J.-P., Gather Thurler M. (dir.), *Transformer l'école*, De Boeck, collection Raisons éducatives, Bruxelles, 2004.
- [CUB 86] CUBAN L., *Teachers and Machines : The Classroom Use of Technology since 1920*, Columbia University Press, Columbia, 1986.
- [CUB 99] CUBAN L., « The Technology Puzzle. Why is Greater Access not Translating into Better Classroom Use », *Education Week*, vol. 18, p. 47-68, 1999.
- [CUB 01] CUBAN L., *Oversold and underused : Computers in schools*, Harvard University Press, Boston, 2001.
- [DEP 97] DEPOVER C., STREBELLE A., « Un modèle et une stratégie d'intervention en matière d'intégration des NTI dans le processus éducatif », dans Pochon L.-O., Blanchet A. (dir.), *L'ordinateur à l'école : de l'introduction à l'intégration*, p. 73-98, Institut de Recherche et de Documentation pédagogique, 1997.
- [DEP 98] DEPOVER C., QUINTIN J.-J., DE LIEVRE B., « Logique pour l'évaluation d'un service de formation et de conseil à distance : le projet Ecomanagement », *Actes du 3^e colloque européen du télétravail et des télé-activités*, p. 177-193, Serre Chevalier, 1998.
- [DEP 02] DEPOVER C., MARCHAND L., *E-learning et formation des adultes en contexte professionnel*, De Boeck, Bruxelles, 2002.
- [DEP 03] DEPOVER C., STREBELLE A., « Implication d'une communauté de praticiens innovateurs dans le design et l'implantation d'un environnement collaboratif de modélisation », *Actes du 2^e Colloque de Guéret, Les communautés virtuelles éducatives*, 2003, disponible sur le Web : <http://www.pedagogies.net> (consulté en mai 2006).
- [DIL 03] DILLENBOURG P., POIRIER C., CARLES L., « Communautés virtuelles d'apprentissage : e-jargon ou nouveau paradigme », dans Taurisson A., Sentini A. (dir.), *Pédagogies.net. L'essor des communautés virtuelles d'apprentissage*, Presses de l'Université du Québec, 2003.
- [FUL 99] FULLAN M., *Change forces : The Sequel*, Falmer Press, 1999.
- [FUL 01] FULLAN M., *The New Meaning of Educational Change*, Teachers College Press, 2001.
- [GRU 92] GRUNBERG J., SUMMERS M., « Computer Innovation in Schools : A review of selected research literature », *Journal of Information Technology for Teacher Education*, p. 1-14, 1992.

- [HRY 05] HRYSHCHUK S., La formation professionnelle continue aux risques du *e-learning* : enjeux et réalités d'un processus d'industrialisation de la formation dans une grande entreprise, Thèse de doctorat, Université de Paris VIII, 2005.
- [KOM 03] KOMIS V., AVOURIS N., DIMITRACOPOULOU A., MARGARITIS M., « Aspects de la conception d'un environnement collaboratif de modélisation à distance », dans C. Desmoulins, P. Marquet, D. Bouhineau (dir.), *Actes de la Conférence EIAH 2003*, ATIEF/INRP, Paris, p. 271-282, 2003, disponible sur le Web : <http://archiveseiah.univ-lemans.fr/consulter.php> (consulté en février 2007).
- [LAT 87] LATOUR B., *Science in action*, Harvard University Press, Boston, 1987.
- [OWS 03] OWSTON R.D., « School Context, Sustainability and Transferability of Innovation », dans Kozma R.B. (dir.), *Technology, Innovation and Educational Change. A Global Perspective*, p. 125-161, International Society for Technology in Education, 2003.
- [SAV 04] SAVOIE-ZAJC L., « Les communautés de pratique des chercheurs et des enseignants : contribution de la recherche à l'accompagnement du changement », dans Pelletier G. (dir.), *Accompagner les réformes et les innovations en éducation*, p. 211-235, L'Harmattan, Paris, 2004.
- [SEN 00] SENGE P., CAMBRON-MCCABE N., LUCAS T., SMITH B., DUTTON J., KLEINER A., *Schools that learn*, Doubleday, New York, 2000.
- [SMY 03] SMYRNAIOU Z., FERRET S., WEIL-BARAIS A., « L'enseignement scientifique ne peut-il être que virtuel ? », *Actes du colloque CIRUISEF, Les technologies de l'information et de la communication : Mutations dans la formation scientifique universitaire*, Dakar, Sénégal, 2003.
- [STR 03] STREBELLE A., DEPOVER C., STYLIANIDOU F., DIMITRACOPOULOU A., « ModellingSpace : The Setting up of Human Networks as Vital Part of the Design and Implementation of a Technology-Supported Learning Environment », dans Constantinou C., Zacharia Z. (dir.), *Computer Based Learning in Sciences, Conference Proceedings 2003, vol. 1 : New Technologies and their Applications in Education*, p. 1029-1039, University of Cyprus, 2003.
- [STR 05] STREBELLE A., DEPOVER C., KOMIS V., « Analyse des possibilités d'intégration d'un environnement collaboratif de modélisation dans des contextes scolaires contrastés », dans Tchounikine P., Joab M., Trouche L. (dir.), *Actes de la Conférence EIAH 2005*, p. 225-236, UM2/INRP, Paris, 2005, disponible sur le Web <http://archiveseiah.univ-lemans.fr/consulter.php> (consulté en février 2007).
- [VIV 91] VIVET M., « Usage des tuteurs intelligents : prise en compte du contexte, rôle du maître », dans Baron M., Gras R., Nicaud J.-F. (dir.), *Actes des deuxièmes journées EIAO*, ENS de Cachan, p. 239-246, 1991.
- [WEN 98] WENGER E., *Communities of practice : Learning, meaning and identity*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.

Chapitre 6

Mieux articuler activités pour l'apprentissage, artefacts logiciels et connaissances : vers un modèle d'ingénierie centré sur les scénarios

6.1. Introduction

Depuis maintenant plusieurs dizaines d'années, de nombreux artefacts logiciels ont été développés dans les laboratoires pour explorer de nouvelles modalités d'apprentissage. Une difficulté identifiée par plusieurs auteurs [TCH 06, NOD 05] concerne le transfert de propositions expérimentées dans des contextes de laboratoire vers des usages à plus large échelle. Cette question concerne, d'une part, l'ingénierie des artefacts (comment ceux-ci sont-ils conçus et construits pour assurer robustesse, interopérabilité, réutilisabilité ou malléabilité ?) et, d'autre part, leurs conditions d'appropriation par les apprenants et les enseignants (comment ces artefacts sont-ils intégrés dans les usages ?).

Comme le soulignent Bruillard et Baron [BRU 06], des usages d'environnements informatisés ont progressivement été institués dans le cadre scolaire ; la genèse de ces usages s'inscrit sur de longues périodes et dépend de multiples facteurs. Parmi les facteurs identifiés, les auteurs citent 1) *les capacités des environnements*

technologiques eux-mêmes, 2) le rôle des contextes non techniques associés (par exemple, le type d'accès aux équipements, les règles de fonctionnement disciplinaires, les modalités d'évaluation, la pression du marché) et 3) *le rôle et les représentations des acteurs* (élèves, enseignants, parents, institutions, etc.). Ainsi, le degré de marge de manœuvre institutionnelle des enseignants, les valeurs qu'ils défendent, leur degré de maîtrise des technologies, leur perception des possibilités offertes sont autant de facteurs influant sur les usages effectifs dans les classes.

Notre recherche s'effectue dans un type de contexte que nous avons commencé à analyser dans le projet CAUSA²¹ [PER 06c, VIL 06], celui de l'intégration des technologies numériques dans le cadre du système scolaire, en se focalisant plus précisément sur l'enseignement secondaire. Il s'agit d'identifier et d'analyser les représentations et les pratiques existantes ou imaginées des enseignants relatives à la mise en place de nouvelles situations d'apprentissage. Ces situations concernent les activités effectuées dans le contexte de la classe et également les activités complémentaires réalisées à distance par les élèves. Comme l'a souligné un récent colloque que nous avons organisé sur le thème de la scénarisation [PER 06b], les initiatives émergent dans les dispositifs classiques de formation diffèrent notablement de celles élaborées dans les dispositifs de téléapprentissage.

Une première différence tient à la nature du soutien institutionnel accordé. Dans l'enseignement supérieur, des efforts importants ont été accomplis pour favoriser l'émergence de nouveaux *dispositifs* privilégiant la distance et proposant des alternatives aux systèmes classiques. Parallèlement, des travaux de recherche ont été conduits pour élaborer des modèles ou des méthodes permettant d'accompagner la mise en place de ces dispositifs. On doit notamment souligner les importants travaux menés depuis le milieu des années 1990 par le laboratoire LICEF pour mettre au point des méthodes permettant de rationaliser la mise en œuvre de systèmes de téléapprentissage [PAQ 02]. Plus récemment, l'approche *Learning Design* est apparue au début des années 2000 pour compenser les limites d'une vision trop centrée sur les objets d'apprentissage [KOP 01, LAB 06] et proposer des langages permettant de décrire et de rendre techniquement opérationnelles ces nouvelles situations d'apprentissage. Ce courant est en particulier représenté par les travaux de Koper, auteur de la proposition IMS Learning Design²² [KOP 05, LEJ 04]. Il est important de garder à l'esprit que ces modèles et ces méthodes ont été élaborés dans le contexte de la formation à distance, et que leur utilisation dans d'autres cadres exige d'étudier la validité des concepts sur lesquels ils reposent.

21. Collecte et analyse des usages de scénarisation d'activités.

22. Désignée plus simplement par IMS LD dans la suite de ce chapitre.

Une deuxième différence concerne la configuration différente des métiers. La mise en place de dispositifs tels que ceux de la Télé-université au Québec [TEL] a progressivement conduit à de nouvelles définitions. Ainsi, les métiers de concepteur de contenu, de médiatiseur, de tuteur, de référent technique, de scénariste, d'ingénieur pédagogique, etc., sont progressivement apparus pour assurer la qualité des formations tout en tenant compte des contraintes liées à une démarche d'industrialisation. Cette définition de nouveaux rôles et leur répartition entre différents spécialistes ne peut se transposer aisément dans les dispositifs classiques de formation. Un ensemble de facteurs sociaux, économiques, organisationnels ou techniques exclut d'envisager une reconfiguration rapide et à large échelle des métiers. La mise en place de nouvelles solutions repose alors sur les praticiens²³ qui doivent cumuler plusieurs fonctions pouvant aller de la conception des supports numériques au suivi à distance d'élèves en dehors des heures de cours, en passant par la maîtrise des environnements numériques de travail. Les certifications de compétences, en cours de mise en place en France, illustrent l'étendue des compétences qu'un enseignant devrait idéalement maîtriser pour intégrer les technologies numériques dans ses pratiques.

Malgré cette relative stabilité des métiers dans le milieu académique, des mutations rapides s'opèrent dans les usages des acteurs concernés. Ces mutations concernent non seulement la sphère privée, mais également des usages éducatifs non forcément prescrits par l'institution, tels que la gestion des notes et de la préparation des cours pour les enseignants. Mais ces derniers sont « bien moins nombreux à intégrer [les technologies numériques] dans leur enseignement et à avoir une vision claire des potentialités qu'elles offrent pour le transformer. Ils dépendent, pour cela, de l'accompagnement de pairs plus avancés, de formateurs, d'incitateurs » [BRU 06]. La généralisation des outils de communication renforce progressivement l'émergence de *communautés d'échange* regroupant ces enseignants, le plus souvent selon des critères de proximité disciplinaire. Même si la portée de ces nouveaux *réseaux* reste limitée, ils permettent d'envisager une dissémination plus rapide de savoir-faire, de modèles, de méthodes et d'outils entre pairs. Il existe ainsi, en 2006, un accroissement notable des initiatives [EDU] visant à mutualiser, non seulement des logiciels, mais également des *scénarios pédagogiques* permettant aux praticiens d'en décrire la mise en œuvre. Il faut toutefois noter que la forte disparité des formalismes utilisés dans l'expression de ces scénarios constitue un frein notable aux échanges effectifs.

23. Nous emploierons dans la suite de ce document les termes de *praticiens* et d'*apprenants* pour désigner respectivement, d'une part, les enseignants et les formateurs et, d'autre part, les élèves, lycéens, étudiants ou adultes concernés par les dispositifs académiques d'apprentissage.

Il est donc possible de faire un double constat :

- de récents travaux de recherche, élaborés dans le contexte de la formation à distance, proposent des langages permettant de décrire et d'opérationnaliser les situations d'apprentissage utilisant les technologies numériques ;
- il existe un besoin croissant, pour les praticiens, de disposer de formalismes efficaces permettant de mutualiser leurs pratiques d'intégration des technologies numériques dans les classes. Les modèles issus de la recherche apparaissent aujourd'hui trop complexes pour être maîtrisés par ces praticiens.

C'est spécifiquement à ce dernier verrou que nous nous attaquons dans le projet CAUSA, en visant à terme à proposer aux praticiens des modèles et des outils leur permettant de concevoir, opérationnaliser, mettre en place, suivre, adapter, analyser, mutualiser les scénarios qu'ils souhaitent mettre en œuvre ou qu'ils ont mis en œuvre. Les hypothèses de travail du projet sont notamment les suivantes :

- les concepts clés (scénarios, plans d'activités, séquences, situations d'apprentissage) sont souvent utilisés dans des acceptions diverses ; il convient de disposer d'un corpus minimal de concepts partagés pour favoriser les échanges entre praticiens et également entre praticiens et chercheurs ;
- les enseignants sont engagés dans des processus où ils cumulent les rôles de concepteur, d'utilisateur et d'intégrateur de ressources numériques ; ils doivent, de ce fait, être considérés comme des *acteurs* à part entière des processus d'élaboration et d'exploitation des artefacts logiciels pour l'apprentissage ;
- les enseignants sont confrontés à des problèmes d'intégration qui ne se limitent pas à l'usage d'une solution technique « prête à l'emploi ». Guin et Trouche (voir chapitre 7, paragraphe 7.2.2) soulignent la complexité de la gestion didactique par le maître, au cours de l'activité, des *artefacts* présents dans l'environnement.

Il ressort de ces hypothèses la nécessité de mener une réflexion pour :

- la mise au point d'un consensus portant sur la terminologie utilisée de façon conjointe par les chercheurs et par les praticiens. Cette recherche de consensus a pour corollaire la confrontation des corpus de concepts et de termes utilisés aujourd'hui dans des champs disciplinaires différents (informatique, sciences de l'éducation, sciences cognitives, didactiques, etc.) ;
- la mise au point de modèles conceptuels transférables, basés sur un corpus terminologique compréhensible, prenant en compte les avancées de la recherche et manipulables par les praticiens. L'objectif est ici d'apporter des éléments de réponse au problème soulevé par Bruillard et Baron [BRU 06], qui soulignent que les enseignants doivent posséder : « une maîtrise de l'organisation de ces nouvelles modalités de formation, qui commencent généralement par complexifier la situation didactique ». Les modèles proposés devront prendre en compte la complexité des

contextes organisationnels, pédagogiques et techniques du système académique et être en accord avec les représentations et les valeurs défendues par les praticiens, telles que la prise en compte de la dimension didactique [PER 06c] ;

– *l'élaboration de processus adaptés* permettant aux praticiens d'intégrer plus aisément les technologies numériques dans leurs pratiques. Ceci soulève un problème d'ingénierie des situations d'apprentissage articulé à un problème d'ingénierie des artefacts logiciels mis en jeu.

Ce chapitre vise à contribuer à cette réflexion en se focalisant sur l'articulation entre les systèmes d'artefacts utilisés, les connaissances mises en jeu et les activités d'apprentissage proposées. Dans ce cadre, nous nous référons à l'approche théorique instrumentale [RAB 95] selon laquelle un artefact est initialement conçu et réalisé pour répondre à un objectif précis, alors que *l'instrument* résulte de l'usage de l'artefact à travers la constitution d'un ensemble de *schèmes* d'utilisation. Cette approche est notamment évoquée dans cet ouvrage par Guin et Trouche (voir chapitre 7) et Hotte et Contamines (voir chapitre 10). Dans l'artefact sont inscrits des modes opératoires, accessibles à travers des fonctions *constituantes* prévues par le ou les concepteurs. Dans la phase d'usage, ces fonctions ne sont pas les seules présentes et peuvent être complétées par des fonctions *constituées* créées par l'utilisateur de l'artefact au travers de son activité, invalidant partiellement les hypothèses initiales des concepteurs. Le constat sur lequel nous basons notre approche est le suivant : une partie importante des artefacts logiciels, visant à être déployés dans le cadre scolaire, ont été initialement conçus dans les laboratoires selon des modèles dans lesquels la complexité des contextes d'exploitation n'a nécessairement été que partiellement prise en compte. En particulier, les environnements auxquels sont confrontés les élèves s'articulent autour de systèmes complexes d'instruments : l'introduction d'un nouvel objet peut difficilement être envisagée sans prendre en compte les autres artefacts avec lesquels il sera amené à interopérer. L'absence de prise en compte de cette dimension *systémique*²⁴ peut conduire à d'importantes difficultés d'appropriation de la part des utilisateurs.

Ce chapitre est structuré de la façon suivante :

- dans une première partie, nous présentons les approches récentes d'ingénierie basées sur *les objets et les activités d'apprentissage* ;
- dans une deuxième partie, nous tentons d'apporter un éclaircissement sur certains concepts utilisés au sein des différents courants de recherche. Après avoir

24. Nous utilisons dans cet article le terme *systémique* comme adjectif, pour traduire la nécessité de considérer les différents composants d'une situation d'apprentissage informatisée et la nature de leurs relations.

rappelé les différentes acceptions, nous suggérons des définitions pouvant contribuer à l'élaboration d'un consensus terminologique entre chercheurs et praticiens. Nous portons un intérêt particulier au concept d'*environnement*, qui, utilisé dans de multiples sens, est une source fréquente d'ambiguïtés ;

– la troisième partie est consacrée à nos propositions d'ingénierie qui s'articulent autour du concept de *scénario d'apprentissage*, considéré comme un élément central pour traduire la dimension systémique des environnements à mettre en place. Nous proposons en particulier de structurer un scénario d'apprentissage en quatre facettes (organisation-observation-régulation-intentions) et d'en définir le cycle de vie en prenant en compte la complexité des systèmes d'acteurs et les exigences de souplesse et de malléabilité mises en avant par les praticiens ;

– enfin, en conclusion, nous traçons les perspectives liées à nos propositions qui concernent à la fois leur validation par les praticiens et leur utilisation comme fondements du développement d'outils logiciels.

6.2. Approches basées sur les objets et les activités d'apprentissage

6.2.1. L'approche par objets d'apprentissage

Depuis le milieu des années 1990, la croissance rapide des TIC a incité un ensemble d'acteurs (chercheurs, décideurs économiques, institutionnels, etc.) à proposer de nouveaux modèles d'ingénierie basés sur le concept de *learning object* ou objet d'apprentissage. Ce courant est issu d'une volonté de rationalisation de la production de ressources, de nature identique, développées dans de nombreux contextes différents [DOW 00]. Les concepts de *partage* et de *réutilisation* deviennent centraux. L'approche par objet d'apprentissage défend en particulier l'idée qu'un dispositif peut être construit par agrégation de « briques numériques » de granularité pouvant varier depuis un document élémentaire jusqu'à un cursus de formation complet. Cette vision s'est notamment concrétisée par la spécification LOM [PAS 03] qui propose un jeu de *métadonnées* permettant de décrire chaque objet d'apprentissage à la manière d'une ressource documentaire, en y adjoignant des informations d'ordre pédagogique.

La mise en œuvre de l'approche par objets d'apprentissage nécessite de disposer d'environnements distribués de création et de gestion des ressources numériques. Cette réflexion, initiée autour de la notion de vivier de connaissances, s'est ensuite approfondie au travers des concepts de système de gestion d'apprentissage ou de gestion de contenus d'apprentissage (LMS et LCMS en anglais, pour *Learning [Content] Management System*). Plus récemment, en France, la notion

d'environnement numérique de travail (ENT) élargit ces définitions en proposant d'intégrer dans un même espace des fonctions auxquelles ont accès les différents acteurs : apprenants, enseignants, mais aussi tuteurs, responsables de formation, personnels administratifs, parents d'élèves, etc.

Dans un contexte de développement des dispositifs de formation à distance, des propositions de standardisation ont été faites pour définir des règles de composition de cursus et de contrôle de l'activité. La spécification IMS *Simple Sequencing* [IMS] reprend l'idée selon laquelle la conception d'un dispositif de formation repose sur un *enchaînement simple* d'objets numériques d'apprentissage adaptés à la situation ciblée. La proposition SCORM [SCO] intègre, quant à elle, un modèle de contrôle de l'activité basé sur un protocole élémentaire de suivi de l'apprenant. La terminologie utilisée (*lesson*) et les valeurs proposées pour le contrôle (*passed, completed, failed, incomplete, browsed, not attempted*) suggèrent un apprentissage fondé sur la consultation de ressources et la vérification de connaissances ou de compétences à l'aide de tests [PER 03]. Peu de place est accordée aux démarches prenant en compte les échanges entre apprenants ou la nature de leurs interactions, de leurs manipulations et de leurs productions.

En résumé, l'approche par objets d'apprentissage est associée aux caractéristiques suivantes :

- une dissociation explicite est réalisée entre plusieurs types d'artefacts : a) les *ressources d'apprentissage* distribuées sur les réseaux et répertoriées au sein de *viviers* ou banques de ressources et b) les *environnements numériques de travail* proposant un accès à des ensembles structurés de ressources, ainsi qu'à un ensemble de services dont ceux de planification et de suivi ;

- la notion *d'environnement* prend une nouvelle dimension : les différents acteurs sont amenés à interagir avec un ensemble de composants gérés au sein du même espace d'accueil. En termes d'ingénierie, il se pose alors la question des conditions *d'interopérabilité* entre des composants issus de différents contextes. Il devient nécessaire de définir des *standards* permettant à ces composants d'être correctement décrits et indexés (voir par exemple le LOM) ou de faire l'objet d'un suivi de l'avancement de l'apprenant (voir par exemple le modèle d'exécution de SCORM) ;

- la *connaissance est traitée de façon différente* au sein des objets d'apprentissage non conçus initialement pour coopérer (par exemple une simulation et un hypertexte traitant de la loi d'Ohm). Les moyens d'agrèger ces ressources sont principalement basés sur des logiques d'enchaînement ou de navigation.

6.2.2. Emergence d'une approche centrée sur l'activité

Au début des années 2000, l'apparition de nouveaux outils de communication et d'échange et la mise en place de dispositifs de formation à large échelle ont mis en évidence les limites de l'approche centrée sur les objets d'apprentissage. Illustrant cette critique, le courant du *Learning Design* propose un point de vue différent en affirmant que ce ne sont pas les objets de connaissance qui sont centraux, mais les *activités* qui leur sont associées : « *A lot of research about learning processes provides evidence for this stance that learning doesn't come from the provision of knowledge solely, but that it is the activities of the learners into the learning environment which are accountable for the learning. This is not to say the knowledge objects are not of importance in learning objects, but I say that they are not the key thing in effective learning processes* » [KOP 01]. Koper propose de décrire les situations d'apprentissage à l'aide d'un « langage de modélisation » visant à prendre en compte la plus grande diversité d'approches pédagogiques, tout en assurant l'interopérabilité des ressources et des unités d'apprentissage produites.

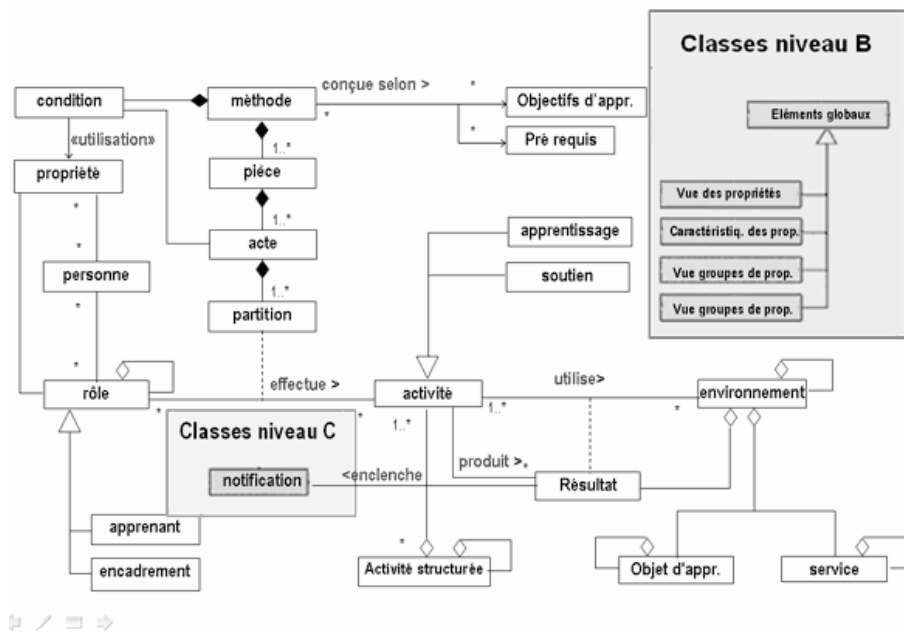


Figure 6.1. Modèle conceptuel de la spécification IMS LD [BUR 05]

Se basant sur un modèle conceptuel détaillé (voir figure 6.1), le langage IMS LD proposé par Koper permet de définir les relations entre 1) les objectifs en termes de connaissances ou d'habiletés, 2) les acteurs de l'apprentissage, 3) les activités réalisées et 4) l'environnement et les contenus nécessaires à la mise en place de la situation d'apprentissage. Utilisant une métaphore théâtrale, IMS LD définit la structure d'une unité d'apprentissage comme un ensemble d'actes composés de partitions associant des activités à des rôles. Une activité se déroule dans un environnement incluant des services (*chat*, forum, etc.) et des objets d'apprentissage décrits à l'aide du LOM. IMS LD propose un choix de modélisation par niveau, permettant de définir des scénarios génériques (niveau A), des scénarios prenant en compte les caractéristiques des apprenants (niveau B), ou encore des scénarios prenant en compte les résultats de leur activité (niveau C). Depuis quelques années, IMS LD fait l'objet de travaux visant à 1) implanter la spécification dans les environnements numériques de travail, 2) inciter les communautés de pratique enseignantes à s'approprier le modèle (voir le projet UNFOLD [UNF]), ou 3) fournir des moyens d'échange et de partage de scénarios (voir par exemple le projet IDLD [LUN 06]).

Il faut cependant souligner que, si IMS LD se positionne aujourd'hui comme un candidat à la standardisation, d'autres propositions concurrentes existent. En particulier la proposition Learning Design Language, élaborée à partir d'un modèle conceptuel différent (le *modèle de participation*), semble plus adaptée à la description de situations collaboratives [MAR 06].

En résumé, les points principaux de l'approche centrée sur l'activité sont les suivants :

- une *situation d'apprentissage* est décrite comme un jeu d'acteurs (apprenants, groupes d'apprenants, enseignants, tuteurs, etc.) qui vont interagir au travers des rôles qu'ils occupent et de l'environnement technique dans lequel ils évoluent ;
- le terme d'*environnement* désigne, dans cette approche, l'ensemble des artefacts techniques mobilisés dans une situation d'apprentissage ;
- en termes d'artefacts numériques composant l'environnement, Koper [KOP 01] identifie, d'une part, *les objets d'apprentissage* et, d'autre part, *les outils et services* tels que le courriel, les messageries instantanées, les forums, etc. ;
- la connaissance est exprimée à deux niveaux. Elle est associée en termes de prérequis et d'objectifs aux différents niveaux d'activité (activité élémentaire, activité composite, unité d'apprentissage) et elle peut être, ou non, représentée explicitement au sein des objets d'apprentissage, en fonction de leur type.

6.3. Éléments pour l'élaboration d'un consensus terminologique

Nous visons, à terme, la mise au point d'un consensus portant sur un « corpus terminologique minimal », utilisé de façon conjointe par les chercheurs et par les praticiens. Cet objectif nécessite, dans un premier temps, la confrontation des concepts utilisés au sein de différents courants de recherche. Dans ce chapitre, nous nous intéressons en particulier à étudier 1) les relations entre les connaissances et les activités susceptibles de permettre de les acquérir et 2) les relations entre les activités et les systèmes d'artefacts manipulés. Aujourd'hui, au moins deux courants de recherche s'intéressent à préciser ces relations.

Le premier courant, essentiellement francophone, s'appuie sur un cadre conceptuel s'articulant autour de théories didactiques développées en mathématiques, ainsi que sur l'approche instrumentale développée par Rabardel [RAB 95]. Ce courant est notamment représenté dans cet ouvrage par Guin et Trouche (voir chapitre 7) qui proposent d'adopter une approche spécifique de la conception des ressources, en se basant sur l'approche instrumentale.

Le second courant, qui s'inscrit dans le courant de l'*Instructional Design*, s'intéresse à fournir des cadres conceptuels, des modèles, des méthodes et des langages génériques aux personnes chargées de la conception, de la mise en place et du suivi de situations d'apprentissage instrumentées par l'ordinateur. Comme le soulignent dans cet ouvrage Henri et Maina (voir chapitre 8, paragraphe 8.1.1), ce courant « s'inscrit dans la problématique actuelle posée par les nouveaux besoins sociaux en matière d'efficacité et de qualité dans l'utilisation des TICE et vise les efforts de standardisation pour favoriser la réutilisation pédagogique et l'interopérabilité technologique d'objets d'apprentissage ». Il s'appuie notamment sur les travaux du LICEF et de Koper, évoqués au paragraphe précédent.

Notre objectif est de concourir à l'éclaircissement des tensions entre ces deux courants qui s'appuient sur des cadres théoriques mettant en jeu des corpus riches de concepts. Des termes proches, tels que situation d'apprentissage ou situation didactique, peuvent représenter des concepts différents. Il est donc nécessaire de préciser le sens des termes et concepts sous-jacents manipulés. Pour chaque famille de concepts, nous rappelons les acceptions couramment retenues, puis nous suggérons, quand c'est possible, une proposition de définition illustrée à l'aide d'exemples. Ces suggestions, qui constituent la base de nos propositions (voir section 6.4), visent également à susciter un débat au sein de la communauté EIAH. Ainsi nous proposons d'étudier les concepts suivants : 1) dispositif et contexte de formation, 2) situation d'apprentissage et situation didactique, 3) environnement, milieu et infrastructure et 4) objet d'apprentissage, ressource et artefact.

6.3.1. Les concepts de dispositif et de contexte de formation

Dans un sens large, en dehors de tout contexte éducatif, la notion de dispositif peut être considérée sous un angle soit technique, soit organisationnel. En informatique par exemple, un dispositif désigne une « unité qui assure la réalisation d'une opération particulière, indispensable au bon fonctionnement d'un système informatique, d'une machine ou d'un appareil » [DIC]. Cette définition peut être élargie à la notion de dispositif sociotechnique, si l'on inclut les capacités du dispositif technique à être intégré dans les usages, comme le font Depover et Strebelle (voir chapitre 5). Ainsi un dispositif peut être considéré comme « (une) organisation ou (un) agencement systématique par un agent intentionnel des éléments et des moyens (physiques et symboliques, naturels et artificiels) d'une action et/ou situation en vue de générer certains résultats » [LIN 00].

Décliné dans un contexte éducatif, le concept de *dispositif de formation* est en général associé à cette vision sociotechnique. Derycke, Hoogstoel, Peter et Vantroys [DER 06] considèrent, par exemple, les *dispositifs de formation médiatisés/instrumentés par les technologies* comme « un cas particulier de dispositifs de formation, toujours vus comme des systèmes sociotechniques et avec lesquels les humains interagissent, à des niveaux multiples et avec des outils techniques divers ». Nous inscrivant dans cette dernière approche, nous suggérons la définition suivante : *un dispositif de formation est un agencement stable et reproductible de moyens matériels et humains, correspondant à une configuration spécifique d'organisation sociale, administrative et technique, destiné à accompagner un public déterminé dans un apprentissage, dont les objectifs ont été explicitement définis.*

Ainsi, on peut considérer comme exemples de dispositifs de formation : une licence professionnelle proposée par l'université X, le niveau cours préparatoire de l'enseignement primaire en France, ou un cursus sciences de l'éducation offert à distance.

La notion de *contexte de formation* est à rapprocher de celle de dispositif : lors de sa mise en œuvre, le dispositif offre un ensemble de contextes correspondant à des configurations spécifiques des moyens offerts ; un contexte de formation regroupe l'ensemble des conditions associées à une situation spécifique mise en œuvre. Il correspond à une configuration particulière, organisationnelle et temporelle, des moyens humains et matériels, construite à partir des moyens offerts de façon générale par le dispositif de formation.

6.3.2. Les concepts de situations d'apprentissage et didactique

Comme le montre cet ouvrage, différentes déclinaisons du concept de situation peuvent être fréquemment rencontrées, telles que *situation d'apprentissage* ou *situation didactique*. Il ne s'agit pas ici de trouver un consensus pour ces deux termes, mais de tenter d'en préciser la sémantique, afin de permettre des éclairages mutuels.

6.3.2.1. La notion de situation d'apprentissage

Selon Faerber [FAE 04], « une *situation d'apprentissage* est un ensemble de conditions et de circonstances susceptibles d'amener une personne à construire des connaissances ». Cette définition large peut être appliquée à des contextes variés, en présence ou à distance, et avec des degrés de granularité différents ; on peut aussi bien décrire une activité réalisée en classe primaire que l'organisation d'un cursus d'ingénieur de trois ans. Faerber s'inscrit dans la première approche en proposant une typologie centrée sur les caractéristiques de l'activité et des interactions entre les participants. Il distingue ainsi : la *situation-problème*, le *débat*, le *projet*, la *résolution de problème*, l'*étude de cas*, l'*analyse critique*, la *cyber-enquête* et les *exercices*.

Selon Faerber, « le terme “situation d'apprentissage” fait référence à trois concepts : 1) une problématique qui est énoncée par l'enseignant pour être soumise à l'apprenant ; 2) un traitement de cette problématique par les apprenants, encadrés par un enseignant ; 3) un environnement technologique, social et un ensemble de ressources numériques, dans lequel se trouve l'apprenant ».

Koper [KOP 05] propose, quant à lui, une définition s'inspirant des travaux de l'*Instructional Design* [REI 99]. Une situation d'apprentissage y est caractérisée par un ensemble de conditions et peut être évaluée à l'aide des résultats produits :

- les *conditions d'apprentissage* décrivent les objectifs de l'apprentissage (en termes de connaissance, compétence, comportement), les caractéristiques de l'apprenant (en termes de connaissances antérieures, de motivation), les modalités d'apprentissage (individuelles ou collectives, le lieu de l'apprentissage), ainsi que les caractéristiques techniques de ressources utilisées ;
- les *résultats de l'apprentissage* sont évalués à l'aide de critères tels que l'efficacité, l'efficience, l'attractivité des activités proposées et la facilité d'accès.

Selon ces définitions, la connaissance apparaît comme un des facteurs situationnels et n'est souvent décrite qu'en termes de prérequis et de connaissances visées. Elle n'intervient donc pas de façon centrale, comme c'est le cas dans la théorie des situations didactiques.

6.3.2.2. La notion de situation didactique

La *théorie des situations didactiques* (ou TSD), développée par Brousseau [BRO 98], se focalise sur les activités de résolution de problème, dans le contexte précis de l'apprentissage des mathématiques. Cette théorie porte une attention particulière aux interactions entre le maître, les élèves et le *milieu* lié à un problème spécifique dans la classe. Pour Brousseau, une situation *a-didactique* est un « jeu » construit par l'enseignant pour ses capacités à conduire l'apprenant d'un certain état de connaissance vers un nouvel état, sans qu'apparaisse pour l'apprenant une intention d'enseignement. Cette situation se caractérise par un ensemble de relations réciproques des apprenants avec un milieu qui évolue au cours de l'activité.

La TSD a inspiré de nombreux travaux visant à intégrer la dimension didactique dans la conception de logiciels pour l'apprentissage. Comme l'indiquent Luengo, Vadcard et Balacheff [LUE 06], la conception des EIAH a longtemps été dominée par les approches issues de l'*Instructional Design* qui « ne vont pas jusqu'à l'identification chez un apprenant de l'indice d'une connaissance (et donc, de celui d'un apprentissage), c'est-à-dire le lien entre activité et connaissance ; ce lien est spécifique à chacune des disciplines, voire de secteurs au sein de disciplines ». L'organisation d'un apprentissage consiste alors « à créer un environnement et à spécifier un problème qui permettront à l'apprenant d'engager un processus dont le résultat sera la construction de la connaissance visée ». Il devient nécessaire de « s'assurer que les caractéristiques de l'environnement sont telles que les processus d'adaptation puissent conduire à la connaissance visée ».

Selon cette approche, l'accent est mis sur la connaissance mise en jeu, qui apparaît comme l'élément central qui va déterminer aussi bien l'organisation de la situation d'apprentissage que les processus d'adaptation.

6.3.2.3. Situation d'apprentissage ou situation didactique ?

Les définitions de situation d'apprentissage issue du courant learning design et de situation didactique dans le champ de la TSD apparaissent comme différentes :

- le concept de situation d'apprentissage se veut générique, alors que celui de situation didactique est fortement lié à une discipline, un jeu d'acteurs et un objectif d'apprentissage donnés ;
- la mise en scène des activités dans une situation d'apprentissage de type *learning design* correspond à une organisation d'activités résultant d'une analyse réalisée *a priori* et se basant sur une ou plusieurs procédures-types de résolution ; à l'inverse, la mise en scène d'une situation didactique est conduite par la recherche de la séquence appropriée et réajustable d'activités susceptibles de provoquer les apprentissages visés.

Cependant, dans le cadre de notre recherche sur la scénarisation pédagogique, il nous semble nécessaire d'intégrer cette dimension dynamique et de proposer des langages permettant d'exprimer la *malléabilité* des situations d'apprentissage.

6.3.3. Les concepts d'environnement et de milieu

6.3.3.1. Les environnements d'apprentissage informatisés

Selon Faerber [FAE 04], l'environnement dans lequel s'inscrit une situation d'apprentissage est constitué de plusieurs composants :

– *l'environnement social* « est défini par le profil des apprenants (...) et des enseignants, la manière d'instituer les différents regroupements avant la mise en situation, la qualité des liens qui préexistent dans la communauté éducative, des rôles de chacun dans cette communauté » ;

– *l'environnement technique* est « l'environnement informatique d'apprentissage humain, le dispositif de formation caractérisé par la nature et l'agencement des outils mis en œuvre ou des services proposés » ;

– *l'environnement des ressources numériques* comprend « l'ensemble des ressources mises à disposition telles que les cours en ligne, les supports médiatisés, les systèmes d'autoévaluation, les simulations et qui sont en relation avec la situation d'apprentissage ».

Cette nature multidimensionnelle d'environnement est également soulignée par Doré et Basque [DOR 98] qui proposent d'introduire le terme d'*environnement d'apprentissage informatisé* dans le champ de sciences de l'éducation : « Le concept d'environnement d'apprentissage informatisé englobe, tout à la fois, l'idée de la présence de ressources informatiques pour soutenir la démarche des apprenants, l'idée d'une vision cognitiviste et constructiviste de l'apprentissage et l'idée d'un lieu réel ou virtuel qui loge des "systèmes" en interaction ». Selon cette perspective, l'environnement est considéré de façon macroscopique et regroupe un ensemble de dimensions sociales, techniques et épistémiques.

6.3.3.2. Les environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH)

Le terme EIAH est apparu pour marquer l'élargissement du champ de l'EIAO²⁵, dont les origines résidaient dans l'application des avancées de l'intelligence artificielle dans l'enseignement [BAL 97] : « Certains travaux actuels visent ainsi des environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH) dans

25. EIAO a successivement désigné l'« enseignement intelligent assisté par ordinateur » et « environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur ».

lesquels coopèrent agents humains et agents artificiels, ce qui nécessite des expérimentations, des conceptualisations et des stratégies différentes de celles explorées pour le “théâtre classique” de l’ordinateur individuel, avec son unité de lieu et de temps ». La définition couramment retenue dans la communauté EIAH [TCH 04] est la suivante : « un EIAH est un environnement informatique conçu dans le but de favoriser l’apprentissage humain, c’est-à-dire la construction de connaissances chez un apprenant ».

Une ambiguïté relative de cette définition réside dans la portée de l’expression *environnement informatique*. Désigne-t-on un artefact développé pour un apprentissage précis ? Désigne-t-on le système d’instruments informatiques résultant de l’« orchestration instrumentale » [GUI 02] mise en place dans un contexte précis d’apprentissage ? Ou bien s’agit-il de l’environnement numérique de travail permettant d’intégrer les ressources et les services proposés à l’apprenant ?

6.3.3.3. Une hiérarchie d’environnements imbriqués

Selon la définition classique, un environnement informatique peut être considéré comme « l’ensemble du matériel, des logiciels, des communications réseau, de la documentation et des procédures qui fonctionnent ensemble pour fournir un type spécifique de service » [DIC]. Au niveau logiciel, le concept est souvent associé à celui de système d’exploitation qui coordonne l’ensemble des fonctions assurées par un ordinateur. Si l’on transpose cette définition dans un contexte éducatif, un environnement informatique pour l’apprentissage consisterait littéralement en l’ensemble des ressources matérielles et logicielles fournies aux acteurs d’une situation d’apprentissage instrumentée à l’aide d’un ordinateur.

Afin de préciser le concept d’environnement, nous proposons une classification en distinguant deux niveaux : celui des artefacts techniques et celui de systèmes d’artefacts construits sur la base des premiers (voir figure 6.2). Au niveau le plus haut, l’environnement d’apprentissage informatisé comprend une dimension sociale et une dimension technique.

L’*environnement technique* se décline lui-même en un environnement informatique et un environnement non informatique. L’*environnement informatique* comprend les artefacts matériels et les artefacts logiciels nécessaires à la mise en place de la situation d’apprentissage. Le polymorphisme croissant des dispositifs numériques peut conduire à utiliser un *environnement matériel* hétérogène : ordinateurs, réseaux, assistants personnels, tableaux blancs interactifs, etc.

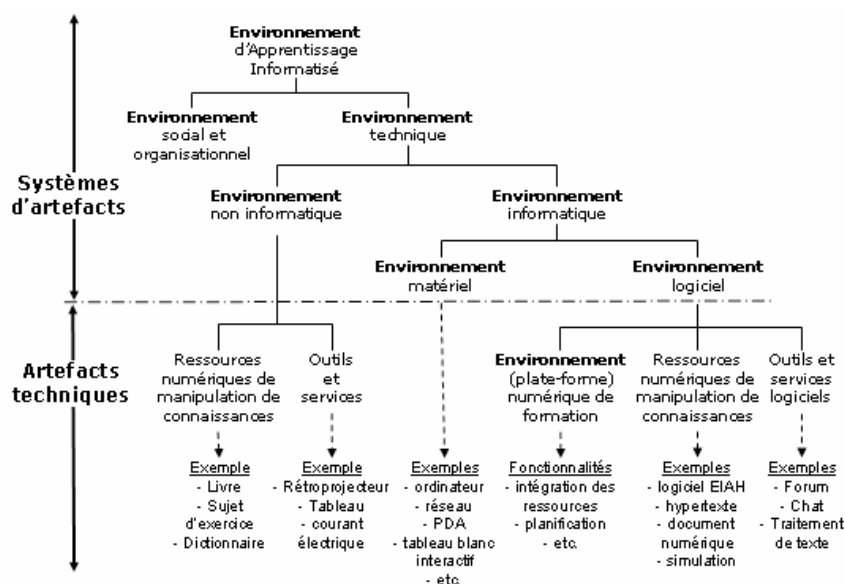


Figure 6.2. Proposition d'organisation des concepts d'environnements et d'artefacts

L'*environnement logiciel*²⁶ comprend trois types d'artefacts :

- les *environnements (plates-formes) numériques de formation* qui sont des logiciels spécifiques destinés à intégrer sous une forme homogène les fonctions nécessaires à l'exploitation des situations d'apprentissage, dont notamment l'accès aux ressources et la mise à disposition en temps voulu des outils et des services ;
- les *outils et services* nécessaires à la réalisation des activités ;
- les *ressources numériques de manipulation de connaissance*, parmi lesquelles on peut trouver des documents ou des logiciels adaptés à la réalisation d'activités d'apprentissage spécifiques.

Le concept de *milieu*, développé dans le cadre de la théorie des situations didactiques, peut sembler proche du concept d'environnement pris dans son sens le plus général : « le milieu est constitué des objets (physiques, culturels, sociaux, humains) avec lesquels le sujet interagit dans la situation » [BRO 98]. Une importante différence réside dans la relation très étroite entre le concept de milieu et

26. L'environnement logiciel s'appuie sur une infrastructure logicielle qui est « là pour faciliter, mais aussi contraindre, prescrire la projection du nouveau dispositif sur un support technique qui en permet l'opérationnalisation dans un ensemble de contraintes techniques, économiques et organisationnelles données » [DER 06].

celui de connaissance [LUE 06] : « Le “milieu pour l'apprentissage” est constitué des éléments de l'environnement qui ont une dimension épistémique : quelles connaissances antérieures, quel matériel, quelle organisation, quel contrat didactique en vigueur dans la classe. Ces éléments sont spécifiques à l'apprentissage visé ». A ce titre, l'EIAH, en tant qu'élément du milieu, va jouer un rôle dans la situation d'enseignement-apprentissage ». Nous reprendrons donc à notre compte les définitions fournies par Guin et Trouche dans cet ouvrage (voir chapitre 7) : « Pour créer les conditions d'un apprentissage, l'enseignant conçoit une situation, puis les apprenants interagissent avec un milieu, lié à cette situation (incluant, par exemple, les connaissances antérieures des apprenants par rapport à l'apprentissage visé). Cette situation est proposée dans un environnement (intégrant éventuellement des artefacts logiciels) ».

La classification que nous proposons souligne la polysémie du terme *environnement* (indiqué en gras dans la figure 6.2) : nous pensons qu'il serait bénéfique de ne pas utiliser le terme environnement lorsqu'on désigne un artefact technique logiciel. Les expressions « plate-forme numérique de formation » ou encore « logiciel pour l'apprentissage » pourraient remplacer favorablement les expressions existantes, l'expression « environnement informatique pour l'apprentissage humain » devant, selon nous, être réservée à un niveau systémique et rester une entité abstraite regroupant l'ensemble des artefacts matériels et logiciels proposés dans un contexte d'apprentissage donné.

6.3.4. Les entités concrètes : objets, ressources et artefacts

Selon la théorie instrumentale, un artefact est le résultat, abstrait ou concret, d'une activité humaine. Il s'agit de replacer ce terme dans un cadre plus large en le situant vis-à-vis d'autres concepts proches. Dans le cadre de cet ouvrage, certains auteurs se sont intéressés aux notions de ressource et d'objet d'apprentissage. Selon Hotte et Contamines (voir chapitre 10), le « concept de ressources éducatives englobe, de manière large, toute forme de ressource humaine ou matérielle mise en œuvre par l'enseignant ou par le système éducatif pour améliorer l'apprentissage ». Ces auteurs suggèrent de restreindre la portée du terme de ressource lorsqu'il est associé à celui d'objet d'apprentissage : il désigne alors une *ressource numérique* indexable et réutilisable telle qu'un élément de contenu ou un scénario d'apprentissage. Guin et Trouche (voir chapitre 7) définissent, quant à eux, une *ressource pédagogique*²⁷ comme « un ensemble de documents permettant de fournir à un enseignant une situation mathématique et des éléments pour l'exploiter dans sa

27. La notion de ressource « pédagogique » correspond au point de vue de l'enseignant, contrairement à la notion de ressource d'apprentissage à destination de l'apprenant.

classe ». Crozat (voir chapitre 9) considère qu'une « ressource documentaire est l'inscription numérique d'un contenu, qu'un calcul permet de mettre en forme dynamiquement pour sa consultation en tant que document inscrit dans un usage ». Nous pouvons donc observer une grande variété des définitions et une tendance fréquente à associer étroitement les concepts de ressource et de document.

Cette variété tient sans doute à l'imprécision de la définition « officielle » d'un *objet d'apprentissage* : « toute entité numérique ou non, qui peut être utilisée, réutilisée ou référencée lors d'une formation dispensée à partir d'un support technologique » [LOM 02]. Cette imprécision a amené certains auteurs [KOP 01, FAE 04, PER 03] à proposer une typologie de ces objets. Ainsi dans une contribution précédente [PER 06a], nous avons proposé de considérer les *ressources* comme un type particulier d'objet d'apprentissage en ne considérant que les entités techniques référençables. Selon notre proposition [PER 06a], les ressources, numériques ou non, peuvent être de deux types : il peut s'agir soit de ressources de manipulation de connaissances, soit d'outils ou de services.

Les *ressources de manipulation de connaissances* représentent tout artefact technique visant à supporter des interactions, entre, d'une part, un ou plusieurs apprenants, et, d'autre part, un ensemble de connaissances précisément repérées et représentées de façon implicite ou explicite. La ressource, numérique ou non, peut prendre des formes variées, textuelles, visuelles, sonores et peut proposer différents niveaux d'interactivité : une *ressource expositive* n'est pas affectée par les actions de l'utilisateur alors qu'une *ressource active* possède des données internes susceptibles d'être modifiées. Une ressource peut être élémentaire, ou composée elle-même d'autres ressources ; elle peut être préexistante à une activité d'apprentissage ou bien être créée ou modifiée par celle-ci. Nous pouvons donner comme exemples : une photo, un livre papier, un chapitre d'un ouvrage, une dissertation, un rapport de projet, un dessin, un hypertexte, un document expositif, un didacticiel, un questionnaire à choix multiples, une évaluation, une simulation, un micromonde, un questionnaire rempli ou un document de synthèse.

Les *outils et services* sont des entités utilisées afin de permettre, soit la mise en place ou la modification d'une situation d'apprentissage, soit la création, l'exploitation et la transformation des ressources de manipulation de connaissances (création, édition, visualisation, échange, etc.). Nous pouvons donner comme exemples : un téléphone, une table, un rétroprojecteur, un tableau noir, un ordinateur, un microphone, un navigateur Web, un logiciel de traitement de texte, un logiciel tableur, un *chat*, un forum, la réservation d'une salle, la mise à disposition d'une prise électrique en état de fonctionnement, la mise à disposition d'une prise réseau en état de fonctionnement.

Nous proposons de considérer comme équivalents les termes de ressource et d'artefact technique (par opposition à artefact symbolique), en élargissant la définition donnée par Guin et Trouche (voir chapitre 7) : *les ressources (pédagogiques ou d'apprentissage)* sont les artefacts techniques non numériques ou numériques, matériels ou logiciels, proposés, utilisés, créés ou modifiés lors d'une situation d'apprentissage.

6.4. Proposition : vers une ingénierie centrée sur les scénarios

Comme nous l'avons suggéré dans la première partie de ce chapitre, nous voulons proposer des modèles d'ingénierie adaptés à l'intégration des technologies dans des contextes académiques, par nature peu propices aux mutations rapides. Dans ce type de contexte, les contraintes techniques, administratives, institutionnelles exigent des modèles souples, prenant en compte les capacités et les représentations des acteurs concernés (en premier lieu les enseignants et formateurs).

Pour mettre au point de tels modèles, une première démarche consiste à transposer des modèles expérimentés dans le contexte de l'ingénierie de la formation à distance. C'est le point de vue adopté par Henri et Maina dans cet ouvrage (voir chapitre 8), qui se proposent d'observer l'écart entre des pratiques authentiques de conception pédagogique et la démarche proposée par une méthode formalisée de design pédagogique (MISA). C'est également le point de vue du projet européen UNFOLD [UNF], où l'on proposait d'animer des communautés de pratique d'enseignants autour de l'intégration du langage IMS-Learning Design, élaboré initialement dans le contexte de la formation supérieure à distance.

Une autre démarche consiste à analyser les pratiques existantes et les usages des praticiens pour en faire émerger des modèles proches de leurs représentations et de leurs pratiques. C'est dans cet esprit que nous proposons un modèle d'ingénierie centré sur les scénarios, en nous basant notamment sur les premiers résultats issus du projet CAUSA [PER 06c, VIL 06].

6.4.1. Le concept central de scénario d'apprentissage

Dès 1997, est soulignée la difficulté de « prendre en compte la complexité d'un espace hétérogène d'interaction associant des périodes de préceptorat présentiel, des périodes de travail autonome de l'élève, des périodes de préceptorat distant/téléprésent. Une approche pragmatique de cette question pourrait être développée en étudiant des scénarios jouant sur les modalités de distribution des acteurs » [BAL 97]. Depuis, le concept de scénario d'apprentissage tend à se

généraliser, en liaison avec l'émergence des *langages de modélisation pédagogique*. Le terme de *learning scenario* est également de plus en plus utilisé, étroitement associé à la notion de *method* définie dans le langage IMS LD [KOP 05].

Nous avons donné nous-mêmes plusieurs définitions du terme scénario d'apprentissage qui se sont progressivement affinées [PER 04] : « Un *scénario d'apprentissage*²⁸ représente la description, effectuée *a priori* ou *a posteriori*, du déroulement d'une situation d'apprentissage visant l'appropriation d'un ensemble précis de connaissances. Cette description précise les rôles, les activités ainsi que les ressources de manipulation de connaissances, outils et services nécessaires à la mise en œuvre des activités ». Il est important de souligner que nous n'utilisons pas ce terme dans son sens commun actuel, mais davantage dans son sens originel : « ce terme italien, qui signifie "décor", désignait le canevas d'une pièce de commedia dell'arte. Le scénario donnait des indications sur l'argument, l'action, la manière de jouer, en particulier les *lazzis* » [PAV 96]. Nous verrons plus loin que nous ne limitons pas le terme de scénario à la simple description d'un canevas *a priori* mais que nous désignons un objet complexe, évoluant dans le temps et se présentant sous plusieurs facettes. Malgré ses connotations prescriptives, nous avons tenu à conserver le terme de *scénario* pour sa capacité à être manipulé, de façon relativement naturelle, par les praticiens [VIL 06]. Les idées principales que nous proposons sont les suivantes :

- la conception, l'opérationnalisation, le déroulement et l'évaluation d'une situation d'apprentissage instrumentée constituent les phases d'un processus mettant en jeu un ensemble de *rôles* différents pouvant être tenus par des professionnels spécialisés ou cumulés par une même personne. Nous désignons par *scénarisation* ce processus, dont les résultats intermédiaires ou finaux sont des *scénarios d'apprentissage* ;

- les situations d'apprentissage visées peuvent être très différentes et il est nécessaire de définir un ensemble de critères permettant de les distinguer. C'est un travail que nous avons commencé [PER 04] et que nous poursuivons à partir d'une collecte assurée auprès de praticiens [VIL 06]. Parmi ces critères, il convient de souligner l'importance de la *granularité* des situations décrites, de la *modalité* (à distance, en présence ou hybride), du *degré de contrainte* (scénario imposé ou scénario ouvert et adaptable) et du *degré d'instrumentation informatique* ;

- un scénario d'apprentissage est une entité *dynamique* modifiée, enrichie, adaptée durant le processus de scénarisation. Ces adaptations sont inévitables, en

28. Nous utilisons l'expression *scénario d'apprentissage* dans un sens large. Il regroupe les concepts de scénario pédagogique, d'encadrement, d'assistance ou de formation. Il serait donc plus exact d'utiliser l'expression *scénario pour l'apprentissage*.

raison de la multiplicité des interactions humaines au sein de systèmes complexes d'activité. Il est donc nécessaire d'étudier le *cycle de vie d'un scénario* ;

– un scénario d'apprentissage est un objet *complexe* qui ne peut se réduire à une prescription d'activités. Il est nécessaire d'en préciser la structure et nous proposons de distinguer quatre facettes : organisation, observation, régulation et intentions.

6.4.2. *Le cycle de vie d'un scénario*

Nous proposons d'identifier sept étapes dans un processus de scénarisation : la conception initiale, la contextualisation pédagogique, l'implémentation technique, l'exploitation, l'évaluation, l'adaptation et la réutilisation. A chacune de ces étapes nous faisons correspondre un état du scénario résultant (voir figure 6.3).

Le *scénario abstrait* est le résultat de la *phase de conception initiale* (1). Il précise en termes génériques les stratégies didactiques poursuivies, l'organisation des activités à réaliser et l'environnement nécessaire à leur déroulement (ressources, outils, services, résultats attendus), ainsi que les stratégies de régulation envisagées. Le caractère abstrait du scénario tient au fait que les informations décrites ne sont pas nécessairement associées à des entités techniques référencables. Par exemple, on pourra décrire les rôles concernés sans préciser les noms des personnes physiques impliquées, ou bien encore définir un type de ressource technique nécessaire à l'activité (par exemple, un document vidéo pour une activité de compréhension orale en langues) sans choisir précisément une ressource particulière. La conception initiale demande des compétences didactiques et pédagogiques et peut être assurée par un enseignant.

Le *scénario contextualisé*, issu de la *phase de contextualisation pédagogique* (2), est une déclinaison du scénario abstrait pour un contexte et un public donnés. Il affine l'organisation des activités, pour qu'elle puisse correspondre au mieux à la situation d'apprentissage visée, en précise les modalités (affectation des rôles à des personnes, planification dans le temps). Il permet également de déterminer le choix des ressources techniques lorsque celles-ci ne constituent pas une partie indissociable du scénario abstrait, ainsi que les outils et services les plus appropriés. La phase de contextualisation requiert des compétences essentiellement pédagogiques et organisationnelles.

Le *scénario exécutable* est le résultat de la *phase d'implémentation technique* (3), qui concerne la mise en place du scénario contextualisé dans un système technique donné (système de gestion d'apprentissage, plate-forme numérique de formation). Cette phase soulève des questions relatives à l'accès aux ressources, à la disponibilité des outils et services nécessaires aux activités. Elle pose également le

problème de l'infrastructure retenue [DER 06] pour assurer la « projection » des fonctionnalités prévues dans le scénario abstrait vers celles proposées par le système technique. Les limitations ou les potentialités de ces dernières peuvent conduire à une modification du scénario initialement prévu. La phase d'implémentation, qui requiert une bonne connaissance technique des possibilités des systèmes permettant l'opérationnalisation, demande fréquemment une coordination de nature technique et pédagogique.

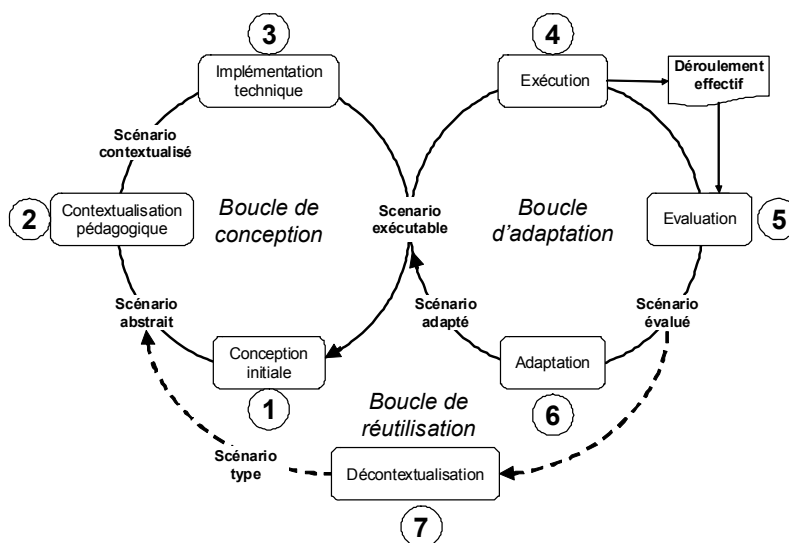


Figure 6.3. Vue d'ensemble du cycle de vie d'un scénario

Le *déroulement effectif* décrit l'enchaînement des activités effectivement réalisées au cours de la *phase d'exécution* (4), ainsi que les ressources, outils et services effectivement utilisés.

Le *scénario évalué* résulte de la comparaison, effectuée durant la *phase d'évaluation* (5), entre le scénario prévu et le déroulement effectif de la situation d'apprentissage. Cette comparaison peut donner lieu à deux types de décision : l'une, immédiate, correspond à une adaptation du scénario en cours d'exploitation et la seconde, effectuée *a posteriori*, concerne la réutilisation du scénario pour des usages ultérieurs.

Le *scénario adapté* est le résultat des modifications opérées, durant la *phase d'adaptation* (6), sur la base du scénario évalué à la phase précédente. Il peut s'agir de décisions de régulation effectuées par les enseignants et tuteurs, ou encore, de

décision de reconfiguration de l'activité prescrite par les apprenants eux-mêmes. Il peut exister plusieurs versions successives de scénarios adaptés.

Un *scénario-type* est un autre résultat possible de la *phase d'évaluation* et peut, de nouveau, être considéré comme un scénario abstrait lors d'une réutilisation ultérieure. Une phase de *décontextualisation* (7), plus ou moins approfondie, permet de faire abstraction d'informations dont la présence pourrait constituer un frein à sa réutilisation dans de nouvelles situations.

Il faut souligner que le cycle de vie proposé correspond à une vision formelle et s'inspire des modèles itératifs issus du génie logiciel. Certaines phases peuvent être répétées selon un *modèle en spirale* correspondant à un affinement progressif. Trois boucles principales d'itération peuvent ainsi être identifiées : la *boucle de conception*, la *boucle de mise en œuvre* et la *boucle de réutilisation*.

6.4.2.1. Boucle de conception

Cette première boucle s'appuie sur l'enchaînement répété des phases de conception du scénario, de contextualisation pédagogique et d'implémentation technique. Elle permet d'apporter des éléments de réponse à deux questions :

– *le choix des ressources est-il préalable ou consécutif à la conception de l'activité ?* Lors de la conception initiale, la prise en compte des ressources utilisées (notamment des artefacts logiciels) peut influencer fortement sur la nature des scénarios abstraits à mettre en place. Ce point de vue est défendu dans cet ouvrage par Guin et Trouche (voir chapitre 7) qui proposent un processus dont les deux premières étapes sont : a) l'analyse *a priori* des contraintes apportées et des potentialités offertes par les artefacts informatiques ; b) *l'ingénierie didactique*, qui vise à concevoir des situations permettant de créer les conditions de constructibilité d'une connaissance visée. Cette vision peut se démarquer d'autres approches, notamment dans l'apprentissage des langues, qui peuvent proposer des ossatures de scénarios abstraits avec des ressources interchangeables [NIS 04] ;

– *les possibilités offertes par l'infrastructure de déploiement n'influent-elles pas fortement sur la nature des scénarios à mettre en place ?* Les contraintes techniques des systèmes permettant l'opérationnalisation des scénarios peuvent avoir une importance non négligeable sur les choix effectués lors des étapes précédentes de conception. En particulier, on peut constater que la variété des scénarios imaginés par les enseignants est souvent *fortement contrainte* par les fonctionnalités des espaces numériques de formation qu'ils maîtrisent.

6.4.2.2. Boucle d'adaptation

Cette deuxième boucle s'appuie sur l'itération possible des phases d'exécution, d'évaluation et d'adaptation lors de la mise en œuvre du scénario. Elle traduit la nécessité, souvent mise en avant par les enseignants ou les tuteurs [PER 06c], de modifier « à la volée » les conditions décrites dans le scénario initial, pour s'adapter dynamiquement à l'évolution de la situation d'apprentissage. Les différentes adaptations peuvent aussi bien concerner des aspects didactiques, pédagogiques ou organisationnels. Cette « malléabilité » exige idéalement des scénarios qu'ils soient présentés aux praticiens ou aux apprenants sous une forme *manipulable* lors de la phase de mise en œuvre. Les adaptations ne peuvent bien sûr s'effectuer que dans la mesure où les modifications apportées restent cohérentes avec les choix d'implémentation technique retenus.

6.4.2.3. Boucle de réutilisation

Cette dernière boucle s'inscrit dans des temporalités plus longues et traite de la capitalisation de scénarios évalués « avec succès », qu'ils résultent ou non d'adaptations successives, lors de la phase de mise en œuvre. Plusieurs stratégies peuvent être envisagées, parmi lesquelles :

- la *réutilisation* du scénario par l'enseignant ayant assuré sa mise en œuvre initiale. Il peut s'agir, par exemple, de la reconduction d'une séance-type dans la même classe, durant la même année scolaire. Dans ce cas, la décontextualisation sera faible, le contexte de formation étant quasi-identique d'une séance à l'autre ;
- la réutilisation ultérieure du scénario par un groupe d'enseignants partageant les mêmes enseignements. Il peut s'agir, par exemple, de la mise au point d'une séquence-type consacrée à un point spécifique du programme, à un niveau donné. Dans ce cas, la décontextualisation devra prendre en compte un nombre restreint de critères de différenciation, tels que par exemple, le niveau moyen des élèves, le nombre et la taille des groupes. C'est dans cet esprit que Guin et Trouche définissent la notion de scénario d'usage associée à une ressource (voir chapitre 7, paragraphe 7.4.3.3) ;
- la réutilisation ultérieure du scénario, de façon large, sous la forme d'une situation-type au sens de Faerber (voir paragraphe 6.3.2). Par exemple, on pourra vouloir capitaliser un scénario de type « cyber-enquête » reposant sur l'usage conjoint du Web et d'un Wiki. Dans ce cas, le degré de décontextualisation devra être élevé afin de permettre d'éliminer les informations inutiles comme, par exemple, la référence à la discipline concernée ou au niveau scolaire.

Ces exemples, qui illustrent divers cas de réutilisation, posent le problème de la mutualisation de *scénarios-types* au sein de *banques de scénarios*. Il s'agit notamment de répondre aux questions suivantes : *comment fixer le degré*

d'abstraction du scénario pour assurer la meilleure réutilisation ? Comment formaliser les relations entre scénarios et ressources associées ? A quels types d'utilisateurs doit-on donner accès aux banques de scénarios ? Comment indexer les scénarios pour qu'ils puissent être aisément retrouvés à partir de moteurs d'interrogation ? De premières pistes ont été explorées pour apporter des réponses à ces questions, comme dans le cadre du projet IDLD [LUN 06].

6.4.3. La structure d'un scénario d'apprentissage

Une des hypothèses fortes de notre approche est qu'un scénario d'apprentissage, tout au long de son cycle de vie, ne peut se limiter à une simple prescription d'activités. En effet, en dehors de la description *a priori* de l'organisation d'une situation d'apprentissage, les praticiens soulignent fréquemment [PER 06c] la nécessité, d'une part, d'explicitier les motivations qui conduisent à l'organisation choisie des activités, en particulier en termes didactiques et d'autre part d'exprimer la possibilité de remettre en question l'organisation prévue, lors de la phase de mise en œuvre. Afin de répondre à ces exigences, nous proposons de structurer formellement un scénario d'apprentissage selon quatre facettes complémentaires (voir figure 6.4) : organisation (O), observation (O), régulation (R), intentions (I).

6.4.3.1. Les différentes facettes d'un scénario d'apprentissage

La facette *organisation* précise l'organisation des activités à réaliser par les acteurs de la situation d'apprentissage, ainsi que la définition de l'environnement technique à mettre en place (ressources utilisées ou produites). Cette définition peut être rapprochée du concept de *method* proposé par Koper [KOP 05] ou *d'énoncé de situation d'apprentissage*, proposé par Faerber [FAE 04], caractérisé comme « un texte structuré ; un ensemble de relations à des ressources numériques ; la description des acteurs de la situation et de leurs rôles ». L'objectif de l'organisation est de deux ordres. Il s'agit, d'une part, de construire un référentiel pour les personnes en charge du suivi, de l'évaluation ou de la réutilisation de la situation d'apprentissage et, d'autre part, de fournir un guide, plus ou moins précis ou contraignant, pour les acteurs dans l'organisation de leurs tâches.

La facette *observation* décrit les règles de collecte, de structuration et d'interprétation des résultats potentiellement issus de la mise en œuvre d'une situation d'apprentissage (*traces* d'activité et productions des apprenants). La structuration permet de construire, non seulement des enregistrements cohérents de l'activité d'un apprenant ou d'un groupe d'apprenants, mais également d'élaborer des observables de plus haut niveau. On retrouve ici la nécessité de distinguer le

niveau *comportemental* relatif au comportement des acteurs et le niveau *épistémique* relatif aux savoirs mis en jeu [BAL 97].

La facette *régulation* définit l'organisation des actions à effectuer à la suite des diagnostics de niveau comportemental ou épistémique, réalisés à partir des informations observées. Ces actions peuvent être de plusieurs types : a) décision d'adaptation des intentions initiales portant sur les connaissances à atteindre, les prérequis, les conceptions erronées, etc., b) décision d'adaptation du scénario prescriptif, modifiant l'organisation initiale des activités prescrites et les composants de l'environnement, ou c) simple décision de rétroaction visant à intervenir directement sur la situation d'apprentissage (envoi de message, conseils, etc.).

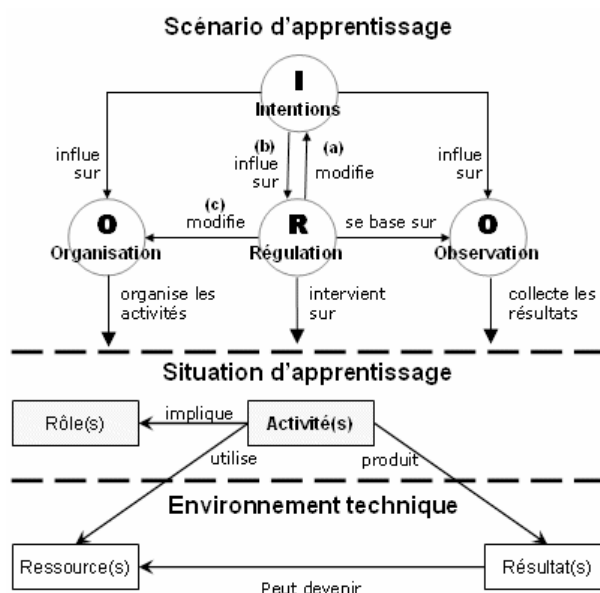


Figure 6.4. Les différentes facettes d'un scénario d'apprentissage

La facette *intentions* s'attache à décrire les stratégies d'acquisition des connaissances mises en jeu dans l'apprentissage. Elle peut préciser l'organisation des connaissances à acquérir, des conceptions erronées fréquemment rencontrées, des obstacles à éviter, etc. L'explicitation de cette dimension d'inspiration didactique paraît manquer [LUE 06] dans les modèles issus de l'approche *Instructional Design*.

6.4.3.2. *Les relations entre les différentes facettes*

Nous proposons de définir un ensemble de relations entre les différentes facettes d'un scénario (voir figure 6.4). Deux remarques peuvent être effectuées à propos de ces relations.

La première remarque porte sur l'importance des liens des autres facettes avec la facette *intentions*. Nous supposons en effet que les choix d'organisation, d'observation et de régulation sont liés à une stratégie de la part de la personne en charge de la conception et/ou du suivi de la situation d'apprentissage. Cette stratégie est en premier lieu d'ordre didactique : la mise en place de telle ou telle situation (par exemple, une étude de cas basée sur un ensemble d'activités individuelles et collectives) est choisie parce qu'elle est susceptible de faire émerger un ensemble de connaissances, précisément repérées pour le public spécifique, dans un contexte donné. L'intention associée à une décision de régulation peut aussi être liée à une dimension pédagogique : par exemple, la décision de remplacer un outil de type *chat* par un forum asynchrone, dans une situation où les échanges sont trop peu nombreux, relève davantage d'un savoir-faire pédagogique que disciplinaire.

La seconde remarque concerne l'organisation en trois niveaux que nous proposons (environnement technique, situation d'apprentissage, scénario d'apprentissage décomposé en facettes). Cette organisation peut se rapprocher de la proposition de Chevallard [CHE 92], reprise par Guin et Trouche dans cet ouvrage, qui distingue le hardware didactique, le software didactique et le système d'exploitation didactique (voir chapitre 7, paragraphe 7.3.2).

6.5. Synthèse et perspectives

La mise au point terminologique, les modèles de cycle de vie et de structuration des scénarios présentés dans ce chapitre visent deux principaux objectifs. Le premier consiste à favoriser la communication entre chercheurs de différentes disciplines et également entre praticiens et chercheurs sur un objet commun : la conception et la mise en œuvre de situations d'apprentissage s'appuyant sur les technologies numériques dans le contexte de la formation académique. Le second objectif est de poser les bases d'une ingénierie informatique des scénarios et des artefacts logiciels pour l'apprentissage.

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons tenté de contribuer à un éclaircissement terminologique en nous concentrant sur le concept d'environnement. Si la vision hiérarchique proposée ne peut traduire l'ensemble des relations entre les notions manipulées, elle permet d'en illustrer la dimension systémique. Un dispositif

de formation instrumenté peut être considéré selon trois dimensions : une dimension sociale et organisationnelle, une dimension technique et une dimension épistémique.

Chacune de ces dimensions ne peut se réduire à une simple description de composants, mais se présente elle-même comme la description d'un ou de plusieurs sous-systèmes : systèmes d'organisation sociale au travers de rôles et d'activités, systèmes d'instruments au travers de la notion d'environnement technique, systèmes d'organisation des connaissances et des intentions didactiques associées.

L'approche par scénarios d'apprentissage permet de fournir des modèles prenant en compte, au moins partiellement, cette dimension systémique. Ainsi, l'organisation des activités, les relations entre acteurs et activités, ou entre activités et instruments, sont représentées de façon explicite. Pourtant ces modèles apparaissent encore imparfaits en ne permettant pas d'exprimer, de façon suffisante, la dynamique des situations d'apprentissage et la prise en compte de la dimension didactique. Pour pallier ces faiblesses, nous proposons un modèle permettant de décrire la structure complexe des scénarios d'apprentissage, ainsi que le cycle de vie de ces scénarios. Nos propositions se fondent principalement sur les arguments suivants :

– un scénario d'apprentissage est un objet évoluant continuellement depuis sa création initiale jusqu'à son catalogage dans des banques de données. Il doit pouvoir être précisé, enrichi, modifié, amendé en fonction d'intentions liées à des considérations d'ordre didactique ou pédagogique. Ainsi, nous proposons donc de modéliser un scénario selon quatre facettes différentes : organisation, observation, régulation, intentions ;

– le cycle de vie d'un scénario d'apprentissage est composé de trois boucles de conception, d'adaptation et de réutilisation, traduisant la complexité de la tâche de scénarisation. Celle-ci repose sur des tâches fortement imbriquées, pouvant intervenir dans des ordres différents et se raffinant progressivement. Cette modélisation itérative semble correspondre aux exigences de souplesse énoncées par les praticiens.

Proposer et mettre au débat un nouveau cadre terminologique ou conceptuel visant à simplifier la communication entre les acteurs (chercheurs et/ou praticiens) est une tâche nécessaire. Cette tâche doit également se prolonger par la mise au point de méthodes et d'outils informatiques permettant la mise en œuvre de ce cadre. Nous traçons ici quelques perspectives de nos travaux actuels.

En ce qui concerne l'ingénierie des scénarios d'apprentissage, il s'agit d'implémenter un cycle de vie s'organisant autour de l'enrichissement progressif des différentes facettes du scénario. Pour réaliser cette implémentation, nous proposons

de nous fonder sur le courant de l'*ingénierie dirigée par les modèles* [FAV 06], dont l'application dans le domaine des EIAH commence à émerger. Nous envisageons en particulier des processus visant deux types de transformation : 1) la transformation des modèles métiers manipulés par les praticiens, grâce à des environnements auteurs spécifiques, vers des langages de notation indépendants de plates-formes numériques de formation ; 2) la projection de ces langages de notation vers les infrastructures des plates-formes numériques de formation.

En ce qui concerne l'ingénierie des *artefacts logiciels* pour l'apprentissage, nos propositions se basent sur la dissociation explicite entre, d'une part, les ressources numériques de manipulation de connaissances, les outils et les services et, d'autre part, les environnements techniques permettant l'intégration de ces composants et notamment de la mise en œuvre des scénarios. Notre proposition de structurer un scénario selon quatre facettes a des conséquences directes sur l'ingénierie des ressources de manipulation de connaissances. Pour pouvoir être intégrées dans des scénarios dynamiques différents, ces ressources doivent satisfaire à certains critères logiciels : *inspectabilité*, *observabilité* et *scriptabilité* [GUE 06]. L'inspectabilité d'un objet informatique réside dans sa capacité à fournir des informations sur les propriétés manipulées de façon interne, que ce soit au niveau symbolique (le nom d'une variable, par exemple) ou sémantique (la signification de cette variable dans le contexte d'usage de l'objet). L'observabilité réside dans la capacité de fournir sur demande la valeur de ces propriétés, alors que la scriptabilité réside dans sa capacité à voir ces propriétés modifiées. Nous pensons donc que des travaux doivent être aujourd'hui menés pour systématiser l'application de ces critères dans le développement des composants logiciels pour l'apprentissage, y compris pour les prototypes développés dans les laboratoires de recherche.

En conclusion, nous pouvons dire qu'aujourd'hui l'intégration d'artefacts dans les dispositifs de formation académique est une tâche complexe : en effet, les situations d'apprentissage mixent présence et distance, travail synchrone ou asynchrone ; les acteurs peuvent jouer de multiples rôles qu'ils ne jouaient pas auparavant ; les pratiques sociales évoluent très vite sous l'action de l'intégration rapide de nouveaux outils ; les temps de formation ne sont plus définis de façon aussi stricte ; les environnements techniques manipulés sont composés d'une grande variété de composants devant interopérer. Il devient donc nécessaire d'*accompagner* les acteurs en leur fournissant des modèles exploitables et des outils appropriés. En termes d'ingénierie, ces transformations en profondeur exigent, sans doute, de remettre en question les paradigmes existants. Il n'est plus question de proposer des méthodes permettant de construire des logiciels pour l'apprentissage, sans prendre en compte cette complexité. Il s'agit de composer avec la multiplicité des artefacts

logiciels sous de multiples formes et de proposer des lignes directrices permettant d'intégrer le plus aisément possible cette diversité.

6.6. Bibliographie

- [BAL 97] BALACHEFF N., BARON M., DESMOULINS C., GRANDBASTIEN G., VIVET M., « Conception d'environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur, tendances et perspectives », *Actes des 6^e journées nationales du PRC-GDR Intelligence Artificielle*, p. 315-337, Hermès, Paris, 1997.
- [BRO 98] BROUSSEAU G., *Théorie des situations didactiques*, La Pensée Sauvage, Grenoble, 1998.
- [BRU 06] BRUILLARD E., BARON G.-L., « Usages en milieu scolaire : caractérisation, observation et évaluation », dans Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 269-284, Hermes-Science Lavoisier, Paris, 2006.
- [CHE 92] CHEVALLARD Y., « Intégration et viabilité des objets informatiques, le problème de l'ingénierie didactique », dans Cornu B. (dir.), *L'ordinateur pour enseigner les mathématiques*, p. 183-203, Presses Universitaires de France, Paris, 1992.
- [DER 06] DERYCKE A., HOOGSTOEL F., PETER Y., VANTROYS T., « Infrastructure des environnements informatiques pour l'apprentissage distribué », dans Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 181-200, Hermès, Paris, 2006.
- [DIC] Dictionnaire Terminologique, Grand dictionnaire terminologique, Office québécois de la langue française : <http://www.granddictionnaire.com/> (consulté en novembre 2006).
- [DOR 98] DORE S., BASQUE J., « Le concept d'environnement d'apprentissage informatisé », *Revue de l'éducation à distance*, vol. 13, n° 1, p. 1-20, 1998.
- [DOW 00] DOWNES S., « Learning Objects : Resources for Distance Education Worldwide », *International Review of Research in Open and Distance Learning*, vol. 2, n° 1, 2000.
- [EDU] Banques de pratiques académiques du site Educnet : http://www2.educnet.education.fr/sections/secondaire/usages/banques-ressources/banque_de_pratiques (consulté en novembre 2006).
- [FAE 04] FAERBER R., « Caractérisation des situations d'apprentissage en groupe », *STICEF*, vol. 11, 2004, [en ligne] : <http://sticef.org> (consulté en novembre 2006).
- [FAV 06] FAVRE J.-M., ESTUBLIER J., BLAY-FORNARINO M., *L'ingénierie dirigée par les modèles. Au-delà du MDA, Traité IC2, série Informatique et Systèmes d'Information*, Hermès, Paris, 2006.
- [GUE 06] GUERAUD V., « Une approche auteur pour les scénarios d'activités », dans Pernin J.-P., Godinet H. (dir.), *Actes du colloque Scénariser l'Enseignement et l'Apprentissage*,

- INRP, Lyon,, p. 85-90, 2006, [en ligne] : <http://www.inrp.fr/publications/edition-electronique/> (consulté en février 2007).
- [GUI 02] GUIN D., TROUCHE L. (DIR.), *Calculatrices symboliques. Transformer un outil en un instrument du travail mathématique, un problème didactique*, La Pensée Sauvage, Grenoble, 2002.
- [IMS] IMS Learning Consortium : <http://www.imsglobal.org> (consulté en novembre 2006).
- [KOP 01] KOPER R., « Modeling units of study from a pedagogical perspective. The pedagogical meta-model behind EML », Open University of the Netherlands, [en ligne] : <http://eml.ou.nl/introduction/docs/ped-metamodel.pdf> (consulté en novembre 2006).
- [KOP 05] KOPER R., TATTERSALL C., Preface, dans R. Koper, C. Tattersall (DIR.), *Learning Design : A Handbook on Modelling and Delivering Networked Education and Training*, Springer Verlag, Berlin, p. 3-20, 2005.
- [LAB 06] LABAT J.-M., PERNIN J.-P., GUERAUD V., « Contrôle de l'activité de l'apprenant : suivi, guidage pédagogique et scénarios d'apprentissage », dans Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 47-66, Hermès, Paris, 2006.
- [LEJ 04] LEJEUNE A., « IMS Learning Design : Etude d'un langage de Modélisation pédagogique », *Distance et Savoirs*, vol. 2, n° 4, p. 409-450, Lavoisier, Paris, 2004.
- [LIN 00] LINARD M., « L'écran de TIC, "dispositif" d'interaction et d'apprentissage : la conception des interfaces à la lumière des théories de l'action », [en ligne] : <http://archive-edutice.ccsd.cnrs.fr/edutice-00000913> (consulté en novembre 2006).
- [LOM 02] Final draft standard for learning Object Metadata, Document IEEE, 2002, [en ligne] : <http://ltsc.ieee.org/wg12/20020612-Final-LOM-Draft.html> (consulté en décembre 2006).
- [LUE 06] LUENGO V., VADCARD L., BALACHEFF N., « Les EIAH à la lumière de la didactique », dans Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 47-66, Hermès, Paris, 2006.
- [LUN 06] LUNDGREN-CAYROL K., MARINO O., PAQUETTE G., LEONARD M., DE LA TEJA I., « Implementation and Deployment Process of IMS Learning Design : Findings from the Canadian IDLD Research Project », *ICALT 2006 proceedings*, p. 581-585, IEEE Computer Society Press, 2006.
- [MAR 06] MARTEL C., VIGNOLLET L., FERRARIS C., DAVID J.P., LEJEUNE A., « Modeling collaborative learning activities on e-learning platforms », *ICALT 2006 proceedings*, p. 707-709, IEEE Computer Society Press, 2006.
- [NIS 04] NISSEN E., « Importance du scénario pédagogique dans l'apprentissage d'une langue étrangère en ligne. "Internet et les langues" », *Les langues modernes*, vol. 4, p. 14-24, 2004, disponible sur le Web : <http://archive-edutice.ccsd.cnrs.fr/edutice-00001446/en/> (consulté en novembre 2006).

- [NOD 05] NODENOT T., Contribution à l'Ingénierie Dirigée par les modèles en EIAH : le cas des situations-problèmes coopératives, Mémoire de HDR, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Bayonne, 2005.
- [PAQ 02] PAQUETTE G., *L'ingénierie pédagogique : pour construire l'apprentissage en réseau*, Presses de l'Université du Québec, 2002.
- [PAS 03] De La PASSARDIERE B., GRANDBASTIEN M., « Présentation de LOM v1.0, standard IEEE », *Sciences et Techniques Educatives*, Hors série 2003 Ressources numériques, XML et éducation, p. 211-218, 2003.
- [PAV 96] PAVIS P., *Dictionnaire du théâtre*, 313, Dunod, Paris, 1996.
- [PER 03] PERNIN J.-P., « Objets pédagogiques : unités d'apprentissage, activités ou ressources ?, *Sciences et Techniques Educatives*, Hors série 2003 Ressources numériques, XML et éducation, p. 179-210, 2003.
- [PER 04] PERNIN J.-P., LEJEUNE A., « Dispositifs d'apprentissage instrumentés par les technologies : vers une ingénierie centrée sur les scénarios », *Actes du colloque TICE 2004*, p. 407-414, 2004, disponible sur le Web : <http://archive-edutice.ccsd.cnrs.fr/edutice-00000730/en/> (consulté en novembre 2006).
- [PER 06a] PERNIN J.-P., « Normes et standards pour la conception, la production et l'exploitation des EIAH », dans Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 201-222, Hermès, Paris, 2006.
- [PER 06b] PERNIN J.-P., GODINET H. (DIR.), *Actes du colloque Scénariser l'enseignement et l'apprentissage : une nouvelle compétence pour le praticien ?*, INRP, Lyon, 2006, [en ligne] : <http://www.inrp.fr/publications/edition-electronique/> (consulté en février 2007).
- [PER 06c] PERNIN J.-P., EMIN V., « Evaluation des pratiques de scénarisation de situations d'apprentissage : une première étude », *Actes du colloque TICE Méditerranée*, Genova (Italie), 2006, [en ligne] : http://isd.m.univ-tln.fr/PDF/isd25/PerninEmin_TICE2006.pdf (consulté en novembre 2006).
- [RAB 95] RABARDEL P., *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*, Armand Colin, Paris, 1995.
- [REI 99] REIGELUTH C.M., *Instructional Design Theories and Models, vol. II : A New Paradigm of Instructional Theory*, p. 425-453, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ, 1999.
- [SCO] SCORM, Sharable Content Object Reference Model, Advanced Distributed Learning : <http://www.adlnet.org/scorm> (consulté en novembre 2006).
- [TCH 04] TCHOUNIKINE P., « Platon-1 quelques dimensions pour l'analyse des travaux de recherche en conception d'EIAH », [en ligne] : <http://hal.ccsd.cnrs.fr/ccsd-00002999/en/> (consulté en novembre 2006).
- [TCH 06] TCHOUNIKINE P., « Introduction à l'ingénierie des EIAH », dans Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 141-160, Hermès, Paris, 2006.

- [TEL] TELE-UNIVERSITE DU QUEBEC : <http://www.teluq.quebec.ca> (consulté en novembre 2006).
- [UNF] UNFOLD, European project, Understanding New Frameworks of Learning Design, 2004-2005 : <http://www.unfold-project.net> (consulté en novembre 2006).
- [VIL 06] VILLIOT-LECLERCQ E., PERNIN J.-P., « Scénarios : représentations et usages », *Actes du colloque JOCAIR 2006*, p. 357-371, Amiens, 2006.

DEUXIEME PARTIE

Ressources pédagogiques numériques :
conception, partage et réutilisation

Chapitre 7

Une approche multidimensionnelle pour la conception collaborative de ressources pédagogiques

7.1. Problématique

Engagés depuis mai 2000 dans la conception, la mise en œuvre et l'évaluation d'un *dispositif* de formation d'enseignants en mathématiques centré sur une conception collaborative de *ressources pédagogiques*, c'est-à-dire, pour nous, de ressources à destination des enseignants, nous présentons ici la problématique et le cadre conceptuel sur lesquels notre réflexion s'appuie, le dispositif de formation mis en œuvre et la méthode de conception d'un modèle de ressources évoluant en fonction des besoins et des usages.

L'évolution technologique a produit des outils qui pourraient permettre de renouveler profondément l'apprentissage et l'enseignement des mathématiques : les calculatrices sont à la disposition des élèves, des logiciels conçus pour l'enseignement (comme les logiciels de géométrie dynamique par exemple) ou non conçus pour l'enseignement (comme les tableurs) donnent accès à de nombreuses représentations des objets mathématiques et permettent de manipuler ces représentations. Ces technologies de l'information et de la communication (TIC), mises au service de l'enseignement des mathématiques, pourraient favoriser un

comportement actif des élèves et donc fournir des conditions favorables à l'apprentissage (voir section 7.2). Or, malgré l'enthousiasme d'enseignants pionniers et malgré des actions institutionnelles, l'*intégration* des TIC dans l'enseignement des mathématiques croît très faiblement, au regard de l'équipement des établissements et de l'évolution des outils technologiques. Comme le soulignent Baron et Bruillard [BAR 06], « la plupart de ces innovations, peu en phase avec le fonctionnement ordinaire des institutions d'enseignement et de formation, ont du mal à subsister une fois affaibli le soutien qui leur avait été initialement accordé ». Cette situation semble n'être pas spécifique à la France [GUI 02]. Une raison de ce décalage est sans doute ce que Haspékian et Artigue (voir chapitre 1, paragraphe 1.3.1) appellent la *distance* entre les environnements d'apprentissage usuels et les environnements intégrant des TIC, distance longtemps sous-estimée par les chercheurs, les responsables institutionnels et les acteurs de la formation des enseignants : intégrer les TIC demande en effet aux enseignants de concevoir de nouvelles ressources pédagogiques, de les mettre en œuvre dans leurs classes et de les faire évoluer dans un objectif de *viabilité* et d'*efficacité*. Comme le soulignent Colette et Jean-Marie Laborde [LAB 06], « le développement de ressources pour les enseignants aussi bien que la formation initiale et continue sont devenus des facteurs cruciaux pour l'intégration de toute technologie ». Le développement des ressources et l'évolution des formations nécessitent un *questionnement* et un *renouvellement* profonds des pratiques professionnelles des enseignants et des formateurs d'enseignants.

De ce point de vue, les dispositifs actuels de formation en France sont généralement inadaptés :

- les formations aux usages génériques des TIC, ne prenant pas en compte les spécificités disciplinaires, ne préparent pas les enseignants à une intégration de ces TIC dans leurs classes ;
- les formations aux usages disciplinaires des TIC reposent sur des stages ponctuels, proposant le plus souvent des ressources pédagogiques toute faites, conçues par des spécialistes des TIC, occultant ou sous-estimant les difficultés de mise en œuvre par un enseignant « ordinaire » dans une classe « ordinaire ».

Cette situation nous a conduits à concevoir un dispositif de formation hybride (alternant des phases en présence et à distance), qui vise à accompagner les enseignants dans l'intégration des TIC et donc dans la conception de ressources pédagogiques, prenant en compte les TIC et destinées à être réellement mises en œuvre dans les classes.

La conceptualisation de la notion de *ressource pédagogique* est ici essentielle, elle a pour nous deux faces :

– une ressource pédagogique, pour être *utilisable* par des enseignants, ne peut pas être réduite à la simple description d'une *situation d'apprentissage*, elle doit également intégrer la *description* de l'environnement technologique dans lequel elle peut être mise en œuvre, ainsi que des propositions, en matière *d'organisation du temps et de l'espace*, pour *faciliter* cette mise en œuvre ;

– une ressource pédagogique ne peut être conçue comme une solution « clés en main » donnée aux enseignants ; elle sera *adaptée* par chaque enseignant pour son propre usage et cette adaptation est source d'un *enrichissement potentiel* pour d'autres utilisateurs ; l'actualisation de cette potentialité suppose que les enseignants puissent concevoir et discuter ces ressources dans le cadre de réelles *communautés de pratique*.

A partir du suivi de la définition et de la mise en œuvre du dispositif de conception de ressources pédagogiques que nous allons présenter, trois questions émergent :

– quels types de dispositifs sont susceptibles de favoriser l'émergence de communautés de pratique autour de la conception de ressources pédagogiques ?

– quelles stratégies d'accompagnement (non seulement social, mais également institutionnel) des enseignants peut-on envisager pour la conception de ressources pédagogiques de qualité ?

– comment appréhender l'impact de tels dispositifs sur la co-évolution des ressources pédagogiques et des pratiques enseignantes, en particulier en ce qui concerne l'intégration des TIC ?

7.2. Cadre conceptuel

La réflexion qui a conduit à la conception de ce dispositif concerne à la fois l'enseignement des mathématiques et la formation des maîtres à l'intégration des TIC. Articulant des dimensions *didactique*, *écologique* et *instrumentale*, elle s'inspire d'un cadre théorique pour l'*ingénierie didactique* dans les *environnements d'apprentissage informatisés* et débouche sur une approche multidimensionnelle de la conception de ressources pédagogiques.

7.2.1. Dimension didactique

Le dispositif de formation que nous avons conçu s'adresse à des professeurs de mathématiques enseignants en collège ou lycée (élèves de 12 à 18 ans) ; il prend donc en compte, à un niveau méta, la nécessité de susciter des apprentissages spécifiques chez des élèves. La recherche de moyens susceptibles de provoquer des

apprentissages spécifiques est un objet explicite d'étude de la didactique des mathématiques, notre réflexion intègre ainsi naturellement une dimension didactique. Les théories didactiques des mathématiques sur lesquelles nous nous appuyons, qui sont aussi évoquées par Haspékian et Artigue (voir chapitre 1) et Hitt (voir chapitre 2), s'inscrivent dans un paradigme socio-constructiviste de l'apprentissage :

- pour Brousseau [BRO 98], les élèves construisent, dans la classe, des connaissances mathématiques sous l'effet de *situations didactiques*. Ces situations trouvent leur origine dans la présentation, par l'enseignant, de questions visant à susciter un comportement actif des élèves. Ils trouvent alors, dans les actions nouvelles qu'ils tentent, matière à apprendre, la connaissance visée étant la clé du problème à résoudre. Par exemple, l'agrandissement d'un puzzle²⁹ peut constituer une bonne situation didactique pour construire la notion de proportionnalité : dans un premier temps, les élèves vont augmenter d'un même nombre les dimensions de toutes les pièces, la situation didactique suscite des rétroactions qui imposent une remise en cause des actions engagées, puis de nouvelles actions à travers lesquelles de nouvelles connaissances se construisent ;

- les situations didactiques sont conçues par des chercheurs, souvent en collaboration avec des enseignants « experts », pour créer les conditions de l'apprentissage d'une connaissance donnée. Elles sont ensuite proposées à l'expérimentation dans les classes de ces enseignants qui doivent faire en sorte que les élèves se les approprient. Une situation peut avoir différents niveaux de complexité et l'activité des élèves peut être plus ou moins encadrée par le professeur. Celui-ci peut jouer sur des *variables didactiques* : ce sont des variables de la situation (la valeur d'un paramètre ou la formulation des questions) dont les modifications (même légères) peuvent infléchir sensiblement le comportement des élèves et provoquer des procédures ou des types de réponses différents ;

- la conceptualisation des élèves repose sur le développement de *schèmes* [VER 96]. Un schème est défini comme une organisation invariante de l'activité, pour une classe donnée de situations. Cette organisation est composée d'un ou de plusieurs buts, de règles d'action et d'invariants opératoires permettant à la fois la prise et le traitement de l'information pertinente ainsi que des possibilités d'inférence. Un schème n'est pas directement accessible à un observateur : toute la difficulté, pour un chercheur, est de l'identifier à partir des comportements et des *traces* de l'activité des élèves [GUI 02, p. 225]. Comme Luengo, Vadcarrd et Balacheff le soulignent, c'est « le problème de l'analyse des actions de l'apprenant et donc du *modèle épistémique* qu'il implique, car [...] il est nécessaire d'interpréter

29. On dispose d'un puzzle rectangulaire, on veut obtenir un nouveau puzzle de même forme, dont la largeur, plus grande, est donnée.

les comportements de l'apprenant pour comprendre la nature de ses conceptions » [LUE 06, p. 59].

Hitt (voir chapitre 2, paragraphe 2.2.1) rappelle la spécificité des mathématiques, la nature complexe de leurs objets dont l'utilisation exige un jeu sur leurs diverses *représentations sémiotiques* [DUV 95], le statut particulier de la *preuve*, qui ne se réduit pas à l'accumulation d'observations convergentes, mais repose sur une *démarche scientifique* dans laquelle *le débat* occupe une place essentielle [LEG 93]. Cependant le concept de situation didactique en mathématiques a des points communs avec ceux des didactiques d'autres disciplines, en particulier scientifiques, par exemple, l'importance des phases d'exploration. Quignard et Baker (voir chapitre 3) montrent aussi, hors du champ des mathématiques, l'importance du débat pour les apprentissages.

Notons le caractère polysémique du terme *situation* :

- en mathématiques, on distingue d'une part les situations *didactiques*, dans le sens précis que nous venons d'évoquer, et d'autre part les situations *mathématiques* (un problème à résoudre) qui visent à faire faire des mathématiques aux élèves, la construction par les élèves d'une connaissance donnée ne constituant pas alors nécessairement la clé de la résolution du problème ;

- hors du contexte de la didactique des mathématiques, les *situations d'apprentissage* qu'évoque Pernin (voir chapitre 6, paragraphe 6.3.2.1) intègrent d'autres éléments de contexte que le seul problème proposé aux apprenants.

7.2.2. Dimension écologique

Cette dimension didactique inclut naturellement une dimension écologique : comme le soulignent Luengo, Vadcard et Balacheff [LUE 06, p. 48], « La didactique aborde les questions d'apprentissage et d'enseignement sous un angle "écologique", c'est-à-dire en étudiant et modélisant les conditions qui permettent à un apprentissage de se développer et d'aboutir sous la triple contrainte des contenus en jeu, des caractéristiques de celui qui apprend (considéré dans son rapport à la connaissance), et des caractéristiques de l'institution porteuse du projet de permettre l'apprentissage en question ». Dans les caractéristiques de l'institution, il y a les programmes, l'organisation de l'espace scolaire et plus généralement tout ce qui constitue le curriculum.

Dans les éléments qui conditionnent l'apprentissage, il y a aussi ce que nous avons appelé dans ce chapitre, jusqu'à présent, les TIC. Précisons cette notion : il s'agit pour nous d'artefacts informatiques qui ne sont pas toujours conçus

spécifiquement pour l'apprentissage et qui ne relèvent donc pas des EIAH³⁰ au sens strict, où les artefacts informatiques doivent intégrer explicitement une *intention didactique* [TCH 04]. C'est souvent uniquement *l'exploitation* des artefacts par les enseignants qui est guidée par des intentions didactiques. Nous nous plaçons donc dans un cadre plus large que celui des EIAH, le cadre des *environnements d'apprentissage informatisés (EAI)*, que Doré et Basque [DOR 98] définissent de la manière suivante :

- ce sont des environnements, c'est-à-dire des lieux réels ou virtuels abritant des individus et des artefacts en *interaction*, les individus collaborant dans un but commun d'apprentissage ;
- parmi ces artefacts, certains sont des artefacts informatiques et ne sont pas conçus nécessairement pour l'apprentissage.

C'est le cas par exemple des *calculatrices symboliques*, intégrant un système de calcul formel, qui sont étudiées par Hitt (voir chapitre 2) et des tableurs, qui sont étudiés par Haspékian et Artigue (voir chapitre 1).

Pour Chevallard [CHE 92], l'intégration de tels outils, pouvant prendre en charge, à des degrés divers, des interactions didactiques, suppose la prise en compte de trois niveaux :

- le *hardware didactique*, formé des composants matériels de l'environnement : artefacts divers (calculatrices, rétroprojecteur, logiciels d'enseignement, etc.), mais aussi modes d'emploi, fiches techniques, etc. ;
- le *software didactique*, constitué par les situations didactiques ;
- le *système d'exploitation didactique*, niveau essentiel qui permet de tirer parti des ressources potentielles de l'environnement et qui assure la coordination et l'intégration des deux premiers niveaux. Chevallard (*ibidem*) souligne que ce niveau est souvent négligé, malgré son importance pour la *viabilité* des outils informatiques dans l'enseignement.

L'ingénierie didactique, dans un EAI, suppose à la fois la conception de situations didactiques et la mise au point de leur exploitation didactique. Nous avons introduit [GUI 02] la notion *d'orchestration instrumentale* pour désigner plus précisément ce qui relevait, dans cette exploitation didactique, de la gestion didactique par le maître, au cours de l'activité, des artefacts présents dans l'environnement.

Cette nécessaire prise en compte *écologique* de l'EAI et de la gestion du temps de l'activité n'est pas propre à la didactique des mathématiques. La notion de

30. Environnements informatiques pour l'apprentissage humain.

scénario d'usage, introduite par Vivet [VIV 91] pour prendre en compte le contexte d'apprentissage et le rôle du maître dans les tuteurs intelligents, intégrant une proposition de gestion dans le temps de la coopération système/élèves/maître, s'inscrivait déjà dans cette démarche. Des scénarios d'usage de ce type ont été aussi développés dans l'enseignement des mathématiques pour accompagner la présentation d'une situation mathématique : ils proposent une organisation étape par étape du déroulement de l'activité en classe, indiquant pour chacune de ces étapes, sa durée, la phase de la situation à étudier, les tâches à réaliser, les acteurs qui les réalisent, les outils et supports nécessaires [GUI 00].

Notons encore ici le caractère polysémique du terme *scénario* :

- Colette Laborde [LAB 99] a proposé des *scénarios* à destination des enseignants désireux de réaliser des séquences d'enseignement intégrant un logiciel de géométrie implémenté sur des calculatrices. Ces scénarios comportent la présentation d'une séquence avec ses objectifs, les documents élèves et des documents d'accompagnement pour faciliter la mise en œuvre par l'enseignant de la séquence. Il s'agit là d'un ensemble plus complexe que les scénarios d'usage que nous avons présentés, qui ne traitent que de l'organisation de l'activité elle-même ;

- la notion de scénario proposée par Laborde semble s'apparenter à celle que Pernin (voir chapitre 6, paragraphe 6.4.1) présente en discutant la notion de *scénario d'apprentissage*, qui n'est pas seulement un canevas *a priori*, mais un objet complexe, présentant à la fois l'activité, des déroulements possibles et les outils nécessaires.

7.2.3. Dimension instrumentale

Notre réflexion s'appuie également sur la notion d'*instrument*, issue du *champ du travail* (ergonomie cognitive située/didactique professionnelle). La théorie de Rabardel [RAB 95] est basée sur l'idée de *médiation* due à Vygotski [VYG 34] et sur la *théorie de l'activité* [ENG 99]. Dans ce prolongement, Rabardel se situe aussi dans le cadre théorique de la conceptualisation de Vergnaud [VER 96]. Il définit un instrument comme le résultat d'un processus de construction (*la genèse instrumentale*) par le sujet au cours de son activité, à partir d'un *artefact* donné. Un instrument est donc une entité mixte, bien distincte de l'artefact, qui n'est pas donnée, mais *construite* par le sujet : cette entité est composée d'une partie de l'artefact (composante matérielle) et des schèmes (composante psychologique) mis en œuvre pour réaliser un type de tâches (voir figure 7.1). Un instrument n'existe donc pas *a priori*, il est construit, à partir de l'artefact, par l'utilisateur, quand cet utilisateur se l'approprie et l'intègre dans son activité.

Comprendre les genèses instrumentales suppose de comprendre l’articulation de deux processus *duaux* et *simultanés* dans la relation dynamique sujet-artefact :

– le processus d’*instrumentalisation*, dirigé vers l’artefact, relatif à la partie de l’artefact mobilisée et à sa personnalisation ;

– le processus d’*instrumentation*, centré sur le sujet, relatif à l’émergence et à l’évolution des schèmes élaborés pour réaliser un type de tâches. Les schèmes (voir paragraphe 7.2.1) ont une fonction *pragmatique* (relative à l’action), *heuristique* (relative à l’anticipation et la planification) et *épistémique* (relative à la compréhension). Notons le caractère polysémique du terme *instrumentation* chez Rabardel : d’une part, il apparaît dans l’expression « processus d’instrumentation », l’un des processus duaux de la genèse instrumentale définis ci-dessus. D’autre part, il apparaît dans ce que Rabardel appelle *activité instrumentée par un artefact* ou *instrumentation de l’activité par un artefact*, désignant ainsi un processus centré sur l’activité assistée par un artefact, qui va donner matière, pour le sujet engagé dans l’action, à un instrument : au cours de cette activité instrumentée, les deux processus duaux (instrumentation et instrumentalisation) interviennent³¹.

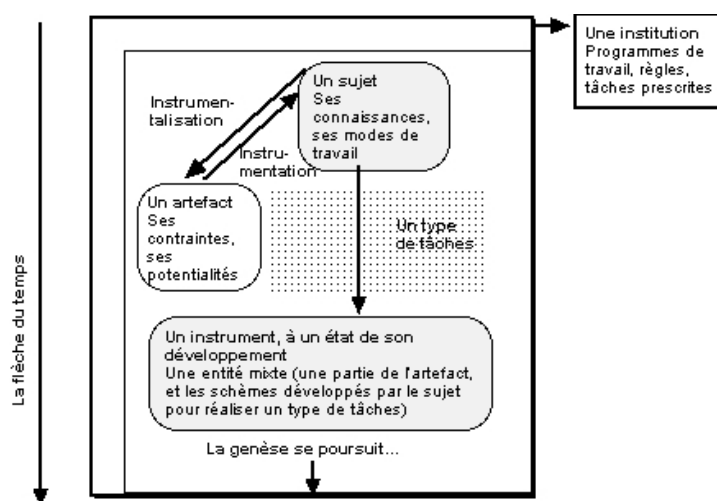


Figure 7.1. Les deux processus constituant les genèses instrumentales

Les genèses instrumentales ont des aspects individuels, institutionnels, mais aussi sociaux : les apprentissages s’inscrivent dans des institutions et des communautés.

31. La distinction entre ces deux sens du mot instrumentation est d’autant plus importante que les deux acceptions du terme sont utilisées dans les différentes contributions de cet ouvrage.

Les premières analyses d'apprentissage instrumenté [GUI 02] concernaient l'activité instrumentée d'élèves avec, comme artefacts, des calculatrices ou des logiciels utilisés pour l'enseignement des mathématiques. Elles ont surtout porté sur l'étude des processus d'instrumentation : face à la grande diversité des instruments construits par des élèves différents dans une même classe, elles ont mis en évidence la nécessité d'un accompagnement institutionnel de ces genèses. Il s'agissait d'étayer la construction des schèmes pour que celle-ci se fasse en cohérence avec les apprentissages visés.

L'approfondissement de ces analyses a confirmé les travaux en ergonomie cognitive, montrant que les *détournements d'usage* [RAB 95, p. 119], dont témoignent souvent les processus d'instrumentalisation, sont inhérents à l'activité instrumentée et qu'ils peuvent être féconds. Ce fait justifie la position de Béguin et Rabardel [BEG 00] qui suggèrent d'*impliquer les usagers* dans le processus de conception des artefacts : dans cette perspective, les artefacts informatiques sont perçus comme des *propositions* qui seront développées ou non par les usagers. Cette position débouche sur la notion de *conception distribuée* (entre concepteurs initiaux et utilisateurs) et sur la notion de *conception dans l'usage* [RAB 05], qui souligne l'implication nécessaire des usagers dans le processus même de conception des artefacts.

7.2.4. Un cadre théorique pour concevoir les EAI et analyser les apprentissages

Nous appelons AIDE (approche instrumentale, didactique et écologique) le cadre théorique visant à articuler et à adapter les dimensions précédentes (voir paragraphes 7.2.1, 7.2.2 et 7.2.3), distinguant plusieurs étapes combinées pour l'ingénierie didactique en EAI et l'analyse des apprentissages :

- la première étape est une *analyse a priori* des artefacts informatiques visant une identification de leurs *contraintes* et un questionnement de leurs *potentialités* pour les apprentissages visés. Cela suppose l'étude de la *transposition informatique* que Balacheff [BAL 94] décrit comme « ce travail sur la connaissance qui en permet une représentation symbolique et la mise en œuvre de cette représentation par un dispositif informatique ». Cette analyse des contraintes permet d'*anticiper* et de mieux comprendre certains phénomènes didactiques et certaines formes des genèses instrumentales à l'œuvre ;

- la deuxième étape vise à concevoir une situation didactique et son exploitation dans un environnement donné. Il s'agit de créer les conditions de constructibilité des connaissances visées, cette étape dépend donc fortement de la première étape. L'objectif est d'exploiter non seulement les potentialités, mais *également les contraintes* des artefacts informatiques pour favoriser cette construction ;

- la troisième étape est celle de la *mise en œuvre* de la situation dans la classe ;
- la quatrième étape est celle de l'analyse des *comportements observables* des élèves, l'évaluation des apprentissages réalisés et, en conséquence, l'évaluation de la pertinence de la situation et de son exploitation.

Ceci débouche naturellement sur une révision de la situation et de son exploitation, pour des utilisations ultérieures, et sur la conception de nouvelles situations.

La mise en œuvre de cette approche ne peut relever de la responsabilité d'un enseignant isolé. Pour Chevallard [CHE 92], la conception de situations et de systèmes d'exploitations didactiques suppose des équipes pluridisciplinaires, comprenant des informaticiens, des didacticiens, des mathématiciens et des enseignants. Mais des équipes, aussi expertes soient-elles, peuvent-elles concevoir des situations complètes, définitives, livrées « clés en main » aux enseignants ? Les relations entre concepteurs et utilisateurs de ressources sont complexes : une réflexion sur cette question, prenant en compte la dimension instrumentale (voir paragraphe 7.2.3), nous a conduits à envisager la conception de ressources pédagogiques sous un nouvel angle.

7.2.5. Approche multidimensionnelle de la conception de ressources pédagogiques

Nous appelons *ressource pédagogique* un ensemble de documents conçus (ou récupérés, ou composés) par un enseignant (ou un groupe d'enseignants) pour lui-même (ou pour d'autres), permettant de disposer d'une (de) situation(s) mathématique(s) et d'éléments pour la (les) exploiter dans sa classe : une situation mathématique présentée par un manuel, une activité et des éléments de contexte réalisés par une équipe de l'IREM (voir paragraphe 7.3.1) ou une fiche de préparation d'un travail dirigé, réalisée par un professeur, constituent dans ce sens des ressources pédagogiques. Une même situation mathématique peut d'ailleurs être exploitée dans différents contextes (papier/crayon, tel ou tel EAI). Une même ressource peut ainsi comporter des éléments précisant l'exploitation possible d'une situation dans ces différents contextes d'usage.

Les *scénarios* présentés par Laborde ou Pernin (déjà discutés, voir paragraphe 7.2.2) peuvent être confrontés à cette définition :

- les scénarios de Colette Laborde sont des ressources pédagogiques particulières. Ils sont conçus par des *experts* à l'intention des enseignants, ils se situent dans un environnement spécifique, Cabri-géomètre [CAB] et proposent des situations mathématiques adaptées à cet environnement ;

– la définition de *scénarios d'apprentissage* introduite par Pernin (voir chapitre 6, paragraphe 6.4.1) est plus large que celle de ressources pédagogiques (les scénarios d'apprentissage ne s'adressent pas forcément à un enseignant), et le formalisme qu'elle suggère (en termes de structure, de relations, de règles) est tout à fait inspiré des travaux sur les *langages de modélisation pédagogique*.

Il y a toujours un écart entre ce qu'une ressource pédagogique intègre comme *propositions* d'action [GUI 05] pour les enseignants et l'action réelle de ceux-ci dans leurs classes. Un enseignant s'approprie une ressource, suit, pour sa mise en œuvre, certaines de ses propositions, en adapte ou en écarte d'autres. Après cette mise en œuvre, la ressource peut être modifiée par l'enseignant, intégrant les changements intervenus dans son usage. Nous considérerons ainsi, dans notre approche instrumentale (voir paragraphe 7.2.3), une ressource pédagogique comme un artefact à la disposition d'un professeur et susceptible d'évolution. Les interactions entre une ressource donnée et un professeur donné sont cependant réduites : un professeur va mettre en œuvre une ressource donnée un nombre très limité de fois, souvent une fois dans une année scolaire. Nous avons vu par ailleurs que la conception d'une ressource est une tâche complexe : un seul professeur ne peut pas être l'auteur de toutes les ressources dont il a besoin.

7.2.5.1. *Communautés de pratique et viviers de ressources pédagogiques*

Nous nous intéressons donc dorénavant à un groupe de professeurs partageant un ensemble de ressources afin de disposer ainsi d'un ensemble suffisant d'interactions permettant, potentiellement, une évolution des ressources et, à plus long terme, une évolution des pratiques professionnelles.

L'utilisation des mêmes ressources pédagogiques par plusieurs enseignants ne va cependant pas de soi (en France en tout cas). Cette situation tient, d'une part, aux conditions individuelles d'exercice de la profession des enseignants (en France), et, d'autre part, à la nature des ressources pédagogiques existantes (voir paragraphe 7.3.1). La mutualisation des ressources suppose donc d'agir à ces deux niveaux :

– la notion de *communauté de pratique* [WEN 98], évoquée aussi par Hotte et Contamines (voir chapitre 10, paragraphe 10.2.3), semble être un bon cadre pour décrire les relations nécessaires à une mutualisation des ressources pédagogiques. L'existence d'une communauté de pratique suppose en effet, pour ses membres, l'engagement actif dans une entreprise collective, la production d'objets qui *réifient* des éléments de pratique et le développement d'un *répertoire* partagé qui intègre les résultats de ce processus de réification. Si l'on considère que la conception de ressources pédagogiques, pour un enseignant, est un élément essentiel de réification de sa pratique professionnelle, un ensemble de ressources pédagogiques peut alors

constituer un répertoire partagé dans une communauté d'enseignants engagés dans une entreprise collective liée à leurs pratiques professionnelles ;

– la *réutilisabilité* d'une ressource est un objectif essentiel, comme le note Crozat (voir chapitre 9, section 9.3), pour son utilisation par des enseignants autres que ses concepteurs. Une certaine homogénéité de *forme* des ressources du répertoire partagé semble souhaitable pour cette réutilisabilité. Cela nécessite que chaque communauté d'utilisateurs constitue des *modèles* de ressources adaptés à ses besoins spécifiques.

7.2.5.2. Genèse instrumentale collective de ressources pédagogiques

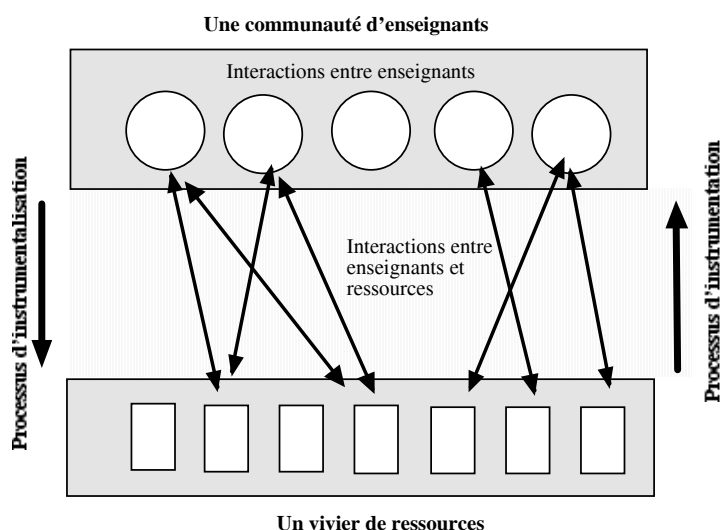


Figure 7.2. Un vivier de ressources pédagogiques qui se constitue en instrument pour une communauté d'enseignants

La dimension instrumentale, dans notre approche de la conception de ressources, est donc une transposition de l'approche instrumentale classique (portant sur les interactions entre un artefact et un individu) : nous considérons ici les interactions entre les ressources pédagogiques (artefacts) d'une communauté et cette communauté (voir figure 7.2). Les genèses instrumentales, dans leurs dimensions individuelles et sociales (voir paragraphe 7.2.3), se développent ainsi :

– le *répertoire de ressources* pédagogiques se constitue en un instrument des pratiques professionnelles : les ressources *évoluent* (ce que nous interprèterons comme la manifestation des processus d'instrumentalisation, voir paragraphe 7.2.3) à

partir des usages dans des contextes différents (les classes des différents enseignants). Au lieu de répertoire, nous utiliserons le terme de *vivier*³², en cohérence avec l'idée de ressources *vivantes*, pour souligner cette évolution au cours des usages ;

– simultanément, elles peuvent concourir à l'évolution des pratiques professionnelles (ce que nous interpréterons comme la manifestation de processus d'instrumentation).

Au-delà de la mise en commun des ressources pédagogiques réalisées par chaque enseignant individuellement, modifiées par la communauté à la lumière des usages, de nouvelles ressources seront conçues au sein de la communauté ; par cette conception *collaborative*, une ressource devient réellement une production de la communauté elle-même.

Cette dimension instrumentale, dans notre approche de la conception collaborative de ressources pédagogiques, nous permet de reformuler les questions que nous posions au début de cette contribution (voir section 7.1) :

– quel dispositif constituer pour que des communautés de pratique d'enseignants puissent émerger, et à quelles conditions, comme le disent Hotte et Contamines (voir chapitre 10) peuvent-elles être *auteurs et utilisatrices* de ressources pédagogiques ?

– dire que les genèses instrumentales assurent l'évolution des ressources pédagogiques ne garantit pas leur qualité ; quel modèle de ressources concevoir, quel suivi du vivier de ressources envisager ?

– cette réflexion sur la conception des ressources pédagogiques ayant été motivée par la nécessité d'accompagner l'intégration des TIC dans les pratiques professionnelles, comment évaluer l'évolution des pratiques professionnelles à l'intérieur des communautés de pratique impliquées dans le dispositif ?

C'est ce que nous allons voir maintenant à la lumière de l'expérience du SFoDEM.

7.3. Présentation du dispositif SFoDEM

De notre point de vue, une ingénierie de ressources pédagogiques pour l'intégration des TIC dans l'enseignement des mathématiques doit s'appuyer nécessairement sur les recherches didactiques menées dans ce domaine, même si

32. ARIADNE, fondation issue de projets de recherche européens, présente ainsi son infrastructure comme un réseau distribué de *viviers* de connaissances.

l'objectif à atteindre pour des réseaux d'enseignants ne peut être du niveau de complexité de la conception de situations didactiques.

Dans ce qui suit, ce n'est donc qu'une partie de la démarche AIDE (approche instrumentale, didactique et écologique, voir paragraphe 7.2.4) que nous mettons en œuvre, dans un contexte pédagogique :

– il ne s'agit pas, dans un premier temps, de concevoir des ingénieries didactiques et d'analyser les apprentissages, mais de construire, avec des enseignants, des ressources qu'ils utiliseront effectivement en classe, et d'accompagner le processus de conception de ces ressources, en relation avec les usages dans ces classes (c'est-à-dire à la fois les usages des professeurs et ceux des élèves) ;

– nous verrons cependant, dans un deuxième temps, que la dynamique du processus engagé conduit à un questionnement didactique cohérent avec la démarche AIDE.

Nous allons, dans cette section, centrer notre étude sur la constitution de viviers de ressources pédagogiques par des groupes de professeurs réunis dans un projet de formation continue, le développement de ces viviers étant considéré comme un indice de l'émergence de communautés de pratique.

7.3.1. Origine du dispositif SFoDEM

Le SFoDEM (suivi de formation à distance pour les enseignants de mathématiques) est mis en place en septembre 2000, dans le cadre de la formation continue (non obligatoire en France) des enseignants du second degré (collèges et lycées, élèves de 11 à 18 ans). La phase expérimentale de ce dispositif s'est déroulée de septembre 2000 à juin 2002. Prenant en compte la complexité de l'intégration des TIC dans l'enseignement des mathématiques (voir section 7.1), le SFoDEM se propose d'accompagner les enseignants dans cette intégration par une formation à la *conception* de ressources plutôt que par une formation à l'*utilisation* de ressources existantes. En effet, ces dernières sont souvent peu adaptées à l'intégration des TIC : les études récentes [IRE 05] révèlent que les ressources disponibles (sur la Toile ou dans les manuels) proposent peu de situations mathématiques tirant réellement profit des TIC, donnent très peu d'éléments sur l'exploitation didactique de ces situations (voir chapitre 1, paragraphe 1.3.3), et offrent enfin très peu de moyens, à l'enseignant ou à l'élève, pour une *adaptation* à leurs usages.

Ce dispositif est conçu par l'IREM de Montpellier (Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques) avec le concours de différentes institutions aux

niveaux régional et national (CRDP, IUFM et Rectorat de Montpellier, Université Montpellier II et Direction des technologies du ministère de l'éducation nationale). Il utilise PLEI@D, plate-forme de formation à distance développée par le CNAM des Pays de la Loire. Il s'agit d'un site Web (accessible *via* une adresse Internet) qui permet aux apprenants d'avoir accès :

- à leurs parcours de formation ;
- aux supports de cours, de travaux pratiques, à des pages Web, des liens vers d'autres sites, des fichiers à télécharger ;
- à des services de communication et d'échanges : une messagerie intégrée, des forums de discussion, des espaces de communication avec le formateur, un *chat* de discussion en temps réel.

Le SFoDEM propose à son début cinq thèmes de formation : diagnostic de compétences des élèves et aide individualisée en algèbre ; calculatrices graphiques, géométriques et symboliques ; expérimentations autour de figures animées (vidéoprojection) ; simulation d'expériences aléatoires et traitement statistique de données ; échange de problèmes et résolution collaborative *via* Internet. Cette diversité des thèmes répond à une nécessité : chaque type d'intégration de TIC peut supposer, pour la classe, une organisation différente et induit par conséquent des pratiques pédagogiques diverses. Elle correspond aussi à un objectif de recherche essentiel : dégager des *invariants*, en ce qui concerne à la fois la forme des ressources pédagogiques et les modes d'organisation de la formation, afin de mettre en évidence des conditions de viabilité de ce dispositif dans d'autres contextes.

7.3.2. L'organisation du dispositif SFoDEM, vers l'émergence de communautés

Le SFoDEM est adossé à l'IREM, qui assure le secrétariat, fournit locaux et postes de travail, met à disposition des ressources humaines et un répertoire de ressources pédagogiques initiales :

- les ressources pédagogiques initiales s'inscrivent en général dans un paradigme socio-constructiviste de l'apprentissage (voir paragraphe 7.2.1), elles mettent l'accent sur l'apprentissage *collaboratif* et intègrent le plus souvent, pour leur mise en œuvre, les TIC ; elles sont en revanche très *hétérogènes* dans leur forme, reposent sur beaucoup d'implicite quant à leur exploitation dans les classes et sont ainsi très difficilement utilisables par d'autres enseignants que ceux qui les ont conçues ;
- les ressources humaines sont constituées par des animateurs de l'IREM, c'est-à-dire des enseignants-chercheurs de l'université ou des professeurs enseignant en collège ou lycée, participant à des groupes de recherche-action et ayant une

expérience de formateur dans les dispositifs classiques. Les animateurs de l'IREM constituent un *réseau d'acteurs*, comme les décrivent Depover et Strebelle (voir chapitre 5, paragraphe 5.5.1), très actifs en particulier en ce qui concerne l'intégration des TIC dans leurs propres classes, que l'on peut qualifier de professeurs *pionniers* [GUI 02, p. 118].

Le cœur du SFoDEM est la *cellule de formation* qui regroupe des animateurs de l'IREM ayant des rôles différents :

- trois enseignants-chercheurs (dans le domaine de la didactique des mathématiques et des EIAH) sont les *pilotes* du SFoDEM (ils en assurent la responsabilité administrative et le suivi scientifique) ;
- quinze animateurs (trois pour chacun des cinq thèmes), enseignant en collège ou en lycée, sont les *formateurs* du SFoDEM ;
- un animateur est le *responsable technique* (pour l'administration de la plateforme).

Cette cellule de formation assure la *planification* et la *régulation* du dispositif (essentielles dans le domaine de l'enseignement à distance, surtout dans une phase initiale). La réflexion, au sein de cette cellule, porte principalement sur deux points : l'organisation de la formation et la conception des ressources pédagogiques. Les interactions se font en présence (une fois par mois) et à distance. Chaque réunion est organisée à partir d'un *ordre du jour* et donne lieu à un *compte-rendu*, enfin une *feuille de route* établit le programme de travail jusqu'à la réunion suivante. Entre les réunions de la cellule, les communications, sur les problèmes communs aux différents thèmes, se font essentiellement par courrier électronique.

Cinq groupes de formation correspondent à chacun des thèmes (voir paragraphe 7.3.1), regroupant chacun trois formateurs et une vingtaine de *stagiaires*. Ces stagiaires sont des enseignants en exercice, ils se sont portés volontaires pour participer au SFoDEM dans le cadre de leur formation continue. Leurs motivations reflètent la diversité des raisons décrites par Baron et Bruillard [BAR 06] : tentative de résoudre des difficultés didactiques ressenties, volonté d'essayer des méthodes espérées plus efficaces, résultat des prescriptions curriculaires ou incitation par des pairs militants. La formation alterne des communications à distance et trois journées en présentiel, les deux premières propres à chacun des groupes, la troisième commune à l'ensemble du dispositif :

- la première journée permet de présenter le dispositif général SFoDEM, la plateforme PLEI@D et ses principales fonctionnalités, les objectifs de formation spécifiques au thème. Elle permet aussi d'organiser les modes de communication et de travail internes et de discuter un programme de réalisation. Après cette séance, les

formateurs de chaque thème mettent à disposition des stagiaires, sur la plate-forme, un nombre de ressources volontairement réduit (2 ou 3), afin de *faciliter les possibilités de communication* sur le *contenu* des ressources et sur *l'expérimentation* de celles-ci dans les classes des stagiaires ; au terme de cette première séance, il y a donc une amorce d'engagement commun et un objectif désigné de partage d'un petit répertoire de ressources ;

- la deuxième journée, à mi-parcours, a pour objectif de faire le point, de résoudre d'éventuelles difficultés techniques apparues, d'ajuster les modes de communication, de réguler le travail commun, d'échanger sur les premiers bilans d'expérimentation et d'engager l'élaboration de nouvelles ressources. Les échanges liés à l'expérimentation des ressources, à la discussion sur des problèmes techniques ou pédagogiques et à l'élaboration de nouvelles ressources peuvent aussi se faire en utilisant les fonctionnalités de communication de la plate-forme (forum et *chat* lent). Au terme de cette deuxième séance, il y a ainsi un répertoire commun de ressources (les deux ou trois ressources qui ont été expérimentées par tous) et l'amorce de développement d'un vivier : de nouvelles ressources naissent, sont développées par certains stagiaires et discutées en commun dans le groupe ;

- la dernière journée permet de faire un bilan général de la formation et d'envisager les modifications susceptibles d'améliorer le dispositif.

Cette implication des stagiaires dans l'évolution du dispositif est essentielle pour faciliter, dans chacun des groupes, l'émergence de communautés de pratique. Cependant, celle-ci est loin d'être naturelle et doit donc être régulièrement sollicitée à l'occasion des échanges entre formateurs et stagiaires, en présence et à distance, elle est aussi stimulée par des outils spécifiques :

- des *baromètres* (questionnaires) sont proposés régulièrement (trois par an) aux stagiaires (voir figure 7.3), ils permettent de mettre en évidence les difficultés, les attentes et les besoins des différents acteurs ;

- des *chartes* sont élaborées, précisant « les droits et les devoirs » de chacun. Il s'avère en effet rapidement nécessaire d'explicitier les engagements des différents acteurs du dispositif (ce que le groupe attend de chaque type d'acteurs et ce qu'ils peuvent attendre du groupe), afin que les individus puissent s'impliquer en connaissance de cause dans une structure qui nécessite une implication plus forte que les dispositifs traditionnels de formation. Ces chartes sont ainsi proposées et discutées dès la première journée en présentiel, à partir de la deuxième année de la phase expérimentale du SFoDEM : la charte *pilotes*, la charte *formateurs* et la charte *stagiaires*. Une charte *établissement* est aussi envoyée aux établissements de chaque stagiaire, afin que, dans la mesure du possible, ceux-ci mettent en place les conditions matérielles nécessaires pour permettre aux professeurs stagiaires concernés de respecter leurs engagements (les réponses aux baromètres de la

première année du SFoDEM révèlent en effet les difficultés de connexion ou de téléchargement de documents que les stagiaires rencontrent dans leur établissement).

<p>Avez-vous mis en œuvre dans vos classes cette ressource ?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Avez-vous suivi l'un des scénarios proposés ? 2. La ressource vous paraît-elle adaptée au niveau de la classe ? 3. La mise en œuvre a-t-elle posé des problèmes : <ol style="list-style-type: none"> a) Techniques b) Pédagogiques c) Si oui, précisez. <p>Y a-t-il des modifications qui vous paraissent souhaitables ? Si oui, précisez.</p>
--

Figure 7.3. Extrait du baromètre consacré plus particulièrement aux ressources

7.3.3. *Elaboration du modèle commun de ressources*

Le développement d'un vivier de ressources, pour chacun des thèmes du SFoDEM, suppose une mutualisation. Cette mutualisation suppose une *homogénéité des ressources*, condition facilitatrice pour les utilisateurs du vivier, qui retrouvent ainsi d'une ressource à l'autre les mêmes rubriques, présentées dans le même ordre et surtout remplies dans le même esprit. Cette homogénéité est aussi une condition facilitatrice pour l'auteur de nouvelles ressources, qui dispose ainsi d'un canevas pour organiser son travail d'écriture. Un *modèle* pour les ressources pédagogiques, commun aux différents thèmes, est élaboré par étapes, dans le cadre de la cellule de formation : initialisé de manière *ascendante*, à partir des ressources conçues par les formateurs, il est confronté aux *normes* en matière de description d'objets pédagogiques, puis, de manière *descendante*, proposé aux formateurs pour concevoir leurs ressources en conformité au modèle. Quand ce modèle fait l'objet d'un consensus au sein de la cellule de formation, il est proposé aux différents groupes de stagiaires et sert ensuite de cadre à la conception de nouvelles ressources.

Les ressources initiales des différentes équipes de l'IREM étaient très hétérogènes. Elles se présentaient en général sous la forme de trois fiches (figure 7.4) : une *fiche de description* (donnant, suivant les équipes, des éléments d'information de différents types sur la ressource, les TIC impliquées, le niveau scolaire, etc.), une *fiche pour l'élève* présentant la *situation* mathématique à étudier (voir paragraphe 7.2.1) et une *fiche professeur*, donnant des éléments généraux de réflexion sur l'activité (conseils méthodologiques, difficultés prévisibles, etc.). Les ressources de l'un des groupes étaient plus développées, elles intégraient un scénario d'usage (voir paragraphe 7.2.2), proposant une organisation dans le temps de l'activité du professeur et de ses élèves.

On peut distinguer quatre étapes majeures qui vont aboutir en 2002, à la fin de la phase expérimentale, à un modèle commun aux différents groupes du SFoDEM.

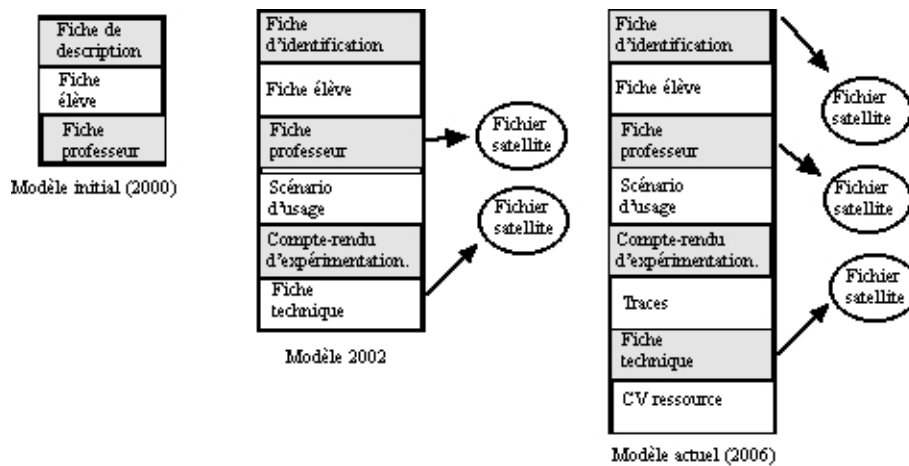


Figure 7.4. Evolution du modèle de ressources du SFoDEM

7.3.3.1. Première étape, recherche d'une description commune des ressources

Bien que la plate-forme PLEI@D ne dispose pas d'un mécanisme de recherche élaboré, les pilotes proposent d'emblée d'associer aux ressources pédagogiques du SFoDEM des *métadonnées* permettant leur description en conformité avec des *normes* ou standard pour les ressources pédagogiques. Par extraction du LOM (*Learning Object Metadata* [LOM]) et confrontation aux fiches de description des ressources initiales, un modèle de *fiche d'identification* des ressources du SFoDEM émerge. L'écriture d'une fiche d'identification pour chaque ressource contraint les formateurs à s'interroger simultanément sur la pertinence des situations proposées, des TIC utilisées (interrogation essentielle étant donnés les objectifs généraux du SFoDEM relatifs à l'intégration des TIC) et sur l'adéquation de ces ressources avec les programmes scolaires.

7.3.3.2. Deuxième étape, dissociation des aspects pédagogiques et techniques

Les ressources initiales de l'IREM, conçues dans l'objectif d'intégrer les TIC, mêlaient souvent les aspects pédagogiques et les aspects techniques. Le regroupement des aspects techniques dans une fiche spécifique permet de dissocier ces deux types d'aspects. En plus de la fiche d'identification, une ressource se compose donc de :

– la *fiche élève*, qui donne à l'utilisateur un document à distribuer aux élèves pour présenter le déroulement et le contenu de l'activité proposée. Ce document met en scène une situation mathématique (voir paragraphe 7.2.1) propre à introduire, éclairer ou élargir une connaissance donnée ;

– la *fiche professeur*, qui précise les objectifs de cette activité (champs programme officiel, intérêt pédagogique etc.) et les pré-requis. Elle indique les contributions potentielles des TIC à la réalisation de ces objectifs (rubriques intérêt et description de l'activité instrumentée). Elle vise essentiellement à faciliter l'appropriation de la ressource par le professeur en signalant d'éventuelles difficultés ;

– une *fiche technique* (spécifique à la ressource), qui est conçue pour faciliter l'appropriation technique de la ressource. Dans la description technique, les auteurs utilisent les fonctionnalités générales des logiciels plutôt que des fonctionnalités spécifiques ; de cette façon, la ressource reste exploitable pour différents logiciels et renvoie à un manuel utilisateur pour la mise en œuvre spécifique à un logiciel donné.

Par ailleurs, des fiches *satellites* sont constituées, en lien avec plusieurs ressources : par exemple, des extraits de modes d'emploi de logiciels particuliers ou des documents théoriques. Leur nécessité est apparue, au départ, pour des raisons d'économie (éviter de répéter les mêmes informations pour des ressources différentes), puis afin de pouvoir préciser la sémantique des notions évoquées dans les ressources : par exemple, qu'est-ce qu'une variable didactique ? Quelle est la différence entre une égalité et une identité ? Comment susciter chez les élèves une démarche scientifique ?

7.3.3.3. Troisième étape, les scénarios d'usage

La troisième étape est l'intégration, dans chaque ressource, d'un ou de plusieurs scénarios d'usage, en s'appuyant sur l'expérience développée dans le cadre de l'IREM [GUI 00]. Ces scénarios ne sont pas génériques, mais spécifiques à une ressource donnée, puisque fortement liés à la situation correspondante : une description dans le temps des étapes de la mise en œuvre de la situation y est proposée. L'intérêt du scénario d'usage se révèle essentiel : il permet de préciser les moments où les TIC sont sollicitées, pour quelle tâche, sous la responsabilité de qui (le professeur, un élève ou un groupe d'élèves), et d'explicitier le type d'intégration des TIC (vidéo-projection dans une salle ordinaire ou travail par binôme en salle informatique par exemple). Ces scénarios donnent ainsi des éléments pour des orchestrations instrumentales (voir paragraphe 7.2.2), permettant d'assurer la gestion didactique des artefacts présents dans l'EAI proposé dans la ressource.

7.3.3.4. *Quatrième étape, les comptes-rendus d'expérimentation*

La quatrième étape est, dans la perspective des utilisations postérieures, la conception d'une fiche *compte-rendu d'expérimentation*, pour faciliter les retours d'usage, permettre une mutualisation des expériences et, ultérieurement, une révision de la ressource, d'une part, et du modèle de ressource, d'autre part. Les comptes-rendus d'expérimentation jouent, au niveau de la ressource, le rôle que jouent les baromètres pour le dispositif : les usagers sont *associés*, à tous les niveaux, à la conception de ce qui deviendra pour eux des instruments de leur pratique professionnelle et de leur formation. Le développement des outils est pensé, comme le décrivent Henri et Maina (voir chapitre 8, paragraphe 8.1.2), en termes d'acteurs humains *créateurs des usages*.

7.3.3.5. *Modèle de ressources 2002*

Une réécriture des ressources conforme à ce modèle, comportant un ou plusieurs scénarios d'usage initiaux, est réalisée par les formateurs. Le modèle est alors soumis aux cinq groupes formateurs-stagiaires, pour que les stagiaires testent ces ressources modifiées. Les stagiaires conçoivent ensuite de nouvelles ressources conformes au modèle. Lors de ces différentes étapes, le modèle n'est pas remis en cause, mais il est précisé au niveau des différents champs de chacune de ses fiches composantes (voir [JOA 03, p. 264] pour une présentation des champs de chaque fiche).

Le modèle intègre ainsi, au-delà des informations importantes du répertoire initial de ressources, de nouvelles informations précieuses pour la mise en œuvre des ressources dans les classes. *Enrichi* par les types d'informations requis par les normes (voir paragraphe 7.3.3.1), il est ensuite *validé* par l'amélioration des ressources rendues conformes au modèle et par sa mise en œuvre dans la conception de nouvelles ressources par les stagiaires.

A l'issue de la phase expérimentale (voir paragraphe 7.4.1), la composition d'une ressource pédagogique fait l'objet d'un consensus au sein du SFoDEM. En quelque sorte, l'on peut considérer que le modèle 2002 (voir figure 7.4) constitue une *réification* de ce consensus. Une ressource pédagogique dans les cinq communautés SFoDEM est alors formée de documents *indissociables* : outre la fiche d'identification, une fiche élève, une fiche professeur, un ou des scénarios d'usage, une fiche technique, des comptes-rendus d'expérimentation, des fichiers exécutable (logiciels de géométrie dynamique ou tableurs par exemple) et des fiches satellites. On pourra trouver dans [GUI 03] ou [GUI 07] des exemples de ressources élaborées par les différents groupes, correspondant à des objectifs pédagogiques ou didactiques variés : introduction d'un théorème (Pythagore, Thalès), construction d'un concept (angle inscrit, tangente), transition entre les

cadres numérique et algébrique, développement d'un débat scientifique dans la classe.

7.4. Mise en œuvre et évolution du dispositif et du modèle de ressources

7.4.1. Bilan de la phase expérimentale

La phase expérimentale du SFoDEM s'est déroulée de septembre 2000 à juin 2002. Les questionnaires proposés à différents moments de l'expérimentation permettent de tirer un bilan, tant du point de vue des établissements scolaires des stagiaires que du point de vue des stagiaires eux-mêmes et des formateurs :

– du point de vue des établissements, force est de constater que, même si l'institution déclare vouloir favoriser l'intégration des TIC, toutes les conditions matérielles (présence, disponibilité des matériels et facilité d'accès) ne sont pas encore réunies. C'est pourquoi, au début de la deuxième année, les formateurs envoient dans chaque établissement des stagiaires une demande de mise à disposition du matériel nécessaire à la formation, accompagnée d'une charte établissement (voir paragraphe 7.3.2) décrivant ce que devraient être « les droits et les devoirs » d'un établissement par rapport à l'un de ses enseignants en formation ;

– du point de vue des stagiaires, les questionnaires font apparaître certaines résistances à une participation active en formation, ou à une description explicite des ressources réalisées, ou à un travail collaboratif à partir d'une ressource « experte » proposée par les formateurs, ou à une évaluation interne du dispositif. Malgré les difficultés techniques rencontrées, il est cependant certain que le modèle de ressources a des effets significativement positifs : des effets sur les ressources elles-mêmes, re-écrites ou conçues selon ce modèle, mais aussi des effets sur les stagiaires eux-mêmes. En effet, l'évolution de ce modèle favorise une intégration plus maîtrisée des TIC, à la fois dans l'écriture et dans l'exploitation des ressources dans les classes ;

– du point de vue des formateurs, les évolutions sont aussi très importantes. Le rôle de *compagnon*, c'est-à-dire de partenaire de professeurs stagiaires dans un processus de conception, d'expérimentation et de révision de ressources, nécessite une rupture avec les pratiques de formation classique. Pour faciliter cette rupture, le travail au sein de la cellule de formation est sans doute essentiel, permettant d'analyser les difficultés, de concevoir les outils permettant de les surmonter et de déterminer les évolutions nécessaires au sein du dispositif.

Les résultats de la phase expérimentale de SFoDEM sont publiés dans un CD-ROM [GUI 03] regroupant des exemples de ressources réalisées par les stagiaires

(en conformité au modèle), les différents baromètres, le traitement des données, ainsi que des témoignages des formateurs et des stagiaires sur l'expérience vécue.

7.4.2. Phase opérationnelle

La phase opérationnelle du projet débute en septembre 2002 et se poursuit jusqu'en juin 2005. Les résultats de la phase expérimentale et les discussions menées au sein de la cellule de formation induisent des évolutions significatives du dispositif, du modèle de ressources et du processus de conception collaborative.

7.4.2.1. Evolution du dispositif

La cellule de formation s'étoffe : d'une part, le responsable technique est remplacé par une cellule technique de trois personnes, chargée, au-delà de la gestion de la plate-forme, de constituer les éléments finaux d'une chaîne de production des ressources pédagogiques. Les formateurs et les stagiaires peuvent ainsi se centrer sur les questions pédagogiques de conception des ressources. D'autre part, un nouvel acteur intègre la cellule : le coordonnateur, chargé de suivre le travail de la cellule de formation (ordres du jour, comptes-rendus), de favoriser les échanges au sein de la cellule de formation (entre les pilotes, la cellule technique et les formateurs) et, au sein du dispositif, entre les différents groupes.

La *mémoire de travail*, difficilement mise en place par chaque groupe durant la phase expérimentale, devient, dans la phase opérationnelle, un artefact réellement disponible, sous la forme d'un dossier constitué dans un espace de travail de l'équipe sur la plate-forme PLEI@D. Cette mémoire peut être ainsi considérée comme une réification des modes de travail des formateurs et des stagiaires des différents groupes, indice de leur évolution. Elle permet à chacun d'entre eux de mieux suivre les évolutions de son groupe et de se situer par rapport à son histoire. Cette mémoire partagée est un élément essentiel pour la constitution de communautés de pratique.

7.4.2.2. Evolution du modèle de ressource

La première évolution majeure est l'ajout d'une nouvelle fiche au modèle 2002 (voir figure 7.4) : le CV (*curriculum vitae*) de la ressource, regroupant les dates des événements significatifs de la vie de cette ressource, les rubriques modifiées et les acteurs de la modification. C'est un indice de l'évolution réelle du répertoire vers un vivier de ressources qui devient, comme le dit Pernin d'un scénario pédagogique (voir chapitre 6, paragraphe 6.4.1), « une entité dynamique modifiée, enrichie, adaptée tout au long du processus de scénarisation par les différents acteurs ».

La deuxième évolution est l'ajout d'une fiche traces de l'activité (voir figure 7.4). Elle apparaît fondamentale pour le « suivi des apprenants » et le diagnostic de leurs compétences, afin de faire évoluer les stratégies d'accompagnement dans les partenariats homme/machine qu'évoquent Leroux et Daubias (voir chapitre 4, section 4.4). La discussion sur les recueils de traces de travaux d'élèves suscite une réflexion individuelle, puis collective au sein des divers groupes : quelles sont les traces significatives ? De quels apprentissages témoignent-elles ? Quelles sont les variables didactiques de la situation (voir paragraphe 7.2.1) ou les variables du scénario d'usage sur lesquelles il serait possible de jouer pour améliorer la ressource et les apprentissages qu'elle favorise ?

7.4.2.3. *Evolution du processus de conception collaborative*

La fin de la phase expérimentale fait apparaître, dans deux des groupes du SFoDEM, l'intérêt de ressources élémentaires (une idée de problème ou la « trouvaille » d'une animation sur un site, proposées par un stagiaire). Le caractère incomplet (par rapport au modèle) de ces ressources se prête en effet plus facilement à une discussion entre les stagiaires, souvent plus réticents à discuter d'une ressource « experte » (voir paragraphe 7.4.1). Ce type d'amorce du travail collaboratif est institutionnalisé : dans le SFoDEM, on appelle désormais *germes de ressources* de telles ressources élémentaires, très diverses suivant les groupes de formation. Le travail collaboratif est dorénavant organisé dans chaque groupe, soit autour de ressources conformes au modèle, soit autour de germes de ressources.

Avec ce nouveau type de ressources (les germes), apparaissent de nouveaux modes de travail. Des sous-groupes de projet (constitués de trois ou quatre stagiaires), suivis par un formateur, se forment dans chaque groupe afin de concevoir une ressource à partir d'un germe proposé par l'un des stagiaires. Quand la ressource est conforme au modèle, elle est discutée dans le groupe tout entier.

7.4.2.4. *Quelques résultats*

De manière générale, le traitement des données de cette phase opérationnelle met en évidence une implication des stagiaires nettement plus forte et le développement d'un vivier de ressources pédagogiques. Les ressources conçues dans les différents groupes et expérimentées dans les classes des stagiaires témoignent d'une intégration croissante des TIC, beaucoup plus significative, comme le relèvent les témoignages des enseignants, qu'après des stages de formation classique.

De cette phase opérationnelle, nous pouvons relever trois résultats, probablement non spécifiques au SFoDEM :

- ni les ressources, ni le modèle de ressources ne peuvent être considérés à un moment donné comme *complets* ou *achevés* : tant qu'il y a usage, il y a évolution

potentielle de ces éléments constitutifs du vivier, alimenté par les groupes d'enseignants et qui alimente, en retour, leur pratique professionnelle ;

- pour que les processus d'instrumentalisation (voir paragraphe 7.2.3), observables dans la modification des ressources, soient davantage nourris, il y a intérêt à initier le travail sur ces ressources très en amont du processus de conception : c'est la raison d'être des germes de ressources ;

- l'émergence des communautés de pratique n'est pas un processus naturel, elle nécessite un accompagnement à la fois interne aux différents groupes et extérieur (réalisé au sein de la cellule de formation).

La phase opérationnelle se termine par la conception d'un nouveau CD-ROM (voir paragraphe 7.6.1) visant à transmettre l'expérience du SFoDEM.

7.5. Prolongements et perspectives

Nous proposons, dans cette dernière partie, des perspectives dans deux directions : à partir de la conception du nouveau CD-ROM, d'une part, et à partir d'une réflexion sur la pertinence de la démarche SFoDEM, d'autre part, en relation avec la démarche AIDE.

7.5.1. La conception d'un nouveau CD-ROM

Nous présentons dans cette section les grandes lignes du CD-ROM réalisé de septembre 2005 à juin 2006 (édition 2007) par une *cellule auteurs* issue de la cellule de formation du SFoDEM, rassemblant les trois pilotes, le coordonnateur, la cellule technique et un représentant de chacun des cinq groupes. Cette réalisation a pour objectif de transmettre l'expérience du SFoDEM et des éléments de méthodologie à d'autres dispositifs de conception collaborative de ressources pour les enseignants. Le CD-ROM rassemble un ensemble de documents (ressources, germes de ressources, histoire du dispositif, témoignages d'acteurs) et d'outils (chartes, baromètres).

C'est une œuvre collective, fruit du travail de conception, d'expérimentation, de théorisation et d'écriture d'un ensemble d'auteurs (enseignants du second degré ou enseignants chercheurs mathématiciens, didacticiens ou informaticiens). Ce CD-ROM retrace donc l'histoire du SFoDEM, à travers deux entrées :

- une entrée sous forme d'un livre *parcours*, où cette histoire est restituée dans sa genèse et dans son mouvement ;

– une entrée sous forme d’une *médiathèque*, où les productions de cette histoire (ressources pédagogiques, documents de référence, témoignages, etc.) sont présentées.

Il constitue, pour les utilisateurs potentiels, une invitation à construire leur *propre* parcours (voir figure 7.5) et à concevoir leurs *propres* ressources en s’appropriant celles qui sont présentées dans ce CD-ROM.

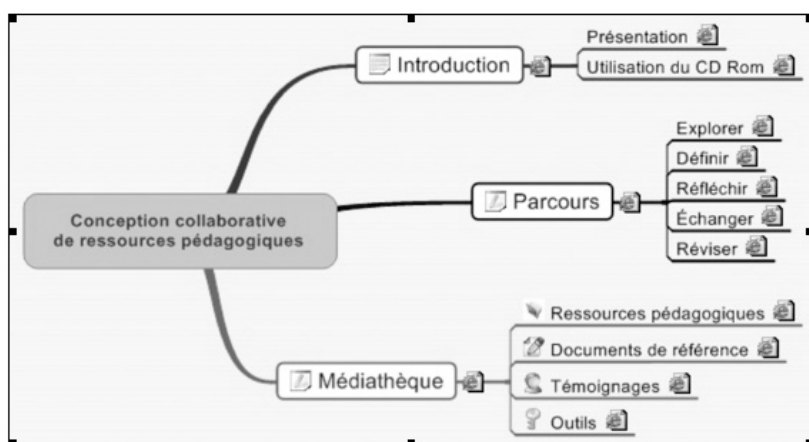


Figure 7.5. Carte du nouveau CD-ROM [GUI 07]

Les tâches proposées ont été tout d’abord répertoriées, mutualisées et homogénéisées au sein de la cellule auteurs. Ce processus d’abstraction de l’expérience collective SFoDEM a été l’occasion d’un travail *réflexif* important, dont témoignent les fiches satellites qui ont été finalisées pendant cette phase :

- des fiches théoriques générales sur le travail collaboratif, les communautés de pratique, le praticien réflexif, la conception dans l’usage (voir paragraphe 7.2.3) ;
- des fiches didactiques sur les *registres sémiotiques*, les variables didactiques (voir paragraphe 7.2.1), le statut de la lettre en mathématique ;
- des fiches pédagogiques sur la résolution de problèmes complexes, la démarche scientifique (voir paragraphe 7.2.1), les atouts de la vidéoprojection ;
- des fiches techniques sur les calculatrices, EXCEL, etc.

Pour chacune de ces fiches, un rédacteur a proposé une première mouture, celle-ci a été discutée au sein de la cellule, puis des liens ont été réalisés entre cette fiche satellite et les ressources concernées.

Les deux idées essentielles, que l'utilisateur pourra approfondir en cheminant le long du parcours ou en découvrant la médiathèque sont :

- d'une part, l'idée de *ressources vivantes* (voir paragraphe 7.2.5.2) ;
- d'autre part, l'idée de *communauté* liée à celle de *travail collaboratif*. La conception collaborative de ressources communes par des enseignants ne va pas de soi. Elle demande un climat de confiance, qui suppose du temps ; elle nécessite aussi des outils spécifiques (chartes, baromètres). Elle a demandé également un accompagnement, réalisé à l'intérieur de chaque groupe, et à l'extérieur par une cellule de formation, regroupant formateurs et pilotes, concevant tout au long de son histoire les outils nécessaires au développement du dispositif.

L'expérience est certes spécifique : le SFoDEM est un dispositif de suivi de formation continue d'enseignants de mathématiques. Cependant, il nous semble que beaucoup de ses résultats sont indépendants du domaine d'enseignement et pourraient servir à d'autres communautés enseignantes émergentes, collaborant à la conception de ressources pédagogiques : c'est le pari que nous faisons en concevant et en proposant à d'autres communautés ce CD-ROM.

7.5.2. Pertinence de la démarche SFoDEM

Au terme de ce processus, nous disposons de quelques éléments pour répondre aux questions que nous posions au début de cette étude (voir section 7.1) :

- la question du dispositif : nous ne pouvons pas, à ce stade, parler de modèle de dispositif SFoDEM car, à la différence du modèle de ressources, il n'y a pas eu de réflexion organisée sur une structure, mais une régulation du fonctionnement, des ajouts et des ajustements successifs de la structure en fonction des besoins. On peut parler cependant d'éléments de méthode favorisant l'émergence de communautés de pratique : l'importance d'une *négociation*, entre les acteurs eux-mêmes, des engagements de chacun (fonction des chartes), l'importance d'un *accompagnement* des communautés tout au long de leur développement (au sein de la cellule de formation), l'importance de la structuration interne à chaque communauté (les cinq groupes), l'importance du suivi scientifique par des chercheurs (fonction des pilotes dans la cellule de formation) et d'une évaluation régulière du dispositif à tous les niveaux pour pouvoir ajuster le dispositif (grâce aux baromètres), l'intérêt des échanges entre différentes communautés (c'est la fonction de la dernière réunion en présentiel qui, chaque année, réunit l'ensemble des stagiaires et des formateurs) ;
- la question des ressources : la recherche constante d'un *modèle* de ressources est un élément décisif pour stimuler la production et l'expérimentation. Des

questions restent ouvertes : comment constituer une chaîne de production qui assiste les auteurs de ressources sans trop contraindre les évolutions, quels outils logiciels utiliser dans cet objectif, comment gérer le vivier de ressources une fois passé le stade d'une accumulation primitive (le vivier SFoDEM, à la fin de la phase opérationnelle, regroupe une centaine de ressources). Ce type de questions est étudié par Crozat (voir chapitre 9) ;

– l'intégration des TIC dans l'enseignement des mathématiques : le SFoDEM a permis un incontestable progrès, favorisé à la fois par des ressources adaptées à cette intégration et par l'émergence de communautés où règne un climat de confiance (partage des expériences entre pairs, recours aisé à des experts : les formateurs). L'expérience SFoDEM confirme l'importance du rôle du maître dans la classe pour l'intégration des TIC. L'existence du SFoDEM n'a pas supprimé la *complexité* de la gestion par les enseignants des situations, mais leur a donné des moyens pour l'analyser et en contrôler certains aspects.

Pour la conception des ressources et du modèle de ressources, comme pour la conception du dispositif, la prise en compte de la dimension instrumentale (voir paragraphe 7.2.3) nous semble indispensable. La conception s'est faite pour les usages et par les usages [TRO 06] : les ressources ont été conçues pour faciliter l'intégration des TIC, elles se sont enrichies au travers des usages que les enseignants en ont fait dans leurs classes, et de l'analyse de ces usages. Pour la genèse du dispositif, comme pour la genèse du modèle de ressources, une durée de deux ans s'est avérée nécessaire : il a fallu du temps pour que les premières structures émergent, soient soumises aux premiers usages, soient révisées, puis expérimentées à nouveau.

La validation de la démarche SFoDEM ne peut pas être seulement interne : la possibilité du transfert à d'autres contextes est aussi importante. C'est l'un des objectifs du CD-ROM de favoriser ces transferts éventuels. Signalons dans cette perspective deux expérimentations :

– la première en cours, au Sénégal, pour la formation de professeurs vacataires (disposant d'une formation initiale très insuffisante, parfois inexistante). Il ne s'agit pas, dans ce contexte, d'accompagner l'intégration des TIC, mais d'accompagner un processus de formation, mathématique et pédagogique, à partir d'un processus de conception collaborative de ressources. Ce processus a été initié à partir du modèle 2002 de ressources du SFoDEM, dans le cadre d'un dispositif associant professeurs vacataires et professeurs titulaires. Les résultats actuels [SOK 06] semblent valider la démarche SFoDEM : les interactions entre ressources et enseignants ont fait évoluer le modèle de ressources initial (une fiche formation a émergé comme réponse à des besoins), le travail collaboratif sur les ressources est apparu comme un moteur pour l'évolution conjointe des ressources et des pratiques professionnelles ;

– la deuxième expérimentation, qui a débuté en France en septembre 2006, pour accompagner l'intégration d'un nouveau logiciel mathématique multi-plate-forme. Le dispositif e-CoLab (expérimentation collaborative de laboratoires mathématiques) concerne trois groupes travaillant à distance (Lyon, Montpellier et Paris). Ce projet pourrait permettre de prolonger l'expérience du SFoDEM en se rapprochant de la démarche AIDE (voir paragraphe 7.6.3).

7.5.3. Quel type de ressources pour une mise en œuvre de la démarche AIDE ?

L'objectif initial SFoDEM était de mettre en œuvre un dispositif d'accompagnement des professeurs et de conception collaborative de ressources pour l'intégration des TIC dans la classe de mathématiques. La conception des ressources pédagogiques a nécessité de penser l'exploitation didactique (voir paragraphe 7.2.2) des situations mathématiques dans des environnements divers, ce qui a entraîné les acteurs du SFoDEM, comme le dit Chevallard [CHE 92] « plus loin des machines, plus près des élèves », c'est-à-dire que cela a fait émerger un questionnement de type didactique, dans le sens de la démarche AIDE. Cette émergence s'est manifestée de trois façons :

– d'abord par la réalisation d'une fiche de *recueil de traces* de l'activité des élèves (voir paragraphe 7.4.2.2) et par la réflexion qui a accompagné ce travail (quels extraits choisir dans les travaux d'élèves ? Quels sont les moments critiques ? Quelles variables produisent quels effets ? De quels apprentissages témoignent les traces ?) ;

– ensuite par le développement de la réflexion autour des fiches satellites didactiques : la réalisation d'une fiche sur les variables didactiques (voir paragraphe 7.3.3.2) a été l'occasion d'une relecture des différentes ressources pédagogiques, dans un premier temps pour illustrer ce qu'était une variable didactique, dans un deuxième temps pour rechercher les variables des situations et envisager des variantes des scénarios déjà construits ;

– enfin, par l'amorce d'une réflexion sur les situations proposées conduisant à l'émergence de questions didactiques pour lesquelles AIDE fournit des éléments de méthode : quelles sont les connaissances en jeu, quels sont les apprentissages visés, quelles sont les conditions de constructibilité de ces connaissances ?

La dynamique du SFoDEM a conduit ainsi les enseignants impliqués dans les différents groupes à s'engager dans une démarche d'ingénierie didactique que l'approche théorique AIDE (voir paragraphe 7.2.4) aurait peut-être pu permettre d'approfondir, si ce dispositif avait pu se développer plus longtemps.

Cependant, cette dynamique se poursuit dans le cadre du projet e-CoLab (expérimentation collaborative de laboratoires mathématiques), qui réunit des enseignants et des chercheurs ayant participé à l'expérience SFoDEM, ainsi que des enseignants d'autres IREM et d'autres chercheurs en didactique des mathématiques. Il s'agit d'expérimenter un nouvel EAI dans cinq classes de seconde (15/16 ans). Ce « laboratoire pour faire des mathématiques » repose sur un nouvel artefact « calculatrice » intégrant une suite d'applications interactives et très intégrées, fonctionnant sur un mode *nomade* (sur ordinateur et sur calculatrice). L'expérimentation a pour objectif de concevoir des activités élèves instrumentées par cet artefact et de concevoir un dispositif susceptible de favoriser un travail collaboratif, permettant aux acteurs de ce nouveau réseau d'exploiter, de modifier et d'adapter des ressources déjà existantes, ainsi que d'en concevoir de nouvelles, notamment sur les thèmes des fonctions et de la statistique. Ce projet s'inscrit donc dans la continuité du SFoDEM (bien qu'il ne s'agisse plus d'un dispositif de formation) : l'objectif est d'étudier dans quelles limites l'expérience du SFoDEM pourrait être exploitée dans ce nouveau contexte, d'étudier les contraintes de ces nouveaux environnements, leurs conditions de viabilité, leur influence sur les apprentissages, suivant les différentes étapes de la démarche AIDE (paragraphe 7.2.4). Ce nouveau contexte d'étude devrait permettre de retravailler les questions qui ont émergé au cours de l'expérience SFoDEM, en particulier de concevoir au sein de ce réseau un(des) modèle(s) de ressources adapté(s) à ce nouveau contexte.

Il s'agira d'une mise en œuvre plus effective de la démarche AIDE, dont nous pourrons alors analyser la pertinence dans ce contexte de conception collaborative de ressources. Nul doute que cette analyse ne débouche à son tour sur une révision de certains éléments de la démarche : celle-ci, comme pour tout artefact, s'enrichira à travers les usages qui en seront faits.

7.6. Bibliographie

- [BAL 94] BALACHEFF N., « Didactique et intelligence artificielle », *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 14, n° 1/2, p. 9-42, 1994.
- [BAR 06] BARON G.-L., BRUILLARD E., « Usages en milieu scolaire : caractérisation, observation et évaluation », dans Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 265-280, Hermès, Paris, 2006.
- [BEG 00] BEGUIN P., RABARDEL P., « Concevoir pour les activités instrumentées », *Interactions homme-système : perspectives et recherches psycho-ergonomiques*, *Revue d'Intelligence artificielle*, vol. 14, n° 1-2, p. 35-54, 2000.
- [BRO 98] BROUSSEAU G., *Théorie des situations didactiques*, La Pensée Sauvage, Grenoble, 1998.

- [CAB] CABRI-GÉOMETRE, logiciel de géométrie dynamique : <http://www.cabri.net/> (consulté en octobre 2006).
- [CHE 92] CHEVALLARD Y., « Intégration et viabilité des objets informatiques, le problème de l'ingénierie didactique », dans Cornu B. (dir.), *L'ordinateur pour enseigner les mathématiques*, p. 183-203, PUF, Paris, 1992.
- [DOR 98] DORE S., BASQUE J., « Le concept d'environnement d'apprentissage informatisé ». *Journal of Distance Education/Revue de l'Enseignement à Distance*, vol. 13, n° 1, p. 1-20, 1998.
- [DUV 95] DUVAL R., *Sémiosis et pensée humaine. Registres sémiotiques et apprentissages intellectuels*, Peter Lang, Berne, 1995.
- [ENG 99] ENGSTRÖM Y. (DIR.), *Perspectives on Activity Theory*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- [GUI 00] GUIN D., DELGOULET J., SALLES J., « Formation aux TICE : concevoir un dispositif d'enseignement autour d'un fichier rétroprojetable », dans *Actes du colloque international EM2000, L'enseignement des mathématiques dans les pays francophones*, cédérom, IREM, Université Grenoble I, 2000.
- [GUI 02] GUIN D., TROUCHE L. (DIR.), *Calculatrices symboliques. Transformer un outil en un instrument du travail mathématique : un problème didactique*, La Pensée Sauvage, Grenoble, 2002.
- [GUI 03] GUIN D., JOAB M., TROUCHE L. (DIR.), *SFoDEM (Suivi de Formation à Distance pour les Enseignants de Mathématiques), bilan de la phase expérimentale*, CD-ROM, IREM, Université Montpellier II, 2003.
- [GUI 05] GUIN D., TROUCHE L., « Distance Training, a Key Mode to Support Teachers in the Integration of ICT ? Towards collaborative conception of living pedagogical resources », dans *Fourth Conference of the European Society for Research in Mathematics Education*, 2005.
- [GUI 07] GUIN D., JOAB M., TROUCHE L. (DIR.), *Conception collaborative de ressources pour l'enseignement des mathématiques, l'expérience du SFoDEM (2000-2006)*, CD-ROM, INRP et IREM, Université Montpellier II, 2007.
- [IRE 05] IREM Paris 7, Expérimentation de ressources en ligne, [en ligne] : <http://pcbdiirem.math.jussieu.fr/SITEscore/rapportsommaire.php> (consulté en octobre 2006).
- [JOA 03] JOAB M., GUIN D., TROUCHE L., « Conception et réalisation de ressources pédagogiques vivantes, des ressources intégrant les TICE en mathématiques », dans Desmoulin C., Marquet P., Bouhineau D. (dir.), *Actes de la conférence EIAH 2003*, p. 259-270, 2003, ATIEF/INRP, Paris, disponible sur le Web : <http://archiveseiah.univ-lemans.fr/consulter.php>
- [LAB 99] LABORDE C., « Vers un usage banalisé de Cabri-Géomètre avec la TI-92 en classe de Seconde : analyse des facteurs de l'intégration », dans Guin D. (dir.), *Actes du colloque francophone européen Calculatrices symboliques et géométriques dans l'enseignement des mathématiques*, p. 79-113, IREM, Université Montpellier II, 1999.

- [LAB 06] LABORDE C., LABORDE J.-M., « Genèse et développement de Cabri-géomètre, environnement de géométrie dynamique », dans Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 345-374, Hermès, Paris, 2006.
- [LEG 93] LEGRAND M., « Débat scientifique en cours de mathématiques et spécificité de l'analyse », *Repères-IREM*, vol. 10, p. 123-159, 1993.
- [LOM] Learning Object Metadata : <http://ltsc.ieee.org/wg12/> (consulté en octobre 2006).
- [LUE 06] LUENGO V., VADCARD L., BALACHEFF N., « Les EIAH à la lumière de la didactique », dans Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 47-66, Hermès, Paris, 2006.
- [RAB 95] RABARDEL P., *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*, Armand Colin, Paris, 1995.
- [RAB 05] RABARDEL P., PASTRE P. (DIR.), *Modèles du sujet pour la conception. Dialectiques activités développement*, Octarès, Toulouse, 2005.
- [SOK 06] SOKHNA M., « Formation d'enseignants à la scénarisation d'activités à partir de ressources pédagogiques », dans Pernin J.-P., Godinet H. (dir.), *Scénariser l'enseignement et l'apprentissage, une nouvelle compétence pour le praticien*, p. 127-130, INRP, Lyon, 2006, [en ligne] : www.inrp.fr/publications/edition-electronique/documents-travaux-recherche-education/BR056.pdf (consulté en février 2007).
- [TCH 04] TCHOUNIKINE P. *et al.*, Platon-1 : quelques dimensions pour l'analyse des travaux de recherche en conception d'EIAH, Rapport de l'Action Spécifique Fondements théoriques et méthodologiques de la conception des EIAH, département STIC du CNRS [en ligne] : <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00002999/en/> (consulté en octobre 2006).
- [TRO 06] TROUCHE L., GUIN D., « Des scénarios par et pour les usages », dans Pernin J.-P., Godinet H. (dir.), *Scénariser l'enseignement et l'apprentissage, une nouvelle compétence pour le praticien*, p. 79-84, INRP, Paris, 2006, [en ligne] : www.inrp.fr/publications/edition-electronique/documents-travaux-recherche-education/BR056.pdf (consulté en février 2007).
- [VER 96] VERGNAUD G., « Au fond de l'apprentissage, la conceptualisation », dans Noirfalise R., Perrin M.-J. (dir.), *Ecole d'été de didactique des mathématiques*, p. 174-185, Université Clermont-Ferrand II, 1996.
- [VIV 91] VIVET M., « Usage des tuteurs intelligents : prise en compte du contexte, rôle du maître », dans Baron M., Gras R., Nicaud J.-F. (dir.), *Actes des deuxièmes journées ELAO*, p. 239-246, ENS de Cachan, 1991.
- [VYG 34] VYGOTSKI L.S., *Pensée et langage*, deuxième édition, Editions sociales, Paris, 1985
- [WEN 98] WENGER E., *Communities of practice : Learning, meaning, and identity*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.

Chapitre 8

Pratique de design pédagogique et instrumentation du concepteur

8.1. Contexte et problématique générale de la recherche

Nous rendons compte ici d'une première partie de nos travaux menés dans le cadre du réseau de recherche pan-canadien LORNET (*Learning Objects Repository Network*), qui vise la construction de connaissances dans les domaines de l'informatique et des sciences cognitives pour faciliter la conception et le développement d'architectures, d'outils et de méthodes afin d'améliorer l'utilisabilité, l'efficacité et l'utilité d'un réseau de répertoires d'objets d'apprentissage destiné à l'éducation et à la gestion des connaissances [LOR]. Notre équipe travaille à l'élaboration de propositions pour le renouvellement des pratiques de conception de cours en ligne et pour une bonne exploitation des potentialités offertes par les outils technologiques de conception pédagogique développés par les autres équipes du réseau LORNET. Nous étudions l'impact de ces outils sur l'innovation et les transformations que suscitent la création, la réutilisation ou l'adaptation d'objets d'apprentissage dans les pratiques de conception pédagogique.

8.1.1. Conception de cours et design pédagogique avec objets d'apprentissage

La recherche que nous avons entreprise s'inscrit dans la problématique actuelle posée par les nouveaux besoins sociaux en matière d'efficacité et de qualité dans

l'utilisation des TICE et dans les efforts de standardisation pour favoriser la réutilisation pédagogique et l'interopérabilité technologique d'objets d'apprentissage. Elle contribue aux travaux voulant promouvoir des pratiques pédagogiques innovantes fondées sur le design pédagogique avec objets d'apprentissage³³ pour la conception de cours en ligne ou d'*environnements d'apprentissage informatisés*. Dans notre recherche, nous adoptons la définition de Doré et Basque [DOR 98] pour qui le concept d'environnement d'apprentissage informatisé englobe, tout à la fois, l'idée de la présence de ressources informatiques pour soutenir la démarche des apprenants, l'idée d'une vision cognitiviste et constructiviste de l'apprentissage et l'idée d'un lieu réel ou virtuel qui loge des « systèmes » en interaction (voir aussi chapitre 7, paragraphe 7.2.2).

Selon les auteurs, le *design pédagogique* est envisagé comme un processus, une discipline, une science ou une réalité [MOR 04]. Sa démarche, adaptée à la création et à la réutilisation d'objets d'apprentissage [WIL 00], veut assurer la systématisme et la scientificité de la conception pédagogique. Pour Paquette [PAQ 02], le design pédagogique occupe une position charnière entre les théories d'apprentissage et la pratique pédagogique. Il recouvre l'ensemble des théories et des modèles permettant de comprendre, d'améliorer et d'appliquer des méthodes d'enseignement favorisant l'apprentissage. Pratiquement, le design pédagogique produit un ensemble de plans et de devis³⁴ décrivant les activités d'apprentissage et d'enseignement sous forme de prescriptions concrètes. Il précise les spécifications des activités d'apprentissage et d'enseignement et permet d'opérationnaliser divers concepts d'une stratégie pédagogique. Il procède généralement en cinq grandes étapes typiques désignées par l'acronyme ADDIE qui signifie analyse, design, développement, implantation et évaluation. Une partie importante des décisions et des prescriptions du design peut être exprimée sous forme de *scénario pédagogique* définissant un ensemble structuré et organisé d'activités réalisées par plusieurs acteurs à l'aide de différents types de *ressources*³⁵ dans l'objectif de permettre à l'apprenant d'apprendre par la réalisation d'activités et d'expériences cognitives. L'enseignant appelé, à concevoir des environnements d'apprentissage informatisés par un design pédagogique avec objets d'apprentissage, se voit incontestablement confronté à une entreprise complexe qui, selon Paquette (*ibidem*) ne peut être seulement abordée comme une activité artisanale, mais également comme un cas particulier de génie logiciel appliquant une méthode systématique de développement. La nécessité de recourir à une méthode de design impose une transformation profonde de l'activité de

33. La notion d'objet d'apprentissage inclut, pour nous, toute ressource référencée par des métadonnées, utilisée dans un contexte d'apprentissage ou de conception pédagogique et pouvant être réutilisée [COU 03].

34. Le devis pédagogique précise les spécifications des activités d'apprentissage et d'enseignement, il permet d'opérationnaliser divers concepts d'une stratégie pédagogique.

35. Par ressource, nous entendons tout document, outil, service ou personne que l'apprenant consulte, utilise pour réaliser les activités d'apprentissage.

conception qui ne va pas sans le développement de nouvelles compétences professionnelles [KLE 04] et de nouveaux savoir-faire pour exploiter les nouveaux outils technologiques de conception.

Dans cette quête pour une activité de conception pédagogique renouvelée, notre intérêt se tourne vers deux réalités qui correspondent à deux niveaux de conception : celle des enseignants qui, dans l'exercice de leurs fonctions, sont appelés à jouer le rôle de concepteur de cours en ligne ou d'environnements d'apprentissage informatisés, et celle des concepteurs technologiques travaillant à la conception d'outils destinés à instrumenter l'activité de conception des enseignants.

Du côté des enseignants, nous tentons d'observer l'écart entre leur activité de conception et la démarche proposée par le design pédagogique. Nous nous interrogeons sur l'acceptabilité et sur les conditions d'appropriation de cette démarche qui semble être une solution que les systèmes éducatifs sont prêts à soutenir pour que la conception pédagogique génère des résultats compatibles avec les *standards* en émergence, par exemple la spécification IMS LD, ceci afin de bénéficier des avantages économiques et pédagogiques liés à la réutilisation et à l'interopérabilité des objets d'apprentissage.

Du côté des concepteurs technologiques qui utilisent le design pédagogique comme référence pour fonder la conception d'outils destinés aux enseignants concepteurs, nous nous intéressons au logiciel MOT+LD [PAQ 05], un éditeur de scénarios pédagogiques qui vise à instrumenter la conception et la réutilisation de scénarios conformes à la spécification IMS LD [KOP 04] (voir aussi chapitre 6, paragraphe 6.2.2). Cet outil devrait permettre aux enseignants concepteurs d'alimenter le patrimoine pédagogique et d'y puiser des scénarios validés et éprouvés qui pourront être modifiés ou adaptés en fonction de leur contexte et de leurs intentions de conception. Nous tentons d'étudier l'écart qui peut exister entre la démarche proposée par l'outil MOT+LD et le design pédagogique. Nous nous interrogeons sur l'acceptabilité de cet outil qui donne aux scénarios le statut *d'objets d'apprentissage*³⁶ et qui tente de concilier le design pédagogique et la représentation d'un scénario sous forme graphique compatible avec la spécification IMS LD.

8.1.2. Conception d'un outil d'édition de scénarios pédagogiques

Nous avons choisi de traiter, dans un même article, deux problématiques qui semblent pour certains chercheurs et développeurs encore relativement disjointes : celle de l'enseignant dont on souhaite qu'il s'approprie le design pédagogique avec

36. Les scénarios pédagogiques font partie des objets d'apprentissage et correspondent à la notion d'unité d'apprentissage réutilisable de Koper et Olivier [KOP 04].

objets d'apprentissage, et celle du concepteur d'un outil qui structure l'activité de description de scénarios pédagogiques. Ces problématiques concernent deux groupes d'acteurs : enseignants utilisateurs de méthodes et de logiciels de conception pédagogique, et concepteurs développeurs de ces logiciels. Ces deux groupes sont concernés par la conception d'un outil s'appuyant sur le design pédagogique, mais ils ont sur ce sujet des points de vue qui leur sont propres et qui s'inspirent de logiques différentes.

Comme le souligne Rabardel [RAB 95], la logique de l'utilisateur est inscrite dans son activité, enracinée dans la complexité, la diversité et les singularités de sa vie sociale et professionnelle. C'est à travers les situations de travail que s'élabore sa pratique. Installé dans une situation qu'il connaît et qu'il maîtrise, l'utilisateur n'est pas toujours ouvert aux transformations que provoque l'usage d'un outil nouveau. Le concepteur technologique, pour sa part, inscrit sa logique dans le désir de relever un défi, de repousser les limites des outils et des systèmes qui existent déjà. Pour lui, l'appréhension du problème à résoudre se construit en référence à l'outil, dans les termes propres à l'outil. L'utilisateur et son point de vue occupent dans ce cas une position marginale pour laquelle l'activité n'a pas de statut propre [RAB 95].

L'un des reproches adressés par Bannon [BAN 91] à la logique du concepteur technologique est cette manière d'envisager le développement de l'outil informatique en termes de facteurs humains (*human factors*), considérant l'utilisateur comme un simple destinataire universel, plutôt que de penser le développement en termes d'acteurs humains (*human actors*) autonomes et créateurs des usages de l'outil. Pour Bourguin et Derycke [BOU 05], citant [BOW 97], cette approche induit des ruptures : rupture dans les processus de conception de l'outil et d'appropriation collective et rupture, ou difficulté de jeter des ponts, entre les disciplines scientifiques mobilisées, notamment entre l'informatique et les sciences sociales. Le travail que nous avons entrepris dans le cadre de LORNET tente justement de *créer un pont* entre enseignants utilisateurs et concepteurs technologiques de l'éditeur MOT+LD. A travers l'étude des pratiques de conception des enseignants et de la structure de l'activité proposée par ce logiciel, le design pédagogique apparaît comme une référence commune qui peut servir de zone de partage et de passerelle.

L'objectif de notre travail est double. D'une part, nous voulons faire remonter vers les concepteurs technologiques les données recueillies sur les pratiques de conception pédagogique pour alimenter la conception de l'éditeur MOT+LD et, d'autre part, nous tentons de dégager des pistes d'adaptation du design pédagogique pour le rendre utilisable et acceptable par les enseignants concepteurs et, ce faisant, favoriser l'appropriation de l'éditeur MOT+LD. Nous postulons que, si les

concepteurs pédagogiques et les concepteurs technologiques partagent une même conceptualisation du design pédagogique, la conception de l'outil et son appropriation ne seront plus disjointes et en seront facilitées.

Dans les parties qui suivent, nous présentons d'abord une étude qui permet de catégoriser de manière systématique les pratiques authentiques de conception pédagogique de cinq enseignants concepteurs et d'orienter les travaux pour rendre le design pédagogique plus acceptable pour eux. Les pratiques observées sont dites « authentiques » dans la mesure où elles ne sont pas expérimentales ou menées en marge de l'activité habituelle. Elles font partie des activités usuelles des sujets et elles s'inscrivent dans la durée d'une activité professionnelle consciente, marquée par une volonté constante d'amélioration. Nous rendons également compte des premiers résultats de tests du logiciel MOT+LD pour vérifier la concordance de la démarche proposée par l'outil avec celle du design pédagogique. Dans la discussion, nous débattons du double écart entre la pratique de conception et le design pédagogique d'une part, et entre le design pédagogique et l'éditeur MOT+LD d'autre part. Nous concluons sur la nécessité de réduire ces écarts qui soulèvent des enjeux culturels et sociaux et qui interpellent les valeurs et l'identité professionnelle des enseignants.

8.2. Etude de pratiques authentiques de conception pédagogique

Nous rapportons ici l'étude menée par Henri, Gagné et Maina [HEN 05a, HEN 05b] qui décrit l'activité du concepteur de cours en ligne dans sa globalité : les étapes, les artefacts, les ressources humaines, matérielles et logicielles, les connaissances requises, les difficultés éprouvées, les besoins et le contexte. Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet « Développement d'une base de connaissances sur le téléapprentissage », avec le soutien financier du programme de valorisation de la recherche DIVA [DIV]. Les résultats de cette étude permettent de prendre la mesure de l'écart observé entre la pratique de conception pédagogique et la démarche proposée par le design pédagogique.

L'étude est fondée sur l'analyse en profondeur des pratiques authentiques de cinq sujets, recrutés en fonction de trois critères principaux : ils doivent représenter les milieux québécois où l'on conçoit et dispense des cours en ligne, avoir différents degrés d'expérience dans la conception de cours en ligne et posséder des compétences en design pédagogique³⁷. Cette recherche retenait un échantillon qualitatif, non

37. Dans cette étude, les auteurs utilisent le vocable « conception/médiatisation » pour désigner l'activité du concepteur, et non pas celui de design pédagogique, afin de respecter le

probabiliste, par cas multiples, qui permet une étude exhaustive ou en profondeur d'un groupe restreint [PIR 97], les sujets ont été choisis en fonction du principe de la diversification, plutôt que de la représentativité statistique. Les sujets retenus conçoivent et médiatisent des cours en ligne dans le cadre de leur pratique. Ils sont enseignants, dans quatre cas, ou formateur, dans un cas. Ils œuvrent au sein d'un des trois ordres d'enseignement – secondaire, postsecondaire et universitaire – ou en entreprise. Ils sont débutants, intermédiaires ou experts dans la conception de cours en ligne.

Dans cette étude, sept méthodes et techniques sont utilisées : pour recueillir les données, on retient le groupe de discussion, l'entretien en profondeur et l'analyse des productions ; pour analyser les données, on a recours à l'analyse de contenu et à l'analyse de besoins ; pour interpréter et produire des résultats, on procède à une modélisation des connaissances ; pour représenter le concepteur et orienter le travail des chercheurs, le pilotage est mis en œuvre. L'étude permet de générer au moins trois types de résultats premiers : pour chaque sujet, un modèle de contexte spécifique, un modèle d'activité et un relevé de besoins. A partir de ces résultats, sont extraits deux modèles génériques de contexte et d'activité qui fournissent une vue de la situation, valable au-delà des différences entre les cas, et qui tracent le portrait de la structure des entités propres à l'activité de conception pédagogique.

Le modèle générique d'activité de design pédagogique est discuté en le comparant à MISA (méthode d'ingénierie de systèmes d'apprentissage), une méthode de design pédagogique éprouvée qui respecte le modèle classique ADDIE. La comparaison permet de caractériser le modèle en identifiant les actions prises en charge par les sujets, celles qui sont omises et l'ordre dans lequel les actions sont réalisées. Elle permet également de dégager un modèle générique de l'activité.

8.2.1. *MISA*

La méthode MISA, représentée au tableau 8.1, aborde la conception à travers quatre axes (axes de connaissances, pédagogique, médiatique et de diffusion) développés en six phases : définition du projet, solution préliminaire, conception de l'architecture du système d'apprentissage, planification de la conception des matériels pédagogiques, planification de la production des matériels (médiatisation) et planification de l'implantation du système d'apprentissage. Elle utilise un formalisme de modélisation par objet typé et l'outil logiciel MOT+ pour représenter graphiquement par quatre modèles les résultats obtenus : modèles de connaissances, pédagogique, médiatique et de diffusion.

vocabulaire des sujets pour qui parler de conception, c'est aussi parler de médiatisation, les deux processus étant confondus dans la pratique.

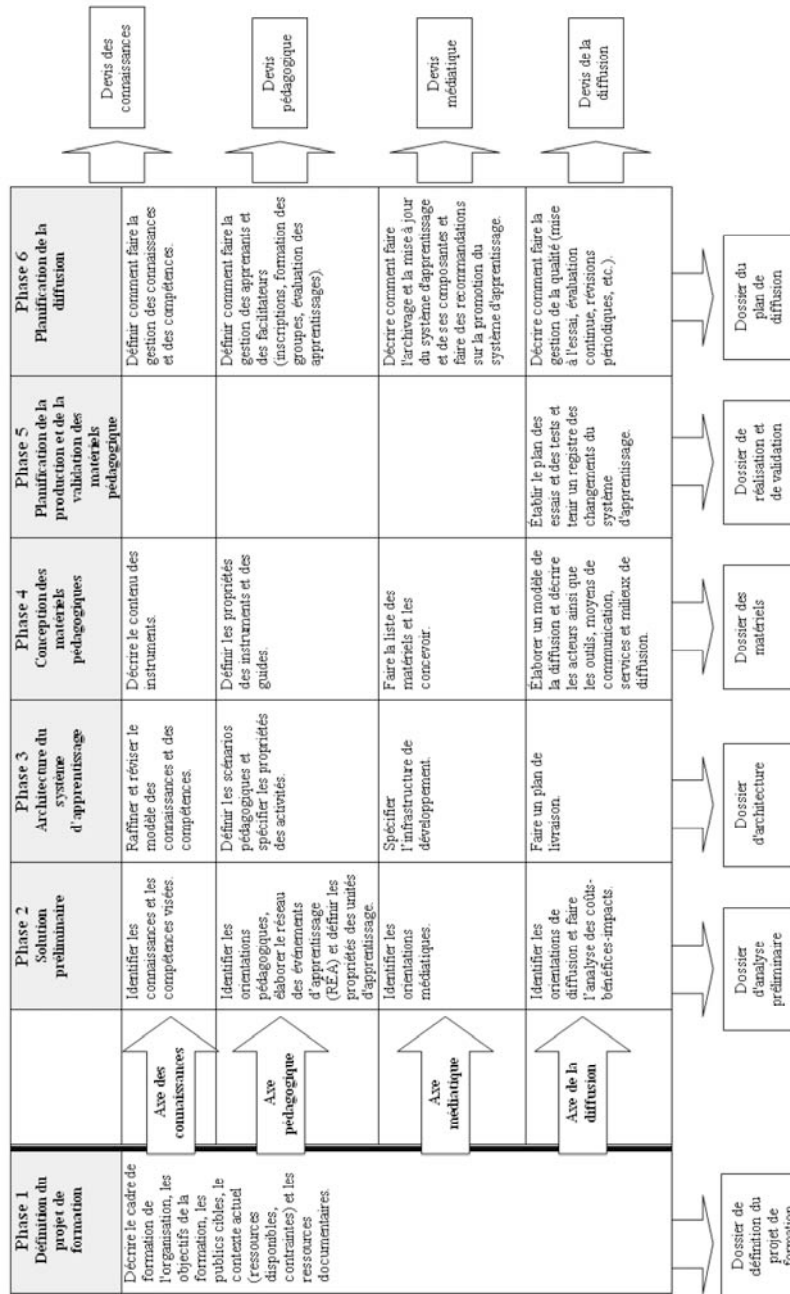


Tableau 8.1. Phases et axes de la Méthode d'ingénierie d'un système d'apprentissage (MISA), d'après [PAQ 02]

MISA définit ses limites en s'identifiant à un processus de planification exhaustive excluant la mise en œuvre effective de trois autres processus *externes* qui s'alimentent mutuellement : production des matériels pédagogiques, gestion de projet et gestion de la diffusion (voir figure 8.1). Comme l'activité de design des sujets est toujours au moins associée, sinon imbriquée, dans les processus externes au design proprement dit, nous avons inclus ces processus dans l'analyse lorsque les cours décrits dans l'étude ont été diffusés et que ces diffusions ont constitué des mises à l'essai ou des évaluations visant l'amélioration des cours.

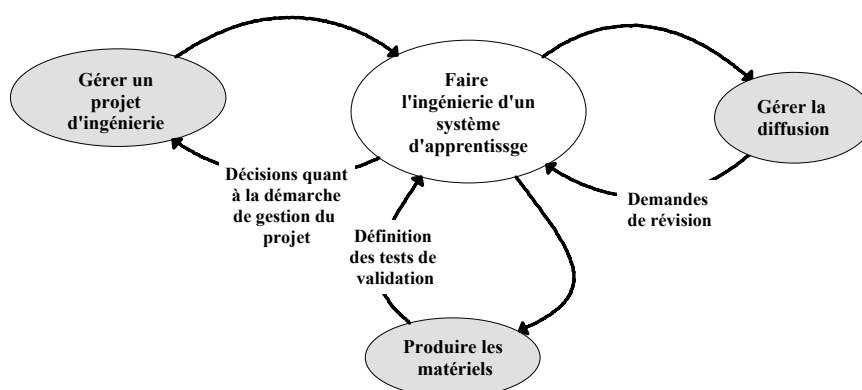


Figure 8.1. Les processus externes à MISA, d'après [PAQ 02]

8.2.2. Modèle de contexte générique de l'activité de design pédagogique

Le contexte est décrit selon une typologie de facteurs de production adaptée de Deschênes [DES 88] qui permet de dégager un modèle de contexte générique tout en conservant certains éléments irréductibles et uniques relatifs à des cas particuliers. Les points saillants du modèle sont déclinés dans ce qui suit.

L'activité de design, telle que nous l'avons observée, est toujours inscrite dans un projet ponctuel de durée variable, rattaché à des fonctions usuelles d'enseignement ou exécuté sur une base contractuelle. Le but du projet est, le plus souvent, de faire la réingénierie d'un cours existant. Le public cible du cours est composé d'un public principal assez homogène et d'un public secondaire dont les intérêts peuvent être différents.

Le concepteur ajoute à son activité de design des fonctions de gestion et de coordination de ressources. Trois types d'intervenants sont impliqués dans son projet : le mandataire du projet (directeur, gestionnaire), les collègues ou coéquipiers

(enseignants et professionnels de la pédagogie et des métiers de l'informatique) et les apprenants (utilisateurs finaux). Bien que le concepteur soit responsable du projet, il n'a pas d'autorité hiérarchique sur ces personnes. Le mandataire peut intervenir sur le processus de conception, sur les contraintes de la tâche et sur le contenu du projet. Sur ce dernier point, il ne le fait que lorsque le concepteur, affecté sur une base contractuelle, n'est pas un enseignant membre du personnel régulier. Les coéquipiers s'impliquent dans quatre aspects du cours : le contenu, les choix pédagogiques, la médiatisation et la diffusion. Les apprenants, pour leur part, interviennent soit dans des mises à l'essai, soit dans le processus de rétroaction au moment de la diffusion du cours en ligne.

Pour mener son activité, le concepteur recourt à diverses sources d'informations : ce sont les personnes déjà identifiées dans la catégorie précédente, mais collaborant au processus cette fois-ci strictement à titre de pourvoyeuses d'informations sur le contenu, le design pédagogique ou le fonctionnement de logiciels. En outre, une variété de documents sert aussi au concepteur de sources d'information : divers types d'ouvrages, des devis de conception et de production, des exemples d'activités pédagogiques, de la documentation existante du cours et des travaux d'étudiants.

Le modèle du contexte montre des variations sur plusieurs aspects : les limites de la durée du projet (indéterminée ou fixée par contrat), le régime de travail (le projet occupe toute la charge de travail ou est concurrent à d'autres tâches), les ressources matérielles et logicielles (différents types d'environnements et d'outils technologiques) et l'autonomie des sujets dans l'utilisation des outils technologiques nécessaires au projet.

En somme, trois facteurs principaux caractérisent le contexte de la pratique du design pédagogique : un projet à caractère ponctuel et à géométrie variable réalisé en vue de l'instauration d'une pratique de conception de cours en ligne dans une structure institutionnelle stable, l'intervention de plusieurs personnes – représentant plusieurs métiers – sur lesquelles le concepteur n'a pas d'autorité, et le recours à de nombreuses sources d'information.

8.2.3. *Modèle d'activité générique de design pédagogique*

Le modèle d'activité générique représente la procédure de design pédagogique mise en œuvre pour la conception d'un nouveau cours ou la réingénierie d'un cours existant. La réingénierie est traitée ici comme un cas de conception, puisqu'il s'agit effectivement d'un exercice de *re-conception* qui doit procéder avec méthode, afin de revoir de manière systématique les décisions prises à chaque étape de la conception originale du cours, pour les réévaluer à la lumière de la nouvelle

situation. La réingénierie consiste donc à remettre le cours à plat, à le repenser en fonction d'un nouveau mode d'appropriation des connaissances et des exigences que cela pose sur l'apprenant, à le restructurer, tout en tenant compte des caractéristiques médiatiques et technologiques de l'environnement, et à le réorganiser selon des supports de diffusion.

Pour constituer chacun des modèles d'activité, l'observation directe des sujets est, sans contredit, la technique la plus appropriée. Mais ce choix pose des difficultés lorsque l'activité s'étend sur de longues périodes et qu'elle peut se dérouler hors du lieu de travail. L'entrevue en profondeur est retenue comme technique substitutive et source principale de collecte de données. Les modèles d'activité spécifiques sont ainsi élaborés à partir de l'analyse des verbatim et validés par chaque sujet. Par la suite, ils sont comparés à MISA (voir paragraphe 8.2.1).

Les points saillants du modèle d'activité se rapportent à la concordance entre l'activité de design et MISA, à la place dominante qu'occupe la conception du contenu de connaissances, à la nécessité du travail en équipe et à la compétence en gestion de projet, ainsi qu'au *besoin de soutien* pour réaliser le design pédagogique et les productions informatiques. L'ensemble indique l'émergence d'un nouveau modèle de design pédagogique.

8.2.3.1. *Correspondance de l'activité aux phases du design pédagogique*

Chaque enseignant possède sa propre expérience de conception et de développement de cours en ligne. Bien qu'il n'utilise pas de méthode formelle, il couvre une partie des tâches prévues par MISA, sans toutefois s'y prendre de manière systématique. Le passage d'une phase à l'autre ne s'accomplit pas de manière linéaire. Plus particulièrement, les tâches reliées aux phases 3 à 6 sont entremêlées et réalisées simultanément. Nous les décrivons de manière séparée, en fonction des étapes de MISA, pour bien identifier les tâches accomplies et faciliter la compréhension.

Phase 1 (définition du projet de formation) : le concepteur ne procède pas à une définition systématique et formelle du projet de cours, contrairement à ce que propose MISA, probablement parce qu'il ne ressent pas le besoin de formuler les nombreux éléments qu'il estime déjà connaître. Par exemple, il ne se penche pas sur les caractéristiques des apprenants, négligeant d'évaluer leurs compétences en ce qui concerne l'utilisation des technologies. Toutefois, en cours de route, il réalise que les apprenants n'ont pas les compétences technologiques requises pour réaliser efficacement les activités d'apprentissage prévues. Les données de base sur lesquelles s'appuieront par la suite les décisions de conception ne sont pas explicitées. Le concepteur délaisse aussi la formulation d'objectifs au profit de deux

propositions principales qui fondent la suite du design : l'une relative aux médias et à la diffusion, l'autre portant sur le contenu de connaissances. Il dresse également un inventaire des sources d'information disponibles et s'en servira plus tard comme référence pour l'élaboration du contenu et pour identifier le matériel qui pourra être utilisé par l'apprenant.

Phase 2 (élaboration de la solution préliminaire) : le concepteur s'emploie à réviser ou à adapter le contenu du cours existant en élaborant souvent une structure arborescente (table des matières) ou, dans un cas, une carte conceptuelle. Il propose une structure modulaire calquée sur le contenu plutôt que de se référer, selon MISA, aux orientations pédagogiques pour définir la structure du système d'apprentissage. Le concepteur s'intéresse d'abord à la structure de contenu et, par la suite, y associe des activités d'apprentissage. Bien qu'il formule une proposition pédagogique, elle n'est ni envisagée comme un objet de design distinct, ni détaillée de manière systématique. Quant à l'axe médiatique évoqué en début de projet, il semble ne plus faire partie des préoccupations durant cette phase.

Phase 3 (architecture du système d'apprentissage) : le concepteur entreprend une conception plus détaillée. Pour cela, il attribue les éléments de contenu à chacune des activités d'apprentissage en les reliant à une ressource (chapitre, article, ouvrage, simulation, illustration, etc.) et en utilisant ses outils de conception. Toutefois, le scénario d'apprentissage et les propriétés de chaque activité d'apprentissage ne sont pas définis, de même que les tâches se rapportant au développement de l'infrastructure et à la planification de la diffusion. A cette phase, l'axe des connaissances est toujours dominant.

Phase 4 (conception des matériels) : alors que le concepteur n'a pas encore achevé son design, c'est-à-dire la planification de son cours, il entreprend simultanément des actions reliées aux processus externes de MISA, à savoir la réalisation et la production. Il réalise directement, dans la plate-forme ou le système technologique utilisé, les tâches de définition du contenu, d'identification des propriétés des matériels pédagogiques, d'inventaire de ces matériels, d'élaboration du modèle de ces matériels, d'identification des éléments médiatiques et de recension des sources. Ces tâches sont fusionnées et leur réalisation est guidée par les fonctionnalités de la plate-forme.

Phase 5 (planification de la production et validation des matériels pédagogiques) : sauf dans deux cas, le concepteur n'intègre généralement pas d'outils de validation dans le design de son cours, ce qui l'empêchera, au moment de la diffusion et sur une base continue, de recueillir des données relatives aux apprenants qui pourraient lui permettre d'améliorer son cours. Après coup, pour pallier cette omission, il

choisit de superviser lui-même la diffusion du cours pour obtenir du feedback des apprenants. Pour des fins de validation, le concepteur soumet les matériels pédagogiques à des experts de contenu avant la diffusion. Pour cette phase, MISA prévoit plutôt la réalisation d'une maquette ou d'un prototype d'une partie du système d'apprentissage afin de valider le design.

Phase 6 (planification de la diffusion) : le concepteur procède, à sa manière, à l'archivage et à la gestion de ses documents numériques. Contrairement à ce qui est requis par MISA, il ne précise pas les responsabilités en rapport avec la gestion des acteurs et des groupes au moment de la diffusion.

Dans sa démarche de conception, le concepteur entreprend des actions reliées à la mise en œuvre des processus externes au design. Pour lui, l'activité de conception s'imbrique dans la réalisation et n'est pas synonyme de planification.

8.2.3.2. *La facture médiatique d'abord, mais le contenu avant tout*

Comme nous venons de le mentionner, l'activité de design démarre le plus souvent par la formulation d'une solution médiatique et de diffusion plutôt que par la définition du problème. Ayant en tête une idée du contenu du cours, le concepteur décrit la facture médiatique de l'environnement d'apprentissage informatisé qu'il envisage. Il voit, à travers ce prisme, une certaine organisation des éléments de contenu et une orientation pédagogique. Elaborée spontanément, cette proposition donne au projet une forme de réalité et une certaine sécurité quant à sa trajectoire.

Dans un deuxième temps, le concepteur centre sa préoccupation sur le contenu de connaissances qui sera par la suite le fil conducteur de son activité. Seul, l'axe des connaissances se démarque comme ayant une finalité, indépendante des autres axes. Le *contenu* à transmettre semble être la raison première du cours et il mérite toute l'attention du concepteur.

A ce point-ci, l'activité du concepteur, confrontée aux quatre niveaux de l'échelle de progression des compétences en design de Gibbons [GIB 01], correspond aux deux niveaux inférieurs qui traduisent l'importance prédominante accordée aux médias et au contenu. Tout porte à penser que le concepteur serait prêt à évoluer vers les deux niveaux supérieurs observés par Gibbons. En effet, selon cet auteur, ces deux niveaux, axés sur les stratégies et sur les modèles, sont généralement atteints au fil de l'expérience, lorsque le concepteur comprend que les médias et le contenu doivent être pensés à l'intérieur d'un contexte et d'un cadre pédagogique dûment justifié, et lorsque l'on aborde le design de manière plus systématique, à l'aide de modèles pour éviter de « réinventer la roue ».

8.2.3.3. *Le travail en équipe, un incontournable*

Outre l'ampleur de la tâche, le design de cours en ligne convoque un éventail de compétences qui, souvent, font défaut au concepteur. Ce dernier doit faire appel à d'autres acteurs pour le conseiller ou prendre en charge les aspects reliés à la pédagogie en ligne, à la médiatisation et à l'utilisation des technologies. Son projet met alors à l'épreuve sa capacité de coordonner le travail de divers spécialistes qui génèrent différents types de production. Toutefois, lorsque le concepteur maîtrise déjà l'utilisation des technologies, il a moins besoin du soutien d'une équipe technique. Il est plus enclin à mener son projet sans compter sur la participation de spécialistes de la médiatisation et il se montre ouvert aux innovations technologiques.

8.2.3.4. *Le besoin de soutien pédagogique et informatique*

La réflexion sur l'orientation pédagogique du cours n'est pas perçue comme un exercice ayant un impact déterminant sur la conception du contenu du cours. Le concepteur n'établit pas clairement le lien entre contenu de connaissances et stratégie pédagogique. Quand il parle des documents qu'il a produits, il fait peu de distinction entre le contenu du cours, les activités d'apprentissage et les consignes pédagogiques. L'axe pédagogique du cours n'est pas défini de manière formelle et, à cet égard, le concepteur est conscient de ses limites. Il exprime sans équivoque le besoin de développer ses compétences en conception pédagogique et le désir de bénéficier d'un soutien spécialisé en matière de pédagogie. Il souhaite vivement élargir son répertoire de stratégies et d'exemples d'activités pédagogiques spécifiquement adaptés aux cours en ligne. Deux moyens sont évoqués pour répondre à ces besoins : le soutien d'un expert en design pédagogique et l'échange avec des pairs. Le concepteur exprime également un important besoin de soutien pour la production informatique et se plaint d'un manque aigu de ressources dans ce domaine.

8.2.3.5. *Modèle de conception issu de la pratique*

Le modèle d'activité qui se dégage de l'analyse interroge la manière traditionnelle normative d'articuler la séquence du design. Ainsi, l'activité de design telle qu'observée dans la pratique se distingue de celle prescrite par MISA, qui se fonde sur les orientations pédagogiques définies à la phase 2 dans l'axe pédagogique, plutôt que sur la structure du contenu, pour définir la structure du système d'apprentissage. A cet égard, MISA invite le concepteur à penser le système d'apprentissage en fonction de l'apprenant et des activités d'apprentissage, plutôt que de se centrer sur la transmission de contenu. La séparation en phases des tâches concernant les axes pédagogique, médiatique et de diffusion, ne correspond pas à la manière dont le concepteur aborde le design. Une fois la structure du contenu

élaborée, le concepteur procède au cas par cas pour concevoir et produire chacun des éléments qui seront intégrés dans l'environnement du cours au fur et à mesure. Les technologies accessibles aujourd'hui, comme les plates-formes de cours en ligne et les outils de production Web et multimédia, par leur structure même, lui permettent de mener simultanément les tâches de conception et de production, en fusionnant le processus de conception aux processus externes de production. L'utilisation de ces technologies ne postule pas que le concepteur fasse des distinctions entre ces processus.

Comme la fusion des processus ne permet pas d'établir une distinction entre les tâches reliées à chaque processus, elle entraîne l'amalgame des rôles (concepteur pédagogique, expert de contenu, spécialiste des médias, producteur informatique) autrefois formellement réservés à des personnes différentes. Ces rôles étant moins transparents, il en découle une *augmentation de la complexité* du travail, la nécessité de maîtriser un ensemble de compétences plus vaste et une démarche qui n'a pas la systématisme du design pédagogique et qui, en conséquence, ne favorise pas la cohérence et le contrôle de la qualité.

Dans plusieurs cas, le cours en ligne se construit progressivement (*work in progress*). Il se présente comme un ouvrage malléable, un *instrument* d'apprentissage autant pour le concepteur que pour l'apprenant, soumis à des modifications, des améliorations ou des ajouts de session en session. C'est une œuvre qui n'est jamais finie, qui s'élabore au fil de l'évolution de son contenu, des apprenants visés, des besoins et des compétences du concepteur.

Dans ce processus évolutif, le concepteur a le contrôle de la gestion des composantes de son cours (archivage personnel de ses productions). Il le met en ligne partie par partie, au rythme de la réalisation des différentes composantes. Suite à l'évaluation qu'en font les apprenants, et autant que ses compétences le lui permettent, le concepteur les transforme sans nécessairement recourir à un intermédiaire. Il reste ainsi maître de son cours et l'établissement joue un rôle somme toute mineur, en ne prenant en charge que la gestion des opérations techniques relatives à la diffusion proprement dite.

8.2.3.6. *Pour une approche de design mieux adaptée*

Compte tenu du décalage observé entre la pratique de conception et le design pédagogique, on aurait sans doute avantage à disposer de *méthodes plus souples, moins linéaires et plus adaptables* à différentes approches de conception. La progression linéaire et séquentielle suggérée par l'approche traditionnelle incite le concepteur à déterminer dès le départ les orientations pédagogiques qui serviront à justifier et à valider les décisions prises d'une phase à l'autre. Une nouvelle

approche pourrait tenter de respecter l'importance centrale accordée au contenu, tout en établissant un lien direct entre contenu et pédagogie, comme le fait MISA, en mettant en évidence le rapport entre l'axe des connaissances et l'axe pédagogique. En outre, elle pourrait aborder simultanément les tâches de conception et de réalisation médiatique et informatique. Afin de conserver l'intégrité du design, des mécanismes de soutien et de contrôle de la qualité devraient être présents pour assurer la cohérence entre les choix pédagogiques, médiatiques, technologiques et de diffusion. Les efforts déployés actuellement pour faciliter l'activité de conception de cours en ligne ne se penchent pas directement sur la transformation des méthodes de design, afin de mieux les adapter à la pratique. Ils proposent plutôt la réutilisation d'objets d'apprentissage, par exemple, de scénarios pédagogiques décrits avec un langage de modélisation pédagogique, sans méthode à l'appui. On peut se demander quels changements de pratique découleront de la réutilisation d'objets d'apprentissage et, conséquemment, quelles transformations il faudra apporter au design pédagogique. Des indications à ce sujet nous sont fournies par les premiers tests effectués sur un prototype du logiciel MOT+LD qui vise la conception et la réutilisation de scénarios pédagogiques.

8.3. Une approche de conception axée vers la réutilisation

La réutilisation n'est pas un fait nouveau pour le concepteur. Comme l'indique l'étude présentée plus haut, le concepteur réutilise une variété de sources d'information : devis de conception et de production, exemples d'activités pédagogiques, documentation de cours, etc. Il souhaite avoir accès à un plus grand nombre de ces objets pour élargir son répertoire de stratégies pédagogiques et d'exemples. La conception à l'aide d'objets d'apprentissage ne serait pas une approche fondamentalement contraire à la pratique du concepteur. Les sources d'information qu'il utilise seraient de bons candidats au statut d'objet d'apprentissage [LUN 05a, LUN 05b]. Dans cette perspective, la *réutilisation* de scénarios pédagogiques à titre d'objets d'apprentissage apparaît comme une perspective intéressante pour faciliter la conception de cours en ligne et pour pallier le déficit de compétences en design pédagogique évoqué par les enseignants concepteurs.

Selon MISA, le *scénario pédagogique* englobe les scénarios d'apprentissage et d'assistance. Il définit un ensemble structuré et organisé d'activités réalisées par plusieurs acteurs à l'aide de différentes ressources. Dans ce sens, il correspond à la définition de Pernin et Lejeune [PER 04] pour qui « le *scénario d'apprentissage* représente la description, effectuée *a priori* ou *a posteriori*, du déroulement d'une situation d'apprentissage visant l'appropriation d'un ensemble précis de connaissances, en précisant les rôles, les activités ainsi que les ressources de

manipulation de connaissances, outils et services nécessaires à la mise en œuvre des activités » (voir aussi chapitre 6).

Le scénario pédagogique peut être envisagé comme un objet réutilisable à condition de le décrire en se conformant à des spécifications reconnues et partagées par une communauté. La spécification IMS LD [LEJ 04, KOP 04], acceptée par l'IMS Global Learning Consortium, a été retenue en raison de sa capacité d'exprimer un large éventail de scénarios pédagogiques [OUN, IDL]. Elle assure l'*interopérabilité* de ces scénarios à l'aide de descripteurs organisés dans une structure XML qui peut être lue par n'importe quelle plate-forme qui lui est conforme. IMS LD guide la description d'unités d'apprentissage incluant les *métadonnées* pour des fins de repérage. Il permet l'expression d'un modèle d'unité d'apprentissage ou de scénario qui, par exemple, peut prendre la forme d'un cours. La métaphore utilisée est celle du théâtre, et implicitement celle de la scénarisation, avec ses concepts de pièce, acte, rôle et partition [LEJ 04]. Conçue essentiellement pour être lue par les machines, la description d'unités d'apprentissage IMS LD se détaille sur trois niveaux (A, B et C), et prend la forme d'une représentation graphique de nature informatique (UML4) accompagnée d'une narration. Tout en constituant une solution technologique, sans être toutefois une méthode de design pédagogique, IMS LD répond à des préoccupations pédagogiques en favorisant des démarches basées sur les activités et l'interaction. Comme ce formalisme n'a pas été conçu pour l'usage du concepteur mais pour assurer l'interopérabilité et la réutilisation, un autre type de formalisme intermédiaire, plus accessible, doit lui être proposé pour instrumenter son activité de conception de scénarios de type LD. L'éditeur de scénarios MOT+LD joue ce rôle.

MOT+LD veut permettre au concepteur de concevoir et de décrire des scénarios pédagogiques réutilisables conformes à la spécification IMS LD. Il utilise le formalisme de modélisation MOT et sa représentation graphique adaptés à IMS LD. Cet éditeur à l'état de prototype avancé est actuellement soumis à divers types de tests. Nous présentons ici les résultats de deux tests internes de transposition de scénarios existants qui ont conduit à l'amélioration de l'outil et à une meilleure compréhension de la relation à établir entre le design pédagogique et la conception de scénarios réutilisables.

8.3.1. Premier test de transposition d'un scénario pédagogique vers IMS LD

La *transposition* consiste à traduire et à exprimer un scénario de type MISA selon la spécification IMS LD, afin d'obtenir une unité d'apprentissage interopérable et accessible à partir d'une banque d'objets d'apprentissage. Ce premier test avait une double visée : tester les possibilités et les limites de l'éditeur

MOT+LD, dans le cadre d'une transposition, et faire émerger une technique de représentation qui assure la cohérence et la qualité pédagogique du scénario, sans lui faire perdre ses caractéristiques ou ses valeurs originelles. Deux raisons ont conduit à choisir la transposition, plutôt que la création d'un scénario original pour ce test. Premièrement, la transposition favorise la valorisation du patrimoine pédagogique, en mettant à la portée de tous les meilleurs scénarios existants. Deuxièmement, dans l'état actuel, nous estimons que les concepteurs de cours en ligne, même avec une certaine expérience, peuvent difficilement s'approprier la complexité de la spécification IMS LD pour concevoir des scénarios multi-acteurs. En attendant qu'une méthode de conception de scénarios pédagogiques conformes à la spécification IMS LD soit disponible pour les concepteurs, nous pensons qu'il est intéressant de leur donner accès à des scénarios qu'ils peuvent modifier et adapter à leur contexte.

Le premier test de l'éditeur de scénarios a été réalisé et documenté par deux chercheuses expertes en design pédagogique et ayant une bonne connaissance du niveau A de la spécification IMS LD [TEJ 05a]. Le scénario retenu [COU 04] exploite une simulation interactive en ligne mettant en scène une situation qui fait appel à l'expérience quotidienne et qui présente de nombreuses analogies avec les démarches de diagnostic et de résolution de problèmes scientifiques ou techniques, de même qu'avec une démarche de recherche en science. Ce scénario collaboratif, conçu à l'aide de MISA, se présente sous forme d'un modèle graphique réalisé avec MOT+. Ce choix devait permettre de réduire les problèmes de transposition pouvant provenir de la mauvaise qualité du scénario.

L'exercice de transposition a été mené en trois étapes itératives : *génération* ou *création*, *validation* et *révision*. Les problèmes rencontrés visent le fonctionnement de l'éditeur lui-même et la structure du modèle utilisée pour représenter le scénario. Nous en mentionnons quelques-uns. A la première étape, les chercheuses ont créé un premier modèle graphique du scénario qui s'est avéré incomplet pour deux raisons. Premièrement, le scénario retenu, conçu selon MISA, ne décrit que la structure pédagogique alors que la spécification IMS LD intègre dans un même modèle des aspects pédagogiques, médiatiques et de diffusion. Selon MISA, les aspects médiatiques et de diffusion sont traités séparément et représentés par des modèles différents. Deuxièmement, l'éditeur ne permettait pas initialement de représenter ces éléments médiatiques et de diffusion manquants. Ce problème a pu être résolu en enrichissant le code de représentation graphique proposé par l'éditeur. A l'étape de validation, conformément aux exigences d'IMS LD, les chercheuses ont pu compléter le modèle de scénario réalisé à la première étape. Les points de correspondance entre MISA et la spécification IMS LD ont alors pu être explicités. A partir des recommandations formulées lors de la validation, l'étape de révision

visait à faire les ajustements pour corriger les problèmes mineurs liés à la modélisation, au code de représentation graphique et au modèle résultant. Les développeurs de l'éditeur MOT+LD ont alors tenté de faire correspondre le plus possible la représentation IMS LD à la structure de MISA pour faciliter le travail du concepteur. Toutefois, cette correspondance est difficile à établir, car IMS LD exige des détails qui ne se trouvent pas dans le scénario pédagogique MISA, mais qui sont précisés lors de l'élaboration des modèles médiatiques et de diffusion. Ainsi, de nouveaux objets graphiques ont été ajoutés à l'éditeur MOT+LD pour mieux répondre aux exigences de la spécification IMS LD. Parmi ces ajouts, notons ceux d'objet d'apprentissage (*learning object*) et d'environnement (*environment*). Ce dernier contient tous les services et objets d'apprentissage dont un acteur a besoin pour exécuter une activité. Précisons que le concept d'environnement n'est pas explicite dans MISA, mais qu'il est sous-entendu lorsqu'on traite de la diffusion.

L'ensemble de l'exercice a fourni trois résultats : un scénario accessible pour consultation en version HTML, à l'intérieur duquel il est possible de naviguer pour en valider la cohérence avant la diffusion [TEJ 05b] ; une nouvelle version de l'éditeur ; des indications pour l'élaboration d'une technique et d'un guide de représentation d'un scénario LD à l'aide de MOT+LD. Cet exercice a aussi mis en évidence la difficulté éprouvée par les chercheuses à gérer leurs schèmes d'utilisation de MISA et la structure de l'activité de design inhérente à IMS LD. Cet aspect revêt une très grande importance parce qu'il pourra jouer dans l'appropriation par le concepteur des *fonctions constitutives* de l'outil décrites par Rabardel [RAB 95] (voir aussi chapitre 10, paragraphe 10.3.2.3). Il a inspiré et guidé le deuxième test que nous avons réalisé.

8.3.2. Deuxième test de transposition d'un scénario pédagogique vers IMS LD

Avec l'intention de toujours se rapprocher de la pratique de l'enseignant concepteur, un deuxième test de transposition a été réalisé par une enseignante universitaire, experte en design pédagogique de cours en ligne et maîtrisant MISA. Trois objectifs étaient visés : identifier les composantes de MISA qui permettent de décrire une unité d'apprentissage IMS LD ; obtenir des indications sur les adaptations à apporter à cette méthode pour produire des scénarios compatibles avec la spécification ; et vérifier l'écart qui peut exister entre la démarche proposée par l'outil et la pratique de conception d'une enseignante.

L'objet de la transposition était un scénario que l'enseignante avait elle-même conçu selon MISA. Comme il s'agissait d'un scénario de cours universitaire complètement en ligne représentant 135 heures de travail pour l'étudiant, une partie seulement du scénario a été soumise à l'expérience. L'enseignante, qui connaissait

déjà l'outil de modélisation MOT+, a assisté à une brève présentation de l'éditeur MOT+LD.

Le protocole prévoyait 4 séances de travail de 3 heures, étalées sur une semaine, pour transposer une partie du scénario. L'enseignante devait d'abord remplir un gabarit qui permet de décrire sous forme de narration l'information nécessaire pour bâtir une unité d'apprentissage de type IMS LD. Par la suite, elle devait représenter graphiquement la partie retenue de son scénario, sous forme d'une unité d'apprentissage IMS LD. Pour cette tâche, l'enseignante disposait de quatre types de documents : le guide de représentation d'un scénario LD à l'aide de MOT+LD, les documents d'introduction à IMS LD³⁸, le scénario pédagogique de son cours élaboré selon la méthode MISA et les documents de son cours en ligne.

La tâche prescrite a été réalisée au laboratoire-observatoire de recherche en ingénierie du téléapprentissage [LOT] du Centre de recherche LICEF de la Télé-université, qui offre un large éventail de fonctionnalités pour la collecte des données. Huit techniques de collecte de données ont été utilisées : enregistrement de la zone de travail (ordinateur et documents) ainsi que de l'écran de travail, enregistrement des propos de l'enseignante en cours de travail selon un protocole d'analyse verbale, enregistrement des productions du sujet, prise de notes par deux observateurs, débriefings à la fin de chaque séance de travail, et entrevue dirigée à la fin du test.

A la fin de la deuxième séance, les chercheurs ont décidé de mettre fin au test. L'enseignante éprouvait des difficultés à comprendre les consignes données dans le guide. Ses nombreuses questions étaient sur le point de transformer l'expérimentation en une formation dénaturant le but de l'exercice. Ainsi, après deux séances totalisant six heures de travail, les chercheurs ont estimé que la quantité et la qualité des données recueillies étaient suffisantes pour fournir des réponses aux questions posées et pour assurer la poursuite de la recherche. A partir des données de l'observation et des enregistrements, la démarche de l'enseignante a été reconstruite et comparée avec la tâche prescrite. La documentation produite a également été analysée pour identifier les éléments de MISA dont l'enseignante s'était servi pour créer l'unité d'apprentissage. Les analyses ont permis de faire les constats qui suivent.

L'analyse de l'activité réalisée par l'enseignante a mis en évidence des problèmes de manipulation de l'éditeur MOT+LD, de compréhension de la technique de représentation et de concordance terminologique. Sur ce dernier aspect, le vocabulaire de la spécification IMS LD ne correspond pas toujours à celui de

38. Le lecteur trouvera sur le site Banque canadienne LD le système de documents produits, suite à cette recherche, pour guider l'élaboration de scénarios [IDL].

MISA. Les significations différentes données aux mêmes termes ont rendu la transposition laborieuse, elles ont souvent porté à confusion et conduit à l'erreur. Plus particulièrement, les termes propres à la métaphore du théâtre manquaient de transparence pour l'enseignante.

L'analyse a aussi révélé que l'activité de l'enseignante n'était pas en tout point conforme à la tâche de représentation prescrite par le guide. La description du scénario transposé comportait plusieurs éléments d'une unité d'apprentissage, mais ils ne respectaient pas tous la spécification IMS LD, notamment sur le plan de la structure et dans l'association des composantes. Par ailleurs, certains autres éléments requis par la spécification étaient absents. Les éléments qui n'ont pas été inclus par l'enseignante ne sont pas explicités dans un scénario pédagogique de type MISA, comme celui qui faisait l'objet de la transposition. Ils sont plutôt compris dans les devis médiatique et de diffusion et dans le dossier d'analyse préliminaire du projet de formation.

Dans l'ensemble, la transposition s'est avérée complexe à réaliser, surtout parce qu'un scénario pédagogique de type MISA ne fournit pas toutes les informations pour aboutir à la représentation d'une unité d'apprentissage. Il faut réunir d'autres documents de conception, en particulier reliés à la diffusion, pour en extraire les éléments de description demandés par la spécification et les réorganiser dans une structure IMS LD.

En somme, le test a mis en évidence le fait que la représentation d'une unité d'apprentissage en IMS LD fusionne les axes pédagogique et de diffusion proposés par MISA. Toutefois, cela ne signifie pas pour autant, selon nous, que le design de ces deux axes devrait être fusionné. Tout en reconnaissant qu'ils sont liés, ils devraient demeurer distincts parce qu'ils permettent au concepteur de traiter deux types de problèmes différents qui appellent des prises de décision dans des perspectives différentes qui ne peuvent pas être confondues. Bref, le processus et la structure de MISA en axes et par phases apparaissent aptes à soutenir la transposition, voire la conception, d'une unité d'apprentissage à condition d'y intégrer les modifications qui amènent le concepteur à préciser les éléments nécessaires pour la description d'une unité d'apprentissage conforme à la spécification IMS LD.

8.4. Discussion

Les travaux que nous avons présentés visent à faire évoluer les méthodes de design pédagogique pour les rendre plus acceptables pour les enseignants et favoriser la réutilisation de scénarios pédagogiques comme objets d'apprentissage.

Une étude des pratiques authentiques de concepteurs de cours en ligne a montré l'écart entre l'activité de conception observée sur le terrain et le procédé proposé par la méthode MISA. Deux contradictions pourraient expliquer cet écart : premièrement, opposition entre, d'une part, les notions de *design* et de *projet* et, d'autre part, la représentation de la tâche et du rôle de l'enseignant ; deuxièmement, difficulté de concilier la structure même du procédé de design et les outils technologiques utilisés pour la conception.

Faire un design, c'est réaliser un produit ou un service à travers des activités de planification, de contrôle et de validation du processus de conception et de réalisation. Le produit du design comprend un ensemble de prescriptions pour l'obtention de résultats prévisibles à travers la conduite d'un projet qui met en avant des valeurs d'efficacité, d'efficience et de systématisme. Les notions de design et de projet s'inscrivent dans une démarche de conception qui relève d'une même culture. Dans le champ de l'éducation, le design pédagogique projette les mêmes valeurs à travers l'élaboration de scénarios et de démarches pour la mise en place de dispositifs, de programmes ou de cours plus efficaces permettant de comprendre et d'apprendre. Le résultat prend la forme de prescriptions concrètes qui conduisent à la production d'artefacts médiatiques auxquels plusieurs acteurs collaborent. Il en ressort un produit qui vise à permettre aux apprenants qui y accèdent d'apprendre. On peut alors se demander si le design pédagogique est porteur de représentations auxquelles l'enseignant adhère. Plutôt qu'une activité de production, la tâche de l'enseignant n'est-elle pas davantage conçue comme un acte de *constante adaptation* aux besoins des apprenants et à la complexité des situations humaines qu'ils peuvent vivre ? En tant que professionnel, l'enseignant n'est-il pas investi du devoir d'améliorer et de faire évoluer constamment les cours qu'il donne, les leçons qu'il enseigne et de ne jamais les considérer comme finis ? Le design pédagogique entrerait-il en *contradiction* avec les valeurs, l'identité professionnelle et les représentations de la profession d'enseignant ?

Dubar [DUB 91] traite de la construction de l'*identité* d'une profession à travers trois points : la cohérence des connaissances pratiques et théoriques sur lesquelles elle s'appuie, l'efficacité des modes de représentation et de régulation professionnels (unité et force de conviction de ses instances représentatives), et représentation cohérente de la notion de service (réflexion et pratique envers son public). Ces trois assises de l'identité professionnelle seraient-elles ébranlées par :

- l'incohérence entre la pratique de l'enseignant et le design pédagogique associé à la culture de projet orienté vers un produit fini ou un service à caractère stable ;
- l'absence de régulation professionnelle observée dans plusieurs cas en raison du caractère encore ponctuel des projets de conception de cours en ligne ;

– une difficulté de concilier la représentation du service que l’enseignant doit rendre et celle que propose le design pédagogique ?

Les cas étudiés ne sont certes pas suffisants pour tirer des conclusions définitives. Ils suscitent cependant un questionnement sur le caractère fini du cours, produit du design, que les enseignants tentent de *contourner*, surtout ceux qui jouissent d’une liberté académique. Ces derniers mettent en ligne des éléments de leur cours, avant même d’en avoir terminé la conception, et les font évoluer, suite à l’évaluation qu’en font les apprenants et à l’appréciation qu’eux-mêmes en dégagent. Ce détournement³⁹ est encouragé par les nouveaux outils technologiques qui fusionnent les phases du design, proposent la conduite en parallèle des processus de conception et de production des matériels, et permettent à l’enseignant de modifier lui-même son cours grâce à leur facilité d’utilisation. A cet égard, les partisans du design pédagogique soutiendront que cette approche n’a pas un caractère systématique et scientifique et n’inclut pas les mécanismes de contrôle de la qualité inhérents au design pédagogique.

L’éditeur MOT+LD dont nous voulons vérifier le degré d’acceptabilité fait aussi partie des nouveaux outils que l’on veut proposer aux enseignants concepteurs pour favoriser la réutilisation d’objets d’apprentissage afin d’améliorer la qualité et l’efficacité des cours en ligne. Les tests de transposition de deux scénarios pédagogiques à l’aide de cet outil indiquent qu’on ne pourra pas faire l’économie du design pédagogique si l’on veut exploiter la spécification IMS LD. Les enseignants concepteurs de cours en ligne accepteront-ils de s’approprier la méthodologie du design pédagogique dans l’objectif de réutilisation d’objets d’apprentissage ? Il est bien difficile actuellement de répondre à cette question compte tenu des enjeux qui se dessinent. D’un côté, la pratique ne semble pas prête à accepter les valeurs et les représentations mises en avant dans la démarche de design pédagogique, et, de l’autre côté, les efforts et le discours institutionnel affirmant une volonté d’améliorer la qualité, l’efficacité, mais aussi l’efficience de la conception et de la production des cours en ligne militent pour la normalisation de la conception de l’enseignement, de ses méthodes et de ses contenus. Il sera intéressant de voir si ces deux points de vue arriveront à *se concilier* ou si la voie retenue sera celle de la *confrontation*.

8.5. Conclusion

Les résultats présentés ici demeurent fragmentaires et nous sommes conscients que la recherche doit se poursuivre pour les compléter et les valider. En les prenant

7. Voir une réflexion de Guin et Trouche sur les détournements d’usage (chapitre 7, paragraphe 7.2.3).

pour ce qu'ils sont, ces résultats tendent à montrer *la nécessité de reconceptualiser le design pédagogique* pour développer une nouvelle approche de conception. Le défi est de taille, parce qu'il met en jeu des systèmes de valeurs encore assez éloignés. Comment transformer le design pédagogique afin qu'il respecte la dynamique de l'enseignement, qu'il se préoccupe de la construction de la relation pédagogique et qu'il intègre les caractéristiques d'adaptabilité et de souplesse « dans l'instant » de l'acte d'enseigner ? Comment faire en sorte que les enseignants intègrent dans leurs pratiques de conception intuitive des démarches plus rigoureuses qui, sans négliger la conception du contenu et sa structure, les conduiraient à penser l'axe pédagogique comme un objet de design distinct et à le détailler de manière systématique ?

Une des voies, selon nous, pour relever le défi de la conciliation de ces deux approches consiste à proposer aux enseignants des outils de conception de cours en ligne qui intégreraient les forces de la pratique actuelle à celles du design pédagogique. Ces outils agiraient comme des objets intermédiaires entre les deux positions. Leur conception par les concepteurs technologiques serait guidée, comme le proposent Bourguin et Derycke [BOU 05], par une compréhension profonde de l'activité des usagers et de leurs besoins. Elle s'appuierait sur un cadre de conception permettant la génération d'*outils flexibles et malléables* par les usagers eux-mêmes au fil des changements et des transformations dans l'usage de l'outil. Cela impliquerait, pour les usagers, de participer à la construction partagée d'un *cadre d'usage* au sens défini par Blandin [BLA 97], c'est-à-dire la négociation de l'usage collectif d'un même objet. Pour les concepteurs technologiques, cela supposerait de s'ouvrir aux démarches de conception participative par lesquelles l'utilisateur est un acteur du développement de l'outil informatique et l'agent d'une constante évolution (voir aussi la *conception dans l'usage*, chapitre 7, paragraphe 7.2.3). Cette proposition rejoint l'idée, que nous avançons au début de ce chapitre, d'établir un pont entre concepteurs de cours en ligne et concepteurs d'outils technologiques, à travers et par une reconceptualisation commune du design pédagogique.

8.6. Bibliographie

- [BAN 91] BANNON L., « From Human Factors to Human Actors », dans Greenbaum J., Kyng M. (dir.), *Design at Work : Cooperative Design of Computer Systems*, p. 25-44, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1991.
- [BLA 97] BLANDIN B., « Construction des usages et apprentissages collectifs : l'utilisation des instruments de communication en situation de travail », *Actes du Premier Colloque International Penser les usages*, p. 415-424, Bordeaux, 1997.

- [BOU 05] BOURGUIN G., DERYCKE A., « Systèmes interactifs en co-évolution. Réflexions sur les apports de la théorie de l'activité au support des pratiques collectives distribuées », *Revue d'Interaction Homme-Machine*, vol. 6, n° 1, p. 1-31, 2005.
- [BOW 97] BOWKER G., STAR L., TURNER W., GASSER L., *Social Science Research, Technical Systems and Cooperative Work: Beyond the Great Divide*, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, 1997.
- [COU 03] COUTURE M., HENRI F., RUELLAND D., CHABOUR S., Towards learning object-based instructional design, LORNET Project 6.3 – Year 1 Report, Centre de recherche LICEF, Télé-Université, Montréal, 2003.
- [COU 04] COUTURE M., RUELLAND D., La Boîte Noire. Devis pédagogique, Rapport technique, version préliminaire, Centre de recherche LICEF, Télé-Université, Montréal, 2004.
- [DES 88] DESCHENES A., *La compréhension et la production de textes*, Presses de l'Université du Québec, Québec, 1988.
- [DIV] DIVA, Développement, Intégration et évaluation des technologies de formation et d'Apprentissage [en ligne] : <http://www.larim.polymtl.ca/diva/> (consulté en avril 2006).
- [DOR 98] DORE S., BASQUE J., « Le concept d'environnement d'apprentissage informatisé ». *Journal of Distance Education/Revue de l'Enseignement à Distance*, vol. 13, n° 1, p. 1-20, 1998.
- [DUB 91] DUBAR C., *La socialisation, construction des identités sociales et professionnelles*, Armand Colin, Paris, 1991.
- [GIB 01] GIBBONS A.S., « Model-Centered Instruction », *Journal of Structural Learning and Intelligent System*, vol. 14, n° 4, p. 511-540, 2001.
- [HEN 05a] HENRI F., GAGNE P., MAINA M., Base de connaissances sur le téléapprentissage. Cadre de développement et résultats d'une étude d'usages du téléapprentissage, Rapport technique, Centre de recherche LICEF, Télé-Université, Montréal, 2005.
- [HEN 05b] HENRI F., GAGNE P., MAINA M., « Etude d'usages : un choix méthodologique en vue de la conception d'une base de connaissances sur le téléapprentissage », dans Pierre S. (dir.), *Innovations et tendances en technologie de formation et d'apprentissage*, p. 31-61, Presses internationales Polytechnique, Montréal, 2005.
- [IDL] IDLD, Déploiement et implantation de la spécification pour les designs d'apprentissage, Banque Canadienne LD [en ligne] : <http://www.idld.org/> (consulté en décembre 2006).
- [KLE 04] KLEIN J., SPECTOR M., GRABOWSKI B., DE LA TEJA I., *Instructor Competencies: Standards for Face-to-Face, Online, and Blended Settings*, Information Age Publishing, Connecticut, 2004.
- [KOP 04] KOPER R., OLIVIER B., « Representing the Learning Design of Units of Learning », *Educational Technology and Society*, vol. 7, n° 3, p. 97-111, 2004.
- [LEJ 04] LEJEUNE A., « IMS Learning Design. Etude d'un langage de modélisation pédagogique », *Distance et savoirs*, vol. 2, n° 4, p. 409-450, 2004.

- [LOR] LORNET, Learning Objects Repositories Network : <http://www.lornet.org> (consulté en octobre 2005).
- [LOT] LORIT, Laboratoire-observatoire de recherche en ingénierie du téléapprentissage [en ligne] : <http://www.liceftelug.uqam.ca/lorit> (consulté en avril 2006).
- [LUN 05a] LUNDGREN-CAYROL K., RUELLAND D., DE LA TEJA I., ID processes, Pedagogical Objects and the eLearning Reality, Rapport technique, Centre de recherche LICEF, Télé-Université, Montréal, 2005.
- [LUN 05b] LUNDGREN-CAYROL K., RUELLAND D., DE LA TEJA I., HENRI F., COUTURE M., « eLearning Reality, ID Processes and Pedagogical Objects », *Actes World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2005*, p. 4485-4491, 2005.
- [MOR 04] MORRISON D., « What Do Instructional Designers Design ? », *eLearning Network*, présentation PowerPoint, 2004, [en ligne] : <http://www.morrisonco.com/speaking.htm> (consulté en avril 2006).
- [OUN] OUN, Open University Netherlands [en ligne] : <http://dspace.learningnetworks.org>, (consulté en septembre 2005).
- [PAQ 02] PAQUETTE G., *L'ingénierie pédagogique : pour construire l'apprentissage en réseau*, Presses de l'Université du Québec, Québec, 2002.
- [PAQ 05] PAQUETTE G., MARINO, O., DE LA TEJA I., LUNDGREN-CAYROL K., LEONARD M., CONTAMINES J., « Implementation and Deployment of the IMS Learning Design Specification », *Canadian Journal of Learning Technologies (CJLT)*, vol. 31, n° 2, 2005, [en ligne] : <http://www.cjlt.ca/content/vol31.2/paquette.html> (consulté en janvier 2006).
- [PAQ 06] PAQUETTE G. Introduction à la spécification *IMS LD* d'une perspective d'ingénierie pédagogique, *Banque Canadienne LD*, [en ligne] : <http://www.idld.org/Methodology/tabid/174/Default.aspx> (consulté en décembre 2006).
- [PER 04] PERNIN J.-P., LEJEUNE A., « Dispositifs d'apprentissage instrumentés par les technologies : vers une ingénierie centrée sur les scénarios », *Actes de la conférence TICE 2004*, p. 407-414, Université de Technologie de Compiègne, 2004, disponible sur le Web : <http://archive-edutice.ccsd.cnrs.fr/edutice-00000730> (consulté en avril 2006).
- [PIR 97] PIRES A.P., « Echantillonnage et recherche qualitative : un essai théorique et méthodologique », dans Poupart J., Deslauriers J.-P., Groulx L.-H., Laperrière A., Mayer R., Pires A.P. (dir.), *La recherche qualitative. Enjeux épistémologiques et méthodologiques*, p. 113-169, Gaëtan Morin Editeur, Montréal, 1997.
- [RAB 95] RABARDEL P., *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*, Armand Colin, Paris, 1995.
- [TEJ 05a] DE LA TEJA I., LUNDGREN-CAYROL K., Transposition d'un scénario pédagogique conçu avec la méthode MISA vers une unité d'apprentissage de type IMS LD, Rapport technique, Centre de recherche LICEF, Télé-Université, Montréal, 2005.

- [TEJ 05b] DE LA TEJA I., LUNDGREN-CAYROL K., PAQUETTE G., « Transposing MISA Learning Scenarios into IMS Units of Learning », *Journal of Interactive Media in Education*, [en ligne] : <http://www-jime.open.ac.uk/2005/13/delateja-2005-13-paper.html> (consulté en octobre 2006).
- [WIL 00] WILEY D.A., « Connecting learning objects to instructional design theory : A definition, a metaphor, and a taxonomy », dans Wiley D.A. (dir.), *The Instructional Use of Learning Objects*, p. 2-25, Agency for Instructional Technology, AECT, Bloomington, 2000, disponible sur le Web : <http://reutilisability.org/read/> (consulté en janvier 2007).

Chapitre 9

Bonnes pratiques pour l'exploitation multi-usages de contenus pédagogiques : la raison du calcul est toujours la meilleure

9.1. Introduction

Toute recherche sur l'ingénierie des environnements informatisés pour l'éducation et la formation devrait se poser comme objectif de proposer des méthodes et des techniques permettant la mise en place effective et généralisable de ces environnements [TCH 02]. L'un des verrous rencontrés par cette recherche est que le domaine concerné, la formation *via* des dispositifs informatisés, est encore très largement en émergence. L'élaboration de méthodes stables et raisonnablement prédictives quant aux résultats requiert préalablement la stabilisation des pratiques. Or, dans le contexte de construction de ces pratiques, l'objectif doit être plus mesuré. Nous en sommes moins aujourd'hui à élaborer des solutions définitives qu'à proposer des cadres intermédiaires facilitant l'expérimentation. Mais nous parlons ici d'expérimentations à grande échelle, en situation réelle, et non plus d'expériences *ad hoc* en laboratoire.

L'un des axes développés, pour accompagner la structuration de ces usages nouveaux, est de favoriser la collaboration et les échanges de pratiques. Un des leviers actionnés est alors celui du partage des contenus, d'une part, et de leur mise

en usage, d'autre part, termes qui renvoient respectivement aux notions de *réutilisation* (adopter un contenu existant déjà sous forme de ressource documentaire) et *d'adaptation* (mettre en contexte ce contenu pour le faire document)⁴⁰. L'enjeu devient alors la construction d'un patrimoine éducatif à travers, d'une part, la mise en place de dépôts de ressources documentaires – ou *viviers*, pour reprendre la terminologie ARIADNE, qui dénote plus justement la dynamique de ces dépôts – et la mise en place de *communautés d'échange* autour des usages de ces ressources, d'autre part.

Si le champ est vaste et interroge de nombreux domaines complémentaires, notre travail se concentre sur la question du *contenu*, de sa *mise en dépôt* et de son *exploitation multi-usages*, c'est-à-dire de sa mise en usage dans plusieurs contextes différents. Le projet ARIADNE, qui a certainement été l'un des premiers à se situer dans cette problématique, pose deux problèmes fondamentaux pour la réutilisation des contenus : l'atteinte d'une « masse critique », pour susciter l'intérêt de la communauté, et la mise en place de méthodes et techniques, pour permettre son exploitation par les auteurs [FOR 99]. On notera au passage la difficulté liée à la circularité de ces deux conditions : l'effet de masse est nécessaire à l'exploitation et l'exploitation est nécessaire au processus de massification.

Nous considérons dans le cadre de ce texte un autre problème fondamental pour la constitution de dépôts de contenus réutilisables : celui de l'adaptation au contexte. L'hypothèse que nous défendrons est que la réutilisation est dépendante des possibilités d'adaptation du contenu. Le cadre conceptuel et technologique que nous explorons est celui de *l'ingénierie documentaire* qui, en replaçant les propriétés calculatoires du numérique au centre du débat, distingue *ressource documentaire* calculable comme moyen et *document* calculé comme finalité.

La seconde partie de ce chapitre posera la problématique en distinguant ressources documentaires *sources* et documents *cibles*, au sein du processus de création de contenu numérique. La troisième partie exposera en quoi cette distinction est la condition de l'adaptation, et donc de la réutilisation qui en dépend, puis, en quoi le calcul est la propriété fondamentale qui rend cette distinction opérationnalisable informatiquement. La quatrième partie traitera d'une ingénierie adaptée à cette approche et des conséquences technologiques. La cinquième partie présentera le système SCENARI et quelques-uns des projets au sein desquels cette approche a été mise en œuvre. La sixième partie prendra position pour généraliser l'approche exposée en vue de favoriser l'émergence de *bonnes pratiques*, en

40. Les termes ressource documentaire, document, réutilisation et adaptation seront définis dans les deux prochaines parties de ce texte.

s'attachant en particulier aux questions de la création initiale des contenus et de la *standardisation*.

9.2. Contenu, ressource⁴¹ documentaire, document et calcul

9.2.1. *La raison du calcul*

Goody montre que l'invention de l'écriture a modifié les schèmes de représentation de la connaissance, jusque-là orale, donnant naissance à une raison graphique [GOO 79]. Les documents papiers ont permis la représentation spatiale de l'information, lui donnant alors une permanence dans le temps. Grâce à ces possibilités nouvelles d'inscription, de nouvelles connaissances ont pu naître de représentations qui ne peuvent être formulées oralement (Goody expose l'exemple du tableau qui permet de mettre en évidence des relations qui ne peuvent émerger par la description orale du tableau). « Comme le codex, les rouleaux d'Alexandrie ou les entrées alphabétiques de l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert, les CD-ROM ou Internet sont des "machines" à structurer le savoir » [CLE 98]. De même que l'écrit a permis le passage du temporel au spatial par projection de la parole, le support numérique apporte de nouvelles formes de représentation des informations, basées sur le calcul.

Bachimont évoque à ce sujet l'émergence d'une « raison computationnelle » permettant la synthèse de la connaissance dans l'espace du calcul [BAC 99] : en effet, l'ordinateur ne traite que des séquences binaires qui, par le calcul, deviennent des signes sur un support, tel que l'écran. C'est cette propriété du support numérique qui est intéressante en tant qu'elle propose de nouvelles possibilités d'inscription de l'information, basées sur la dynamique. Ces nouvelles possibilités induisent également la constitution de modes de représentation nouveaux, comme les tableaux pour la raison graphique en leur temps. Linard évoque des « machines à représenter autrement » [LIN 96].

Ce texte place la *raison du calcul* au centre d'une ingénierie du contenu numérique, c'est-à-dire que nous nous appuyons sur une logique de représentation de l'information particulière au numérique, qui permet d'envisager des modes nouveaux d'accès au contenu et de manipulation du contenu. Nous nous attacherons à montrer que l'approche calculatoire est devenue incontournable pour toute ingénierie du document numérique, en particulier lorsqu'un objectif de réutilisation

41. On notera que, dans ce texte, la notion de *ressource* est employée au sens de ressource pour construire des documents, qui sont à leur tour des ressources pour une formation. La ressource au sens pris dans ce texte n'est donc la *ressource pour la formation* que *via* sa reconfiguration en document, et non directement.

ou d'utilisation multi-usages est prégnant. Cette thèse est largement soutenue dans le domaine du génie documentaire. En nous appuyant sur l'état de l'art de ce domaine, nous proposons de définir quelques notions clés : le contenu, la ressource documentaire et le document.

9.2.2. Ingénierie des documents numériques

L'une des principales caractéristiques et sources de difficulté pour l'élaboration des documents est l'articulation entre les possibilités ou les contraintes techniques liées à leur *manipulation*, d'une part, et les conventions ou les possibilités sémiotiques et culturelles de leur *interprétation*, d'autre part. Or, les nouvelles conditions technologiques liées à la numérisation des contenus (ils sont disponibles sous une forme binaire) et à l'informatisation de leur exploitation (par des systèmes informatiques échangeant et constituant de l'information) déplacent les articulations traditionnelles entre les techniques d'inscription et les interprétations [BAC 04a]. Ce sont les conditions d'intelligibilité du *document numérique* qui se retrouvent ainsi posées, devant l'émergence d'une raison propre au document numérique. « Les modes de pensée ne sauraient être indépendants des moyens de penser » [GOO 79], et c'est donc l'articulation entre *manipulabilité technique* et *intelligibilité interprétative* qu'il faut réinterroger dans le contexte des documents numériques. Un groupe de chercheurs, émanant d'un réseau thématique pluridisciplinaire du département STIC⁴² du CNRS consacré aux questions documentaires (RTP-33⁴³), a proposé une réflexion collective sur les mutations numériques du document [RTP, PED 06]. Ce groupe analyse la notion de document à trois niveaux : le document comme *forme*, comme *signe*, et enfin comme *medium*. Le document comme *forme* renvoie au fait que le document est une forme physique perceptible dont la matérialité physique se prête à l'instrumentation technique. Cette dimension prend par conséquent en compte les problèmes de numérisation du contenu où l'enjeu est de coder la même information que pour un document traditionnel, mais sur le support numérique (on pourra également parler de codage orthothétique [STI 94]). Le document comme *signe* renvoie aux problèmes de manipulation, lecture et interprétation du contenu, en prenant en compte la double face matérielle et intelligible du signe. On y retrouve les questions relevant de l'ingénierie documentaire et de l'ingénierie des connaissances. Enfin, le document comme *medium* thématise le document comme objet social, objet de négociation et de transaction culturelle et économique. Il constitue un milieu d'échange entre des individus et des groupes qui s'articule et s'ancre dans la vie sociale.

42. STIC : sciences et technologies de l'information et de la communication.

43. RTP-33 : réseau thématique pluridisciplinaire « documents : création, indexation, navigation ».

L'inscription numérique permet de matérialiser et de réifier les contraintes structurelles imposées à un document en instruments informatiques conditionnant l'élaboration, la transmission et l'interprétation des contenus. Nous proposons dans ce contexte la définition suivante : une *ressource documentaire* est l'inscription numérique d'un *contenu*, qu'un calcul permet de mettre en forme dynamiquement pour sa consultation en tant que *document* inscrit dans un usage. Le contenu est le fond (ou le fonds, au sens de fonds documentaire) à communiquer ; la ressource documentaire est sa matérialisation non consultable (du point de vue de l'utilisateur humain) mais calculable (du point de vue de la machine) ; et le document est sa forme humainement appréhendable, porteuse d'une intention spécifique à un contexte d'usage. Si la terminologie peut faire encore débat, l'état de l'art du domaine documentaire s'accorde sur ces principes [PED 06, SAL 04].

9.2.3. Instrumentation technique et XML

9.2.3.1. Fond et forme

La propriété calculatoire du numérique nous permet de poser qu'il est possible d'avoir plusieurs formes d'inscription de l'information, dont une sera *la ressource* et les autres des reconstructions calculées depuis cette ressource. La ressource doit contenir, outre le contenu proprement dit, toutes les informations nécessaires pour la manipuler (assembler les éléments composant le contenu) et la publier (présenter sur un support de lecture). Traditionnellement, on adjoint à la ressource les informations dites *logiques*, qui sont communes à toutes les *présentations* (par exemple, le fait qu'un paragraphe a valeur d'exemple ou qu'un mot est important), et on explicite par des feuilles de styles ou autres paramétrages adéquats les informations nécessaires à une *publication* particulière (par exemple, on présentera les paragraphes de type exemple dans un encadré et les mots importants en italique). La ressource structurée logiquement devient alors une forme canonique. Reflétant la *structure logique* du contenu, elle se voudra indépendante des formes sémiotiques lisibles et sera un formatage du *fond*. Les *formes sémiotiques lisibles* seront les formes calculées, elles seront des formatages de la *forme*. On parlera alors, par abus de langage, de séparation fond/forme. L'algorithme qui permet de passer de l'expression du fond à l'expression de la forme porte la formalisation des besoins du contexte permettant de passer de la ressource au document.

9.2.3.2. XML et son usage en ingénierie documentaire

XML, l'*eXtensible Markup Language* [XML], est un méta-langage, c'est-à-dire un langage permettant de définir des langages, proposé comme recommandation par le W3C (consortium du World Wide Web) en 1998. XML hérite du méta-langage SGML (*Standard Generalized Markup Language*), initié en 1979 par IBM

(*Generalized Markup Language*) et normalisé par l'ISO en 1986 (ISO 8879 :1986). SGML a été largement utilisé dans le cadre des systèmes documentaires, notamment dans les secteurs sensibles pour lesquels la fiabilité de la documentation est cruciale (aéronautique, défense, etc.). Fait notable, le langage HTML est un langage SGML, tandis que son successeur XHTML est un langage XML.

Une fonction fondamentale d'XML, dans notre cadre, est la représentation d'informations permettant la structuration logique du texte, par le repérage explicite de ses éléments constitutifs (chapitre, paragraphe, mot important, etc.) et la hiérarchisation de ces éléments entre eux (un paragraphe appartient à un chapitre, un mot important à un paragraphe, etc.). Une telle représentation ne se préoccupe pas de la présentation physique des informations (mise en page, polices de caractères, etc.). Afin de permettre cette structuration logique, l'on procède avec le formalisme XML par ajout de *balises* (des méta-informations structurantes) au contenu du texte proprement dit, c'est-à-dire entre les mots constituant le texte (voir figure 9.1). Les règles de syntaxe d'XML sont simples : un document XML comporte un en-tête permettant de l'identifier en tant que document XML et un élément racine contenant tous les autres éléments récursivement, selon une structure arborescente. Un élément est caractérisé par une balise ouvrante et une balise fermante et contient d'autres éléments ou du contenu.

```
<?xml version="1.0" ?>
<document>
  <paragraphe>Soit un triangle rectangle disposant d'un angle de 30°.</paragraphe>
  <paragraphe>Donnez la valeur des autres angles du triangle.</paragraphe>
</document>
```

Figure 9.1. Exemple de document XML

9.2.3.3. Schéma XML et contrôle de structure documentaire

Un document XML bien formé est un document qui respecte les règles syntaxiques imposées par XML. Mais l'on peut contraindre la structure d'un document XML, au-delà de ces règles primaires, afin d'assurer *a priori* qu'elle respecte un agencement particulier d'éléments. On a pour cela recours à un *schéma*, qui permet de spécifier quels éléments un document peut utiliser, et la hiérarchie que doivent respecter ces éléments entre eux. Un schéma permet donc de spécifier un langage XML particulier, propre à une classe de documents. Cette spécification se révèle être un élément majeur, préalable à la constitution de tout document XML, dans la mesure où c'est elle qui permet la standardisation des structures de document, nécessaire pour l'interopérabilité des documents et pour leurs traitements automatiques (pour en faire des présentations physiques par exemple). Par exemple,

Docbook [DOC] est un schéma posant les règles de structuration des livres en chapitres, parties, etc. Il existe plusieurs formalismes pour représenter un schéma XML : DTD (*Document Type Definition*), XML Schema (standard W3C), RELAX NG (norme ISO), etc. La définition d'un schéma repose généralement sur un langage déclaratif, permettant de spécifier les éléments autorisés et, pour chaque élément autorisé, les éléments « fils » qu'il peut contenir, ou le domaine de valeurs pour un élément « feuille ». Le schéma donné en figure 9.2 définit les éléments « document » et « paragraphe » : il indique qu'un « document » contient de 1 à N « paragraphe », « paragraphe » étant un élément feuille contenant une chaîne de caractères. Le document XML de la figure 9.1 respecte ce schéma : on dit qu'il est valide par rapport à ce schéma.

```
<!ELEMENT document (paragraphe + )>
<!ELEMENT paragraphe (#PCDATA)>
```

Figure 9.2. Exemple de schéma de document XML sous forme de DTD

9.2.3.4. Transformation XML et publication de documents

XML permettant de représenter logiquement l'information, il est nécessaire, pour envisager sa publication sur un support de *réappropriation*⁴⁴, de disposer d'un mécanisme permettant de transformer cette représentation logique en présentation physique (HTML, PDF, etc.). L'*eXtensible Stylesheet Language Family* [XSL] fournit la solution technique à ce problème à travers sa première partie XSLT (*XSL Transformation*). XSLT est en effet un langage qui permet de transformer un document XML en un autre document de format quelconque. Il est fondé sur des instructions permettant de repérer des éléments du document source XML et de générer les informations correspondantes sur le document cible. Par exemple, XSLT permet d'écrire des instructions du type « pour tout élément <important>mot </important> dans la source, générer mot dans la cible » : une telle instruction permettra de mettre en gras, dans un format de consultation HTML, tous les mots repérés comme importants dans un document XML.

En conclusion, nous avons vu qu'XML fournit un formalisme générique pour représenter le contenu de ressources documentaires, selon un schéma qui en définit la structure. XSLT, quant à lui, fournit une « mécanique » informatique de transformation des ressources documentaires en documents consultables, en permettant la mise en œuvre d'une publication multi-usages, puisqu'en écrivant N

44. Le terme réappropriation est entendu ici comme lecture au sens élargi par les diverses manipulations rendues possibles par les interfaces informatiques interactives.

programmes XSLT et en les appliquant au même document XML, on peut disposer de N documents distincts. Cet ensemble de documents obtenu a pour objectif de répondre à différents choix de présentation, différentes possibilités de supports, différents formats, etc. Le premier enjeu d'un projet d'ingénierie documentaire est donc de définir les langages XML (schémas) représentant les contenus de façon suffisamment riche pour permettre l'instanciation de ressources documentaires largement manipulables. Le second enjeu est de réaliser l'ensemble des programmes informatiques qui permettront la transformation de ces ressources en documents. Le schéma porte la structure documentaire, tandis que les programmes de transformation portent les exigences de reconfiguration de la ressource au contexte (ou, autrement dit, formalisent l'expression des besoins de publication propres au contexte).

9.2.4. *Web sémantique*

Le *Web sémantique* est un projet d'évolution du Web que nous appellerons classique (on pourrait aussi parler de Web syntaxique), pour en augmenter les potentialités de manipulation automatique par le calcul ; tandis que le Web sert aujourd'hui principalement à véhiculer de l'information d'humain à humain, l'enjeu est d'être capable de rendre accessible *aussi* une information d'humain à machine, de machine à humain et de machine à machine. Le W3C en donne cette définition : « *The Semantic Web is a vision : the idea of having data on the Web defined and linked in a way that it can be used by machines not just for display purposes, but for automation, integration and reuse of data across various applications* » [SEM]. On voit le rapprochement avec l'ingénierie du document numérique telle que nous l'avons définie : dans les deux cas l'enjeu est de mettre à profit les propriétés calculatoires du numérique pour en favoriser la manipulation automatique.

Le Web sémantique est entièrement fondé sur le Web classique et ne remet pas en cause ce dernier, il reste avant tout un moyen de publier et de consulter des documents [LAU 04]. Mais tandis que le Web classique reposait initialement sur le seul principe de la mise à disposition de signes pour l'interprétation humaine (à travers leur mise en forme graphique par le langage HTML), le Web sémantique propose d'ajouter une *surcouche* composée de signes destinés à l'interprétation par la machine, qui *enrichissent* sémantiquement le contenu. Le formalisme XML est une instrumentation directe de ce principe d'ajout de « poignées » offrant une prise à la manipulation formelle du contenu (qui reste en langue naturelle), sans le remplacer ni l'altérer. On parlera du passage de l'indexation *a posteriori* de contenus amorphes à la description *a priori* de contenus structurés. Trois axes se dégagent au sein de cette approche [WEB] :

- la modélisation et la manipulation des structures documentaires (instrumentées par les schémas en ingénierie documentaire) ;
- la modélisation et la manipulation des représentations du contenu (instrumentées par les *ontologies* en ingénierie des connaissances) ;
- le recours à des formats de documents ouverts, comme SVG (*Scalable Vector Graphics* [SVG]) plutôt que Flash par exemple.

Le premier de ces trois axes rejoint donc largement les préoccupations de l'ingénierie documentaire : l'un des enjeux du Web sémantique est de favoriser l'échange de ressources documentaires plutôt que de documents, c'est-à-dire d'*échanger de la matière calculable* plutôt que de la matière consultable. Ce texte s'attachera particulièrement à ce problème, en posant que *l'abstraction des structures documentaires* en vue de leur manipulation calculatoire – plutôt que la seule mise en forme graphique du contenu pour l'interprétation humaine – est une condition pour l'exploitation multi-usages des dépôts de ressources.

La création et l'usage du *contenu* pédagogique ont principalement été traités jusqu'à aujourd'hui selon l'état de l'art technologique, celui du Web classique. Ainsi les ressources sont numérisées, éditées suivant une mise en forme adaptée pour l'interprétation humaine, segmentées en unités reliées par des hyperliens physiques, et augmentées d'index qui permettent une recherche au sein du réseau de documents. Cette première étape a été déterminante, avec des résultats très significatifs comme l'initiation d'un processus de standardisation des *métadonnées*⁴⁵ (dont est né le standard IEEE LOM pour les contenus pédagogiques), et elle ouvre la voie à une seconde étape qui s'inscrit, elle, dans le paradigme du Web sémantique. L'enjeu de cette seconde étape est de passer de l'*accessibilité* des ressources (rendue possible par la standardisation du format de mise en forme HTML et par l'indexation) à une réelle *manipulation* des ressources, qui seule permet de faire face aux effets de masse engendrés par la mise en dépôt de larges volumes de ressources. Bachimont parle du passage de la *numérisation* – simple mise à disposition du contenu sous une forme binaire – à l'*informatisation* : intégration des contenus dans un système d'information permettant des reconfigurations de leurs structures et de leurs mises en forme pour en favoriser l'échange et l'exploitation [BAC 04a].

9.2.5. Communauté de pratique

La notion de *communauté de pratique* [LAV 91] implique une matérialisation des usages, qui émergent des relations sociales entre les individus, sous la forme d'objets partagés. Hotte et Contamines (voir chapitre 10, paragraphe 10.2.3)

45. En ingénierie documentaire, une métadonnée est une donnée servant à décrire un document, par exemple l'auteur, la date de publication, le sujet, etc.

reprennent le concept de *réification* [WEN 98] et posent la dualité entre expérience en mouvement et objets matériels rendant compte d'une vue figée de l'expérience. Le génie documentaire pose la question de façon similaire : le document est avant tout objet social qui rend compte d'une pratique, il est aussi prescription de la pratique par son format. Deux concepts fondamentaux sont alors à mettre en exergue : *l'objectivation* et *l'appropriation*. L'objectivation documentaire traduit le fait que l'inscription constitue un objet appréhendé dans son autonomie et sa cohésion propres, il est alors référent d'un contexte social identifié qui donne les clés de son interprétation. L'appropriation documentaire traduit le fait que l'objet est fait sien dans un contexte d'usage particulier au sein de la communauté [BAC 04b]. Ces deux concepts sont en tension, la nécessité d'objectivation est facteur de stabilité, tandis que la nécessité d'appropriation est facteur de changement. Le numérique déstabilise l'équilibre entre ces deux forces : il met à mal l'objectivation par la perte de l'accès direct à la source, tandis qu'il tend à privilégier une appropriation par l'individualisation du document, le calcul permettant la médiation de la lecture entre la ressource documentaire et le document.

Prenons deux expressions caricaturales de chacune de ces deux tendances afin d'illustrer notre propos. Soit un site Web proposant le téléchargement et l'usage libre d'une page d'un ouvrage reconnu, sous un format *scanné* (image JPEG par exemple) et sous un format *texte* (fichier TXT par exemple). La manipulation du premier fichier sera très limitée, l'image pourra uniquement être intégrée à un autre fichier, par exemple. La source sera maintenue par l'en-tête de page fidèlement reproduite, avec le titre de l'ouvrage, peut-être le nom de l'auteur. Il s'agit d'un cas de forte objectivation et de faible appropriation. Inversement, du second fichier, l'on pourra « copier/coller » une partie jugée intéressante, involontairement la travestir quelque peu en changeant sa mise en forme ou en supprimant une phrase de transition jugée superflue, et peut-être oubliera-t-on de citer la source. Les possibilités d'appropriation sont grandes, l'intégration éditoriale à une nouvelle production pourra être transparente, mais l'objectivation, elle, aura souffert d'un processus plus ou moins fidèle, dont la certitude de l'exactitude aura été perdue. C'est, métaphoriquement, l'encyclopédie Universalis, référence certaine proposant une nouvelle édition tous les dix ans, versus l'encyclopédie Wikipedia, dont chacun peut discuter et modifier le contenu, et, conséquemment, la validité.

L'enjeu d'une ingénierie documentaire maîtrisée peut alors être d'aider à *structurer* la réification de la communauté de pratique, par le maintien des caractères objectivables propres à cette communauté, d'une part, et par la souplesse et l'évolutivité des formats des objets manipulés, d'autre part. Une ingénierie du document numérique telle que nous l'avons définie se donne les moyens d'un tel enjeu par l'explicitation et la maîtrise des schémas documentaires et des algorithmes de transformation (publication). Cette maîtrise explicite des schémas et des transformations est la condition *sine qua non* pour que les objets (ici les documents)

manipulés par une communauté de pratique soient en phase avec la pratique, y compris dans sa dynamique.

9.3. Réutilisation de ressources documentaires, usage de documents

9.3.1. Réutilisation comme objectif et adaptation comme moyen

L'introduction du présent ouvrage pose clairement les enjeux de la constitution de dépôts de ressources éducatives. Ainsi les ressources documentaires doivent être *accessibles* (donc indexables), *durables* (donc maintenables), *interopérables* (donc transportables dans des contextes technologiques variés et évolutifs) ainsi que réutilisables et adaptables. Nous proposons de réorganiser ces notions en posant que la *réutilisation* peut être considérée comme la finalité, l'*adaptation* comme le moyen de l'atteindre et que les autres propriétés énoncées sont des cas particuliers de réutilisation et d'adaptation. Nous concluons en proposant qu'il n'y a pas de ressource documentaire *idéale* (ou générique) et qu'il ne peut y avoir que des ressources documentaires à *adapter*.

L'objectif premier d'un dépôt de ressources documentaires est que les ressources déposées soient *réutilisables* : si des ressources sont mises à disposition, c'est *in fine* pour être réutilisées dans un ou plusieurs contextes autres que celui pour lequel elles ont été produites. Nous définissons l'utilisation d'une ressource comme sa mise en *contexte d'usage* et sa mise en *contexte technique* afin de l'exploiter pour remplir un objectif de formation. La réutilisation d'une ressource implique alors une nouvelle mise en contexte, pour une autre exploitation. L'enjeu d'un dépôt de ressources est donc de permettre l'*exploitation* des ressources déposées dans des contextes divers. On parlera d'exploitation multi-usages.

Le problème qui se pose alors est que les contextes de réutilisation sont potentiellement *hétéroclites* (ils tendent généralement vers des directions différentes). La réutilisation ne peut donc pas se limiter à une *transposition* simple de ressources, sans quoi les différences entre les contextes seraient ignorées (par exemple, utiliser un polycopié de cours présentiel de 200 pages est inadéquat, *tel quel*, pour une formation à distance). La réutilisation implique alors nécessairement un processus d'*adaptation* des ressources pour les rendre conformes au cahier des charges du nouveau contexte. Cette multiplicité de *vues* sur le contenu implique une *reconfiguration*, au sens proposé dans le cadre du génie documentaire, c'est-à-dire l'application de calculs différents sur une même ressource documentaire pour obtenir des documents adaptés à chaque contexte.

Si l'on reprend les autres concepts proposés préalablement (durabilité, interopérabilité, accessibilité), on observe qu'il est possible de les relier aux concepts de réutilisabilité et d'adaptabilité :

- une ressource est *durable* si elle est capable de se maintenir dans le *temps* malgré l'évolution des usages. Il est irréaliste d'imaginer des ressources *stables* dans leur nature d'usage et dans leur nature technologique, qui seraient capables de se maintenir de façon satisfaisante dans le temps, les technologies et les usages évoluant fortement et dans des directions encore imprévisibles – la pratique étant en émergence. D'où la durabilité est un cas particulier de la réutilisabilité : une réutilisabilité temporelle. On définit en conséquence que durable équivaut à adaptable dans le temps ;

- une ressource est *interopérable* si elle peut être exploitée dans des contextes technologiques et d'usages divers. Il est également irréaliste d'imaginer des ressources interopérables avec l'ensemble des contextes futurs par anticipation. Nous verrons que la standardisation technologique ne peut répondre seule à la question de l'interopérabilité, car les enjeux ne sont pas uniquement technologiques, mais également liés à l'usage, qui est par nature non standardisable, *a fortiori* dans un contexte de pratique non stabilisée. De plus, même pour la dimension technologique prise isolément, la standardisation ne peut anticiper l'évolution des technologies, ce qui couple le problème d'interopérabilité à un problème de durabilité. Si l'on considère l'interopérabilité à un instant donné, elle peut donc être rapportée à un cas particulier de réutilisabilité : une réutilisabilité spatiale. On définit en conséquence qu'interopérable équivaut à adaptable à des espaces différents (et si l'on considère l'interopérabilité dans sa dimension temporelle, elle est rapportée à un problème de durabilité) ;

- une ressource est *accessible* si elle fournit une vision synthétique des possibles qu'elle offre, c'est-à-dire de ce qu'elle rend possible en termes d'usages, sous une forme interprétable par un système informatique (indexation) et sous une forme interprétable par un utilisateur humain (recherche). Le problème d'accessibilité pose aussi un problème d'interopérabilité, c'est-à-dire un problème d'adaptation à un contexte d'exploitation particulier (la recherche), qui pose donc les mêmes questions et conduit aux mêmes propositions. La question des *métadonnées*, souvent posée comme centrale dans la question de l'accessibilité, renvoie à deux sous-problèmes distincts : le *format technique d'encodage* des métadonnées, qui se rapporte à un problème d'interopérabilité exclusivement, et le *contenu* des métadonnées. Cette dernière question est relative à la disponibilité des informations que l'on veut mettre à disposition du système d'exploitation (indexation/recherche). Si des informations manquent, c'est que le *nouveau* contexte d'exploitation exige une *adaptation* de la ressource pour répondre aux nouveaux besoins qu'il pose. Cette question est identique à celle qui se pose pour tous les autres aspects de l'interopérabilité (par exemple, pour mettre en place des logiques de suivi contrôlé il faut des informations

sur la scénarisation). Par conséquent, le problème d'accessibilité est un cas particulier d'interopérabilité.

En conclusion, nous proposons donc de considérer qu'il est impossible de viser des ressources documentaires *idéales* (c'est-à-dire durables, interopérables, accessibles), en premier lieu pour des raisons économiques (tendre à cette idéalité conduirait à des coûts de production irréalistes), ensuite pour des raisons technologiques (il est impossible de prévoir les évolutions technologiques, même à court terme), et enfin pour des raisons d'usages (la pratique est en construction, les usages de demain, et même d'aujourd'hui, sont à inventer). L'alternative est donc de disposer de ressources toujours initialement créées pour un seul contexte, mais que l'on puisse facilement adapter à chaque nouveau contexte de réutilisation se présentant. De telles ressources n'intègrent pas *a priori* les conditions de leur réutilisation, mais permettent de les construire *au fur et à mesure*. Nous montrerons par la suite que les propriétés calculatoires du numérique rendent cette position réaliste, nous irons même jusqu'à suggérer qu'elle est la meilleure et qu'il n'y a pas de bonnes raisons pour ne pas la mettre en œuvre systématiquement. En conséquence, nous proposerons des prises de position qui nous aideront à traiter la question de la création des ressources.

9.3.2. *Le calcul comme outil de l'adaptation*

Nous avons précédemment défini une ressource documentaire numérique comme un moyen pour construire un document, c'est-à-dire un objet *intentionnel*, qui répond à un objectif d'usage connu et délimité, à travers un support d'appropriation donné (papier, Internet, etc.). Le numérique réinterroge donc le documentaire, où l'enregistrement réutilisable (la ressource documentaire) n'est pas la forme exploitée (le document publié à partir de la reconfiguration de la ressource). On parlera de *dossier documentaire* pour rendre compte de l'ensemble composé d'une ressource et de ses potentiels d'exploitation documentaire à un instant donné [BAC 04b]. La vie d'un dossier documentaire est rythmée par un contexte initial de création de la ressource et par l'apparition de nouveaux contextes par la suite. L'enjeu d'un dépôt de ressources devient donc la préservation des ressources en tant que vecteur de contenu, *augmenté* des informations à destination de ses diverses exploitations documentaires. Ces informations *supplémentaires* rendent compte des différents contextes d'usage, et viennent se sédimenter en *couches* au fur et à mesure des exploitations nouvelles qui exigent des configurations documentaires nouvelles.

La calculabilité du numérique est la propriété particulière de ce mode d'inscription qui rend possible cette approche. Il est possible de construire *automatiquement* un document adapté à un contexte à partir d'une ressource et d'une expression formelle de ses propriétés sémantiques rendant compte de ses usages

possibles. On appellera *modélisation* l'abstraction des structures logiques du document qui permet à la machine d'agir sur la ressource pour en faire un document selon des prescriptions humaines (ou paramétrages). La modélisation est donc le processus d'explicitation formelle qui ouvre les potentialités de manipulation calculatoire.

Chaque document étant construit pour un contexte d'usage propre, il est inadéquat de chercher à construire des documents multi-usages. Notre proposition pour la réutilisation est donc de s'orienter vers *la création progressive de ressources multi-usages* qui permettent de construire, par adaptation, des documents mono-usage, grâce à des modèles documentaires calculables.

9.4. Propositions pour une ingénierie des dépôts de ressources

9.4.1. Une approche par augmentation progressive

La ressource générique propre à répondre à tous les besoins de réutilisation étant inconcevable, notre proposition est plutôt de mettre en place une ingénierie originale qui permettra d'inscrire progressivement les informations qui permettront à un algorithme de reconstruire des mises en formes documentaires pour des usages *identifiés*. La notion d'*inscription progressive* renvoie à un processus augmentatif d'enrichissement de la ressource, en fonction de besoins réels et identifiés, par opposition à une conception initiale idéalisée. Elle implique une ingénierie *discontinue* dirigée par une pratique en construction et s'oppose à une ingénierie plus classique du cahier des charges initial rendant compte d'un besoin et d'une réalisation *d'un seul jet* suivant ce cahier des charges. Ce mode d'ingénierie est rendu possible par la dimension calculatoire du numérique qui permet la reconfiguration automatique de la ressource sans re-création manuelle du contenu. Toutefois, le paramétrage de la reconfiguration exige une intervention humaine pour rendre compte des contextes d'usage visés. L'adaptation automatisée de la ressource est *contrôlée* par une description humaine formalisée dans le cadre d'un modèle de la ressource.

On notera que cette approche progressive par augmentation présente deux points sensibles : la révision et la rupture. La *révision* ne s'inscrit plus dans le processus d'augmentation, mais dans un retour sur ce qui a été fait. Elle dénote soit un abandon, soit un changement de pratique. Par exemple il est décidé de ne plus délivrer d'études de cas réels, contrairement à une volonté initiale exprimée, parce qu'on s'est rendu compte que leur formulation était trop délicate, ou bien de remplacer ces études de cas par des exemples, moins coûteux à produire. Les ressources documentaires déjà existantes doivent alors être reprises pour correspondre aux nouvelles préconisations. Cela est généralement automatisable en

totalité, s'il s'agit bien d'un changement de pratique, sans erreur de modélisation en amont. On ajoutera qu'une façon d'éviter au maximum les révisions est bien de maintenir une initialisation minimum que l'on enrichit au fur et à mesure de besoins avérés, plutôt qu'une initialisation trop « prédictive » qui risque de donner lieu à des changements d'avis. La *rupture*, quant à elle, marque un changement plus profond de pratique, qui ne peut non plus être traitée par augmentation. Par exemple une pédagogie par résolution de problèmes est adoptée pour remplacer une pratique plus académique ; les ressources documentaires doivent alors être refondues, ce processus sera généralement au mieux semi-automatisé et demandera une intervention manuelle. Ces deux problèmes renvoient, entre autres, aux problèmes de changement de schéma en ingénierie documentaire. On remarquera que ces deux points, s'ils marquent les limites de l'approche par augmentation, ne la réfutent pas, puisqu'elle est dans ces deux cas, *au pire*, aussi mauvaise qu'une approche classique.

Avant de développer plus avant les modalités technologiques et méthodologiques pour mettre en place une telle ingénierie, nous proposons un exemple récapitulatif de la démarche générale.

9.4.2. Illustration de la démarche générale

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<ExerciceSynthese titre="Somme des angles d'un triangle">
  <entete>
    <identification>
      <date>11/05/2005</date>
      <version>1.0</version>
      <auteur type="individu">
        <nom>Crozat</nom>
        <prenom>Stéphane</prenom>
      </auteur>
    </identification>
  </entete>
  <corps>
    <enonce>
      <texte>
        <paragraphe>Soit un triangle rectangle disposant d'un angle de30°.
        </paragraphe>
        <paragraphe>Donnez la valeur des autres angles du triangle.</paragraphe>
        <paragraphe>On notera que la somme des angles d'un triangle est égale
          180°.</paragraphe>
      </texte>
    </enonce>
  </corps>
</ExerciceSynthese>
```

Figure 9.3. Inscription (XML) d'une ressource exercice pour un support papier destiné à un usage en présentiel

Soit une ressource⁴⁶ destinée à un exercice pour un enseignement de mathématiques en classe de 6^e en présentiel, le support de travail étant le papier. La description proposée (voir figure 9.3) est suffisante pour son usage. Par application d'un algorithme (moteur de publication papier du modèle Quadra dans SCENARI), on obtient un fichier PDF prêt à l'impression (voir figure 9.4).

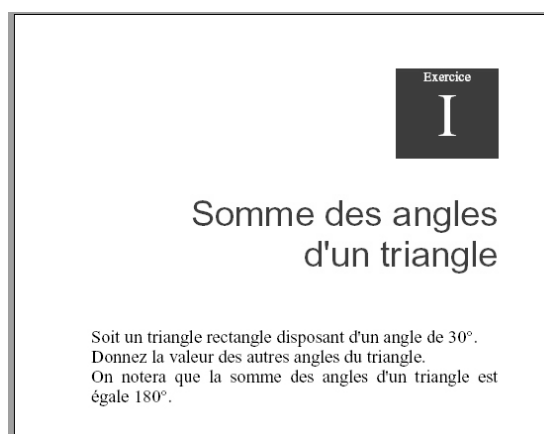


Figure 9.4. Publication de la ressource en un document PDF pour un usage en classe

Soit à présent une nouvelle exploitation de la ressource par réutilisation, mais pour un contexte de formation à distance, *via* une plate-forme de gestion de formation (ou LMS : *Learning Management System*). La ressource doit être enrichie pour répondre à ce nouveau contexte (voir figure 9.5) : les métadonnées sont complétées pour une meilleure accessibilité, la mise en exergue d'une question et d'un indice de réponse est réalisée pour favoriser la gestion de l'interaction et du suivi à distance, une solution doit être ajoutée pour préparer le travail de tutorat. Par application d'un second algorithme (moteur de publication HTML/SCORM du modèle Quadra de SCENARI ici), on obtient un site HTML (voir figure 9.6) empaqueté selon le standard IMS Packaging, doté d'une description LOM (voir figure 9.7), ainsi que d'une API SCORM⁴⁷ pour gérer l'interactivité avec l'apprenant (ici la prise de note dans la zone gauche et la réponse à la question). Notons que l'action du tuteur pourra se manifester par l'activation de l'indice, puis de la solution.

46. Cet exemple a été réalisé avec une chaîne éditoriale SCENARI (voir section 9.5).

47. API : Application Programming Interface ; pour SCORM, voir paragraphe 9.6.2.


```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<ExerciceSynthese titre="Somme des angles d'un triangle">
  <entete>
    <identification>
      <date>11/05/2005</date>
      <version>1.1</version>
      <auteur type="individu">
        <nom>Crozat</nom>
        <prenom>Stéphane</prenom>
      </auteur>
    </identification>
    <motscles>
      <motitem>Triangle</motitem>
      <motitem>Angle</motitem>
      <motitem>Rectangle</motitem>
    </motscles>
    <objectifspedagogiques>
      <objitem>Connaitre les propriétés des triangles</objitem>
      <objitem>Savoir faire des hypothèses</objitem>
    </objectifspedagogiques>
    <niveau contextepedagogique="primaire">6ème</niveau>
    <volumehoraire>15 minutes</volumehoraire>
  </entete>
  <corps>
    <enonce>
      <texte>
        <paragraphe>Soit un triangle rectangle disposant d'un angle de 30°.</paragraphe>
      </texte>
    </enonce>
    <question cle="A1">
      <textesimple>
        <p>Donnez la valeur des autres angles du triangle.</p>
      </textesimple>
    </question>
    <indices>
      <indiceitem refclequestion="A1">
        <texte>
          <paragraphe>On notera que la somme des angles d'un triangle est égale à 180°.</paragraphe>
        </texte>
      </indiceitem>
    </indices>
    <solutions>
      <solutionitem refclequestion="A1">
        <information>
          <texte>
            <paragraphe>Un triangle rectangle possède toujours un angle de 90°. Le troisième angle fait donc  $180 - 90 - 30 = 60^\circ$ .</paragraphe>
          </texte>
        </information>
      </solutionitem>
    </solutions>
  </corps>
</ExerciceSynthese>

```

Figure 9.5. Nouvelle version de la ressource exercice, pour un support papier destiné à un usage en présentiel et pour un usage à distance via une LMS

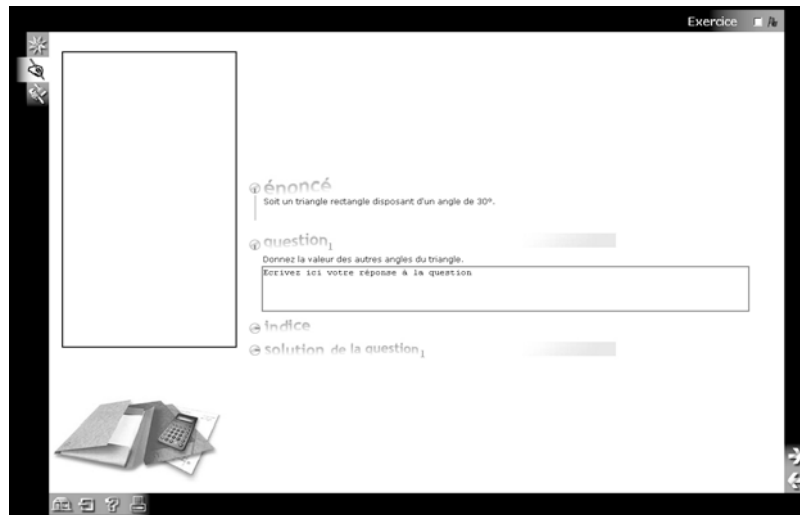


Figure 9.6. Publication de la ressource en HTML avec une API SCORM pour dialoguer avec une LMS

```
<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1" ?>
<!--Descriptif LOM généré par SCENARI - Ver. 1.0-->
<lom xmlns="http://ltsc.ieee.org/xsd/LOM"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchemainstance"
xsi:schemaLocation="http://ltsc.ieee.org/xsd/LOM lom.xsd">
  <!--Partie générale du descriptif LOM-->
  <general>
    <title>
      <string language="fr">Somme des angles d'un triangle</string>
    </title>
    <language>fr</language>
    <keyword>
      <string language="fr">Triangle</string>
      <string language="fr">Angle</string>
      <string language="fr">Rectangle</string>
    </keyword>
    <structure>
      <source>LOMv1.0</source>
      <value>hierarchial</value>
    </structure>
    <aggregationLevel>
      <source>LOMv1.0</source>
      <value>3</value>
    </aggregationLevel>
  </general>
  <lifeCycle>
    ...
```

Figure 9.7. Extrait du fichier de description LOM généré automatiquement et empaqueté selon le standard IMS Packaging

On notera à travers cet exemple que l'enrichissement de la ressource par sédimentation des couches de description rend l'exploitation multi-usages de plus en plus immédiate : on ajoute uniquement ce qui manque à l'exploitation dans le nouveau contexte, et ces ajouts peuvent être, à leur tour, mobilisés pour atteindre de nouveaux contextes. En cela, l'approche est dynamisante pour la communauté partageant les ressources.

9.4.3. Principes technologiques et méthodologiques

La séparation entre ressources calculables et documents utilisables pose les questions technologiques suivantes : quels formats pour inscrire des contenus ? Quels formats pour inscrire les descriptions supplémentaires ? Comment modéliser ces descriptions ? Quels formats de restitution documentaire ? Quels standards d'exploitation ? On parlera de *standard* ou de format *d'exploitation* pour les standards ou formats qui concernent les documents manipulés par les utilisateurs finaux, par opposition aux standards et formats *de création*, qui servent à créer les ressources dont la transformation mènera à ces documents (par exemple, SCORM et HTML sont respectivement un standard et un format d'exploitation).

Le cadre général que nous proposons pour répondre à ces questions est celui de l'ingénierie documentaire, qui se fonde sur une *abstraction des structures documentaires* pour la *manipulation calculatoire des contenus*. Ce cadre est instrumenté aujourd'hui par les technologies XML qui permettent de combiner les contenus et les descriptions des contenus par *surimposition de balises* (balises spatiales au sein des textes, balises temporelles pour les médias audiovisuels, etc., voir paragraphe 9.2.3.2).

Nous préconisons donc la solution générale suivante pour l'inscription des contenus et de leurs descriptions :

- pour l'inscription des contenus encodables sous format alphabétique (textes, tableaux, etc.) :
 - un langage XML, sur la base d'un *schéma ad hoc* (tel que dans l'exemple précédent, voir figure 9.5), mais éventuellement standardisé (Docbook par exemple) favorisant une description abstraite des structures documentaires, par opposition à un format de mise en forme (comme HTML ou RTF par exemple),
 - une description par intégration des contenus dans des balises XML, orientée vers l'exploitation documentaire (voir par exemple la structure `<enonce><texte>...</texte></enonce>` de la figure 9.5) ;
- pour l'inscription des autres contenus (photographies, vidéos, enregistrements sonores, etc.) :

- choisir des formats standard, binaires (JPEG, MPEG, etc.) ou XML lorsque c'est possible (SVG par exemple),
- ajouter une description, par adjonction d'un fichier XML référençant des ancrages dans ces ressources (zones spatiales pour les images, segments temporels pour les vidéos, etc.) augmentées des informations pour l'exploitation documentaire (voir par exemple le standard de description audiovisuel MPEG-7) ;
- dans les deux cas, des métadonnées de description sont recommandées afin de rendre compte du contexte de création et d'usage du contenu. Ces métadonnées sont intégrables au sein du contenu XML, encore une fois en ayant recours à un standard donné (Dublin Core, LOM par exemple), bien que nous recommandions plutôt l'usage d'un format local si les besoins sont plus spécifiques (format qui sera transformé, à la publication, dans le format standard correspondant à chaque cadre d'exploitation, voir paragraphe 9.6.2).

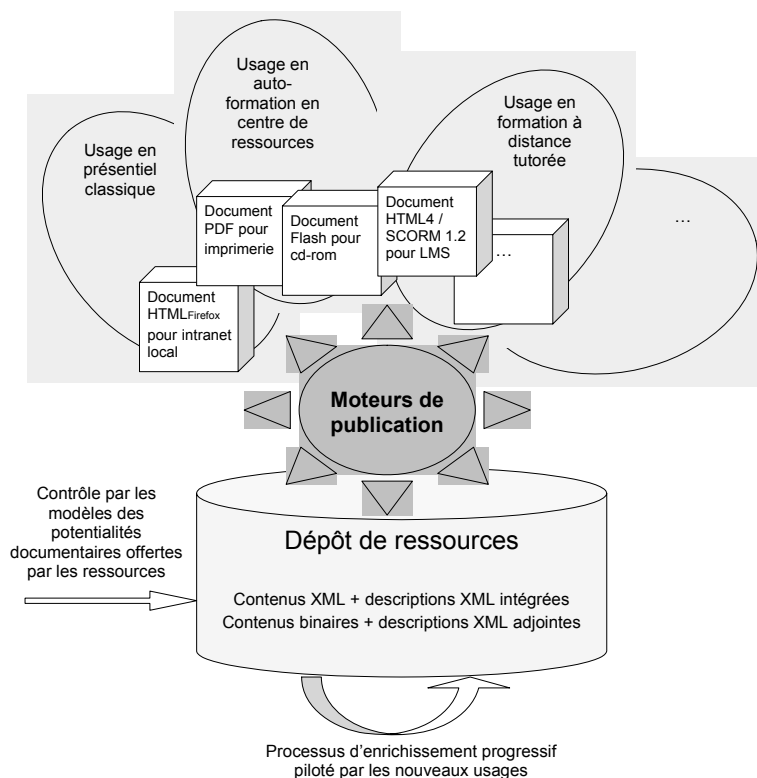


Figure 9.8. Principes généraux pour l'ingénierie des dépôts de ressources

L'abstraction des structures documentaires, associée aux possibilités calculatoires de manipulation des formalisations XML, rend la question des formats et des standards d'exploitation triviale sur le plan conceptuel, la question des algorithmes informatiques de transformation restant une question technique importante étudiée par les acteurs du « monde XML ». En effet il est possible, étant donnée une description suffisamment riche, d'obtenir *toute* mise en forme requise par inférence sur les abstractions documentaires. Par exemple (voir paragraphe 9.4.2), à partir d'une description XML adaptée, il est possible d'obtenir une mise en forme documentaire en format PDF pour l'impression, une autre en format HTML pour l'exploitation sur écran, d'empaqueter l'une ou l'autre selon un standard d'échange IMS Packaging, d'ajouter une API SCORM et une description IMS Learning Design pour le suivi apprenant ou une description LOM pour l'indexation et la recherche. En fait, peu importent les formats et standards d'exploitation, seule importe l'*indépendance* (obtenue par abstraction) que confèrent les modèles par rapport à ces formats et standards.

Etant donnée une description suffisamment riche de la ressource documentaire, il est possible de la traiter avec n'importe quel format d'exploitation. La richesse de cette description dépendant du modèle, c'est sur celui-ci que repose en grande partie la pertinence de l'ingénierie et c'est lui qui concentre la complexité de l'approche. Ce problème est classique en informatique, la modélisation d'une base de données par exemple est un art subtil, encadré par des méthodes de conception comme MERISE et les outils informatiques de haut niveau que sont les SGBD (Systèmes de Gestion de Bases de Données). Ces méthodes et outils posent des principes assurant la rigueur et la reproductibilité des démarches. A l'instar des bases de données, le documentaire a besoin de méthodes et de systèmes de haut niveau pour encadrer la conception des modèles. Mais ces méthodes et outils sont encore aujourd'hui largement en construction [KRO 04, CAR 01, JEN 03]. Nos travaux se concentrent sur ce problème et se concrétisent par le développement du système SCENARI pour la conception de chaînes éditoriales. L'enjeu est de compléter la logique syntaxique de *modélisation des structures documentaires* proposée actuellement par les schémas, de réaliser un système de haut niveau facilitant l'*opérationnalisation des modèles documentaires* et, sur ces deux bases, de développer une *approche méthodologique* adéquate.

9.5. Le système SCENARI, un terrain de mise en œuvre

9.5.1. SCENARIchain

Depuis 1999, l'unité d'innovation Ingénierie des Contenus et Savoirs (ICS) de l'université de technologie de Compiègne mène un ensemble de projets au sein de

multiples partenariats sur la thématique de la production industrialisée de contenus, en particulier en contexte pédagogique [ICS]. L'ensemble de ces projets a permis le développement d'une application informatique transversale pour le déploiement de chaînes éditoriales, SCENARIchain, permettant la production contrôlée et structurée de contenus dans un objectif d'exploitation multi-usages. Une *chaîne éditoriale* est un procédé informatique de création de contenus basé sur la séparation des formats de stockage et des formats de publication : les formats de stockage décrivent la structure du fonds documentaire, et les formats de publication la forme physique du document vu par l'utilisateur. Le fonds documentaire est ainsi décrit selon trois aspects : sa *structure* logique (ordre des paragraphes, grands chapitres, différentes parties, etc.), le *sens* donné au contenu (titre, paragraphe important, définition, remarque, exemple, etc.) et sa *nature* (texte, vidéos, sons, schémas, animations, etc.). Le formalisme informatique utilisé pour la description est XML, facilement lisible et modifiable. La création du contenu s'effectue indépendamment de la mise en forme des supports multimédias finaux que l'on souhaite obtenir. Ce sont les programmes informatiques qui, à partir du contenu documentaire structuré, génèrent ensuite automatiquement les différents produits multimédias souhaités dans les formats de publication adaptés : site Web (HTML), document papier (PDF), présentation (Flash), etc. L'intérêt de ce procédé est d'obtenir une production et une gestion rationalisées des objets multimédias réalisés. Grâce au modèle documentaire, tous les documents d'une organisation sont structurés de la même manière. Cette homogénéisation est un marqueur d'identité et facilite la lecture des documents, quel que soit leur support de diffusion. De plus, si un élément du contenu doit être révisé, il est modifié une seule fois dans le fonds documentaire centralisé et cette modification se répercute automatiquement sur tous les supports multimédias qui en sont issus. Le fonds documentaire est durable car la mise à jour des contenus reste indépendante des évolutions technologiques (nouvelles versions de logiciels bureautique, évolution des formats du Web, etc.). L'organisation dispose toujours de son contenu de référence dans un format XML pérenne, qui décrit sa logique et sa sémantique.

9.5.2. SCENARIBuilder

La mise en place d'une chaîne éditoriale demande une expertise technologique lourde et coûteuse. Elle est jusqu'alors rentable principalement dans des contextes pour lesquels la création de documents est stratégique et volumineuse. Le projet EPICURE⁴⁸ nous a permis d'optimiser les différentes étapes de la mise en place d'une chaîne éditoriale afin de rendre ce procédé intéressant pour de petites

48. Le projet EPICURE [EPI] a été mené en 2004 et 2005 en partenariat avec l'Ina [INA] et l'Ircam [IRCAM], avec la participation financière du Conseil régional de Picardie.

structures ayant des contenus documentaires modestes mais des exigences et une utilité professionnelle fortes. Grâce à l'outil SCENARIBuilder développé au cours de ce projet, on peut en effet paramétrer la chaîne éditoriale SCENARIchain pour un usage donné.

Le système SCENARI peut donc être vu comme un ensemble de primitives logicielles (ou composants), qui permettent de réaliser de nombreuses applications documentaires différentes. Une primitive est un composant logiciel générique et paramétrable associé à une entité documentaire fondamentale, encapsulant les principes d'édition, de gestion et de publication pour cette entité. L'ensemble des primitives constitue le *framework*. Pour mettre en place une chaîne éditoriale, il faut paramétrer ces primitives pour créer des modèles avec l'outil SCENARIBuilder (voir la figure 9.9 pour un exemple de primitive et de son paramétrage).



Figure 9.9. Exemple simplifié de paramétrage d'une primitive de modélisation et de transformation dans SCENARIBuilder, avec résultat dans SCENARIchain

Le modèle ainsi conçu avec SCENARIBuilder est ensuite exécuté dans SCENARIchain. Les auteurs peuvent alors produire des contenus conformes à ce modèle et publier les documents prévus sur les supports à destination de leurs lecteurs.

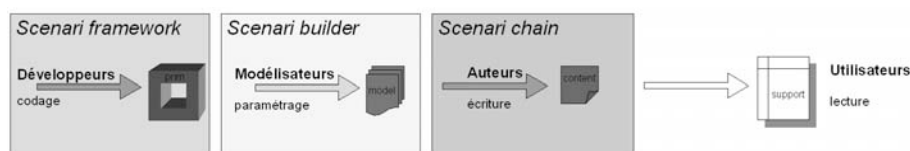


Figure 9.10. SCENARI : de la création d'application à la création de contenu

SCENARI est un logiciel libre depuis 2005. Le projet « scenari-platform »⁴⁹ s'attache à présent à structurer et à élargir une communauté d'utilisateurs autour de la réalisation d'applications de chaînes éditoriales [SCE]. Son objectif est de favoriser la généralisation de bonnes pratiques documentaires, en rendant industriellement réaliste la mise en place de chaînes éditoriales, afin de faciliter l'émergence de fonds documentaires structurés et l'exploitation économiquement rationalisée de ces fonds. Il vise à être, aux chaînes éditoriales, ce que les SGBD sont aux bases de données.

9.5.3. Quelques projets caractéristiques

La mission d'ICS (voir paragraphe 9.5.1) est le développement des usages de l'informatique documentaire en contexte réel : grands comptes, petites entreprises et établissements d'enseignement supérieur. Cette unité d'innovation a principalement travaillé à l'origine sur les documents pédagogiques. ICS développe deux axes parallèles et complémentaires : le développement technologique autour de la plateforme SCENARI et le développement méthodologique à travers l'accompagnement de ses partenaires. Si le propos de cet article n'est pas de revenir sur l'ensemble des projets menés depuis 1999, nous proposons quelques exemples de mise en œuvre afin d'illustrer ce texte.

De 1999 à 2002, le projet Esp@ss Formation a réuni la société Axa, l'Association pour l'enseignement des assurances (AEA) et l'Institut polytechnique d'enseignement comtois (ICEP), afin de mettre à disposition d'Axa les contenus de ces deux centres de formation. Une centaine de modules ont alors été réalisés, aujourd'hui portés à 200, soit environ 2 000 heures de formation et 20 000 pages de contenus. Les modules produits respectent tous le même schéma documentaire, ils sont recomposés et mis en forme en fonction des cadres d'usage (formation initiale diplômante à distance à l'AEA, formation courte en stage chez Axa, etc.). La chaîne

49. Projet « scenari-platform : système de conception de chaînes éditoriales pour les contenus numériques, adaptables, réutilisables et interactifs », Réseau national de technologies logicielles (2006-2007).

éditoriale est utilisée ici comme procédé de gestion de masse et de maintenance dans un cadre multi-usages.

Depuis 2003, le projet PNFI Numérique, développé avec la SNCF, consiste à accompagner la refonte de la formation « infrastructure » destinée aux jeunes cadres de l'entreprise. La récupération des contenus existants dans le cadre d'une chaîne éditoriale, réifiant les pratiques initiales, permet d'appuyer les mutations en cours par la modification progressive des schémas, des contenus et des moteurs de publication, pour répondre au fur et à mesure aux mutations du dispositif de formation. La chaîne éditoriale est ici utilisée comme outil d'évolution et de synchronisation des documents dans le cadre de pratiques changeantes.

Le projet SCENARIsup [SUP] a consisté, entre 2003 et 2006, à créer un réseau d'universités et de grandes écoles autour du déploiement d'une chaîne éditoriale SCENARI (dite AcadSup). Une vingtaine d'établissements font aujourd'hui partie du réseau. La chaîne éditoriale, dans ce contexte, a servi à la fois de levier pour la montée en volume des créations au sein des cellules TICE (cellules généralement chargées de la création des contenus numériques) et de catalyseur pour l'échange de pratiques dans ce contexte. La communauté de créateurs de contenus cherche actuellement à être complétée par une communauté de créateurs de modèles, afin de mieux intégrer les spécificités et les évolutions des pratiques. Une communauté, contrainte à l'usage d'un même modèle documentaire, risque en effet d'être sclérosée par ce modèle, lorsqu'elle ne peut le faire évoluer rapidement. Les évolutions récentes de SCENARI, menées dans le cadre des projets EPICURE et scenari-platform, vont dans ce sens.

Au sein d'UNIT [UNI], université numérique thématique de l'ingénierie et des technologies, le projet « chaînes éditoriales/schéma pivot » [CRO 06] vise à outiller un réseau de communautés : l'enjeu est de permettre aux utilisateurs de diverses chaînes éditoriales d'échanger des contenus structurés grâce à un schéma pivot, c'est-à-dire un modèle commun de documents rendant compte des pratiques les plus courantes. Cette expérience est intéressante pour mettre en évidence l'articulation entre les contraintes liées à la nécessité de stabilité pour l'échange de documents au sein d'un groupe étendu et les contraintes liées à l'évolution de chaque sous-communauté avec ses pratiques propres et différenciées.

Ces quelques exemples, qui rendent compte d'usages avérés, illustrent les apports d'une approche de type chaîne éditoriale pour la constitution de dépôts de ressources : accès facilité à une masse critique, maintenance et accompagnement des évolutions des usages, outils de *réification* des échanges de pratiques, etc. Ces projets ont également mis en évidence les difficultés d'une telle approche qui

déstabilise considérablement les pratiques en place. Au-delà des concepts et des technologies, qui montrent aujourd'hui leur efficacité en situation réelle, l'enjeu réside essentiellement dans l'*accompagnement* au changement et dans son outillage méthodologique pour aider à l'émergence d'organisations nouvelles.

9.6. Quelques prises de position

L'ambition de ce texte est de montrer que la démarche proposée par l'ingénierie documentaire, que nous pouvons résumer par la séparation entre les formats de création et les formats d'exploitation, n'est pas simplement une démarche possible, mais une démarche à intégrer *nécessairement* à tout processus d'ingénierie qui vise l'exploitation multi-usages de ressources en général, et la *conception de dépôts de ressources* réutilisables en particulier.

Nous avons déjà abordé le problème de la non différenciation entre les formats et standards de création et ceux d'exploitation (voir [CRO 04] par exemple), nous en proposons ici une courte reformulation.

9.6.1. L'aporie des approches non ou mal calculatoires

Actuellement, les approches dominantes sont essentiellement représentées par les outils de bureautique (traitements de texte, générateurs de présentations, outils de rédaction HTML, etc.) et les outils dits de *rapid e-learning*⁵⁰. Dans les deux cas, la limitation de ces outils vient de la création native dans un format d'exploitation (HTML, RTF, etc.), voire, pour certains outils se revendiquant de la « galaxie XML », de la création dans un format n'instrumentant pas (ou pas suffisamment) le principe d'abstraction documentaire. C'est finalement le principe d'*indépendance* vis-à-vis des formats et standards d'exploitation qui est en cause (comme la création « SCORM native » par exemple). Ces approches n'autorisent donc pas l'automatisation de l'exploitation multi-usages, et impliquent une adaptation par re-création manuelle à chaque réutilisation. Notre thèse est que ce cadre est aporétique – la contradiction insoluble étant de vouloir créer des ressources réutilisables et, en même temps, d'utiliser des procédés qui oblitérent cette réutilisabilité – et qu'il ne peut permettre, dans le cas général, à des communautés de pratique de se fédérer largement autour de la réutilisation de ressources.

50. Outils simplifiant la création de contenus de formation, pour le support Internet en général, et insistant sur l'attractivité graphique – voire sur une expertise pédagogique – de la mise en forme, pour se différencier des outils bureautiques.

Les conséquences en sont selon nous importantes, puisque, malgré l'impression de facilité que donnent ces outils lors de la création initiale de la ressource, ils enferment les potentialités de manipulation calculatoire, et donc les possibilités de développement dynamique de pratiques nouvelles. Les pratiques ne pouvant s'appuyer facilement sur les ressources préalables, ni capitaliser leurs apports au sein de ces ressources, elles ont tendance à évoluer très lentement, à cause du poids de la re-création permanente. Nous ne prétendons pas que l'évolution lente des pratiques trouve sa cause uniquement ici, mais bien qu'il s'agit d'un des facteurs limitant cette évolution. Nous ne prétendons pas non plus que les approches calculatoires ne posent pas également des problèmes (comment bien modéliser ou comment guider un processus d'écriture facilitant l'abstraction des structures documentaires ?), mais ces problèmes sont liés à un état de l'art méthodologique et technologique et nous pensons qu'ils pourront être résorbés par les progrès de la recherche et du développement dans le domaine de l'ingénierie documentaire.

9.6.2. Une approche calculatoire pour la standardisation

L'enjeu de la *normalisation* pour les documents pédagogiques est de faire en sorte que les contenus créés soient utilisables dans le plus grand nombre possible de contextes d'usage différents, pour en rentabiliser le développement⁵¹. L'approche proposée, de séparation des formats de création et des formats d'exploitation, s'applique également aux *standards*.

La première conséquence de cette vision est que l'on préconisera plutôt des *normes globales spécialisables* selon des normes plus locales, selon les principes de profils d'application par exemple. Ces *normes locales* rendent mieux compte d'un spectre d'usage possible dans un contexte donné et permettent une meilleure projection dans un champ fonctionnel. Les approches de standardisation globale seront toujours, soit un plus petit dénominateur commun insuffisant (Dublin Core), soit une agrégation exhaustive difficile à utiliser (Docbook), soit un point de vue, par essence spécifique, et donc difficile à généraliser (SCORM). Dublin Core, Docbook et SCORM sont, par contre, des exemples de bases solides pour l'élaboration de standards locaux (respectivement par augmentation, réduction ou dérivation) :

- Dublin Core est un modèle standard très général de description de document par métadonnées. Il est facile à mobiliser, mais reste très éloigné du contexte d'usage. Il peut être *augmenté* (ou étendu) pour convenir à un contexte plus précis (DC-Education par exemple, ou toute autre extension encore plus locale). Le moteur

51. Voir par exemple [PER 06] pour une présentation synthétique des normes et standards en EIAH, concernant en particulier Dublin Core et SCORM.

de publication pourra aisément réduire à nouveau l'extension pour retrouver un cadre d'interopérabilité plus général, lorsque les conditions d'exploitation du document l'exigeront ;

– Docbook [DOC] est un schéma de structuration documentaire par balisage très complet – bien que ciblé sur la documentation technique à l'origine – qui permet pratiquement de traiter tout type de document. Mais, en tant qu'agrégation de besoins issus de contextes d'usage très divers, il est très complexe, rapporté à chacun de ces contextes pris isolément. Il peut être *réduit* pour chacun de ces contextes : on ne travaille alors qu'avec un sous-ensemble des éléments du schéma, en simplifiant éventuellement la structure imposée par celui-ci lorsque c'est nécessaire. Ici encore, retrouver le schéma standard à partir d'un schéma simplifié peut être fait automatiquement lors de la phase de publication, si le contexte d'usage le requiert (pour une publication standardisée fondée sur Docbook par exemple) ;

– SCORM est un principe de description et d'« emballage » (*packaging*) pour les documents pédagogiques, construit par intégration de plusieurs autres principes standards. Sa construction est fortement ancrée dans une vision particulière du document pédagogique : il est délivré par des LMS (*Learning Management Systems* ou plates-formes de formation), dans un cadre de formation à distance, avec une relation à l'apprentissage se limitant souvent à la lecture de documents et aux évaluations de type QCM (questions à choix multiples). Cette vision est fortement héritée du contexte d'émergence de SCORM (aviation et armée américaines), elle est réductrice par rapport aux nombreux autres cas où le document pédagogique peut jouer des rôles différents (études de cas, simulation, etc.). Ceci étant dit, SCORM peut être utilisé comme base pour un standard local d'interopérabilité avec les LMS. La publication pourra traiter plusieurs cas de figures : publication strictement SCORM dans une version donnée pour assurer une interopérabilité *a priori* avec les LMS répondant à cette même version, mais aussi (et surtout), publications d'inspiration SCORM plus adaptées à une LMS particulière et à son contexte d'usage.

La seconde conséquence de notre approche est que les ressources numériques doivent être conçues de façon autonome par rapport aux standards d'exploitation, selon des formats de création (des schémas XML d'abstraction documentaire typiquement) qui ne sont donc pas les standards d'exploitation (HTML + SCORM par exemple). Ce principe n'est qu'une extension du principe de calcul d'une mise en forme de lecture à partir d'une structure documentaire abstraite. Il conduit donc à une *publication multistandards* comme sous-ensemble de la notion de publication multi-usages. Bien entendu, les contraintes des standards visés (à l'instar des contraintes des contextes d'usage visés) doivent être intégrées dans les processus de conception des modèles documentaires. Elles le sont alors à un niveau de *spécifications fonctionnelles* (ce que le modèle doit rendre comme service) et non de

spécifications techniques (la façon dont il doit le rendre). C'est la publication qui prendra en charge la correspondance entre la formalisation propre au modèle documentaire et les contraintes d'expression technique propres au standard.

Cette approche réfute donc quelques positions souvent défendues (par les industriels du métier notamment). Premièrement, un standard d'exploitation (SCORM par exemple) n'est pas à lui seul un critère *suffisant* de réutilisation. Il n'aborde la réutilisation que d'un point de vue technologique, mais passe outre le problème, tout aussi fondamental (sinon plus), d'adaptation au contexte d'usage. La réutilisation à *l'identique* d'une ressource implique un *renoncement* du point de vue de l'usage. Deuxièmement, les standards ou normes d'exploitation ne *doivent pas* être les standards de création. La confusion entre les deux entraîne l'enfermement des contenus dans un état des lieux (toujours ponctuel) de la standardisation, et l'impossibilité pour ces contenus de suivre les évolutions (inévitables) de ces standards. Au contraire, la transformation d'une ressource inscrite selon un format abstrait vers un format exploitable, respectant un standard donné à un instant t, est une tâche calculatoire, qui peut en conséquence suivre l'évolution des standards. Enfin, un standard d'exploitation (HTML + SCORM par exemple) n'est pas en général un bon format de création (voir paragraphe 9.6.1). La seule autre position qui permettrait de sortir de la contradiction entre standards d'exploitation difficilement manipulables en création – et donc en maintenance – et évolution des pratiques et des technologies – donc des standards d'exploitation – serait de figer ces standards et de renier ces évolutions, pour pérenniser les contenus produits selon ces standards : cette posture n'est évidemment pas tenable.

Les multiples et fortes spécificités de chaque contexte ne présentent que des besoins communs très restreints, il est donc difficile de parvenir à des standards à la fois généraux et consensuels, d'où des standards généraux mal adaptés (LOM, SCORM) et l'orientation croissante vers des profils d'application ou des standards locaux. Nous proposons de voir ces standards locaux comme des standards d'exploitation, qui fixent certains usages dans certains contextes. Cette position étant adoptée, l'enjeu est de se doter de formats de création qui permettent d'obtenir alternativement un standard d'exploitation ou un autre en profitant des propriétés calculatoires du numérique. L'abstraction documentaire des ressources et le format XML, sur lequel est basée son instrumentation, permettent de construire une solution générale à ce problème. Elle offre l'indépendance technologique et le niveau d'abstraction nécessaire à la publication automatique de documents, exploitables selon des formats standardisés depuis des ressources créées à cet effet.

Nous proposons donc que les standards d'exploitation soient distincts des formats de création et que les standards d'exploitation et les formats de création

soient locaux et variés, plutôt qu'uniques et uniformisés. La multiplicité des formats et des standards rendrait toute interopérabilité irréaliste dans un cadre traditionnel (impossible d'imaginer qu'ampoules et douilles électriques ne répondent pas à un très petit ensemble de formats), mais les propriétés calculatoires du numérique la rendent tout à fait possible. On l'aura compris, notre propos ne porte pas sur la critique de tel ou tel standard, mais propose par contre de mettre en avant la question de la calculabilité des ressources pour aider à traiter globalement la question. Ainsi, il nous semble au moins aussi urgent de s'attacher à promouvoir des ressources réellement réutilisables, car adaptables, que de travailler sur l'indexation de ressources, qui certes seront bientôt aisées à trouver, mais seront non ou mal réutilisables, et donc poseront finalement, si elles ne la posent pas déjà, la question de l'intérêt même d'une recherche dans un dépôt.

9.7. Conclusion

Ce texte avait pour ambition de montrer que les procédés issus du génie documentaire apportaient des fondements structurants pour repenser l'ingénierie des ressources pédagogiques, en particulier dans un objectif de mise en dépôt pour une réutilisation dans des contextes variés. La démarche proposée, consistant, en résumé, à séparer des formats de création abstraits de formats d'exploitation calculés depuis ces derniers, a des implications pratiques, notamment sur la question des outils de création de contenu et sur la question des standards portant sur les contenus de formation. Elle renvoie également à un programme de recherche en génie documentaire, dont la finalité est de développer des technologies et des méthodologies permettant de généraliser dans la pratique les concepts exposés. Notre action s'inscrit dans ce cadre, avec le développement du procédé SCENARI, depuis 1999, et sa mise en usage dans des contextes de formation professionnelle ou académique. L'ensemble de ces terrains nous permet d'aborder les questions théoriques et pratiques relatives à la modélisation documentaire, à la rationalisation des logiques de publication multi-supports, multi-standards et donc finalement multi-usages, à la gestion de la maintenance et de l'amélioration continue de réseaux de ressources numériques ou à l'accompagnement des processus d'écriture. Ils nous interrogent également sur l'*intégration* des réponses à ces questions dans les *dispositifs technologiques* actuels : systèmes de gestion de formation, système de gestion de contenus pédagogiques et dépôts de ressources, environnements numériques de travail et portails documentaires, bibliothèques numériques, systèmes de catalogage et de recherche, outils de création, etc. Ils interrogent enfin et surtout les pratiques, mettant en évidence, d'une part, les gains promis, mais, d'autre part, les résistances complexes aux changements induits.

9.8. Bibliographie

- [BAC 99] BACHIMONT B., « Intelligence artificielle et écriture dynamique : de la raison graphique à la raison computationnelle », dans Petitot J. (dir.), *Au nom du sens*, Grasset, 1999.
- [BAC 04a] BACHIMONT B., Arts et sciences du numérique : ingénierie des connaissances et critique de la raison computationnelle, Mémoire de HDR, Université de Technologie de Compiègne, 2004.
- [BAC 04b] BACHIMONT B., CROZAT S., « Préconisations pour une instrumentation numérique des contenus documentaires : leçons tirées de cinq ans d'expérience dans l'enseignement », *Actes de la conférence IC'2004*, 2004.
- [BOU 01] BOURDA Y., « Objets pédagogiques, vous avez dit objets pédagogiques ? », *Les Cahiers GUTenberg*, vol. 39-40, 2001, disponible sur le Web : <http://www.gutenberg.eu.org/pub/GUTenberg/publicationsPDF/39-bourda.pdf> (consulté en décembre 2006).
- [CAR 01] CARLSON D., *Modélisation d'applications XML avec UML*, Eyrolles, 2001.
- [CLE 98] CLEMENT J., « Du livre au texte : les implications intellectuelles de l'édition électronique », *Sciences et Techniques Educatives*, vol. 5, n° 4, p. 401-409, 1998.
- [CRO 02] CROZAT S., Eléments pour la conception industrialisée des supports pédagogiques numériques, Mémoire de thèse, Université de Technologie de Compiègne, 2002.
- [CRO 04] CROZAT S., « Les systèmes de production et de gestion des contenus pédagogiques numériques : vers une nouvelle approche », *Algora en Ligne*, vol. 71, 2004, [en ligne] : http://ressources.algora.org/frontblocks/news/papers.asp?id_papers=1264 (consulté en décembre 2006).
- [CRO 06] CROZAT S., VANOIRBEEK C., CUBERO-CASTAN M., QUEYRUT J., DELESTRE N., GAUTRON P., UNIT – Projet Chaînes éditoriales, Lot 1 : Schéma pivot : standardisation des formats documentaires pour les chaînes éditoriales d'UNIT, Working draft, [en ligne] : <http://www.unit-c.fr/public/ressourcesunit/> (consulté en décembre 2006).
- [DOC] DOCBOOK : <http://www.docbook.org/> (consulté en décembre 2006).
- [EPI] EPICURE (Environnement générique de Production Interactive de Contenus Utilitaires) : <http://www.utc.fr/ics/epicure/> (consulté en décembre 2006).
- [FOR 99] FORTE E., « ARIADNE : une structure technologique et méthodologique pour l'enseignement ouvert et à distance tout au long de la vie », *Flash Informatique*, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, *Tique et puce à l'école*, numéro spécial été, 1999, disponible sur le Web : <http://ditwww.epfl.ch/SIC/SA/publications/FI99/fi-sp-99/index.html> (consulté en décembre 2006).
- [GOO 79] GOODY J., (trad. J. Bazin, A. Bensa), *La raison graphique, la domestication de la pensée sauvage*, Les Editions de Minuit, Paris, 1979.
- [ICS] UNITE D'INNOVATION INGENIERIE DES CONTENUS ET SAVOIRS (ICS), UTC : <http://www.utc.fr/ics/> (consulté en décembre 2006).

- [INA] INSTITUT NATIONAL DE L'AUDIOVISUEL : <http://www.ina.fr/> (consulté en décembre 2006).
- [IRC] INSTITUT DE LA RECHERCHE ET DE LA CREATION MUSICALES, centre Pompidou : <http://www.ircam.fr/> (consulté en décembre 2006).
- [JEN 03] JENSEN M., MØLLER T., PEDERSEN T., « Converting XML DTDS to XML diagrams for conceptual data integration », *Data & Knowledge Engineering*, vol. 44, p. 323-346, 2003.
- [KRO 04] KROCZEK F., Modélisation de structures documentaires : approches formelles et méthodologiques, Mémoire de DEA, Université de Technologie de Compiègne, 2004.
- [LAU 04] LAUBLET P., CHARLET J., REYNAUD C., « Introduction au Web Sémantique », *Information, Interaction, Intelligence*, Hors Série Web sémantique, vol. 4, n° 2, p. 7-20, 2004.
- [LAV 91] LAVE J., WENGER E., *Situated learning : Legitimate peripheral participation*, Cambridge University Press, Cambridge, 1991.
- [LIN 96] LINARD M., *Des machines et des hommes : apprendre avec les nouvelles technologies*, L'Harmattan, Paris, 1996.
- [PAS 01] DE LA PASSARDIERE B., GIROIRE H., « XML au service des applications pédagogiques », *Sciences et Techniques Educatives*, vol. 8, n° 1-2, p. 99-112, 2001.
- [PED 06] PEDAQUE R.T. *et al.*, *Le document à la lumière du numérique. Forme, texte, médium : comprendre le rôle du document numérique dans l'émergence d'une nouvelle modernité*, C&F Editions, Caen, 2006.
- [PER 06] PERNIN J.-P., « Normes et standards pour la conception, la production et l'exploitation des EIAH », dans Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 201-222, Hermès, Paris, 2006.
- [RTP] CNRS RTP 33 (RTP-DOC), Réseau Thématique Pluridisciplinaire « Documents et contenu : création, indexation, navigation » : <http://rtp-doc.enssib.fr/> (consulté en décembre 2006).
- [SAL 04] SALAÜN J.M., CHARLET J. (DIR.), *Le document numérique*, *Information, Interaction, Intelligence*, vol. 4, n° 1 (numéro thématique), 2004.
- [SCE] SCENARI, plateforme d'animation des utilisateurs : <http://scenari-platform.org/> (consulté en décembre 2006).
- [SEM] W3C, Technology and Society domain, Semantic Web Activity : <http://www.w3.org/2001/sw/> (consulté en décembre 2006).
- [STI 94] STIEGLER B., *La technique et le temps*, Editions Galilée, Paris, 1994.
- [SUP] SCENARI Sup, Unité d'innovation ICS, UTC : <http://www.utc.fr/ics/scenarisup/> (consulté en décembre 2006).
- [SVG] W3C, Scalable Vector Graphics : <http://www.w3.org/Graphics/SVG/> (consulté en décembre 2006).

- [TCH 02] TCHOUNIKINE P., « Pour une ingénierie des environnements informatiques pour l'apprentissage humain », *Information, Interaction, Intelligence*, vol. 2, n° 1, p. 59-95, 2002.
- [UNI] UNIT (université numérique ingénierie et technologie), portail du consortium : <http://unit-c.fr/> (consulté en décembre 2006).
- [WEB] WEB SEMANTIQUE, site francophone : <http://websemantique.org/> (consulté en décembre 2006).
- [WEN 98] WENGER E., *Communities of practice : Learning, meaning and identity*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
- [XML] W3C, Architecture domain, Extensible Markup Language (XML) : <http://www.w3.org/XML/> (consulté en décembre 2006).
- [XSL] W3C, Architecture domain, The Extensible Stylesheet Language Family (XSL) : <http://www.w3.org/Style/XSL/> (consulté en décembre 2006).

Chapitre 10

Communautés de pratique : auteures et utilisatrices des banques de ressources éducatives

10.1. Introduction

Notre contribution porte sur les potentialités et les contraintes du Web sémantique pour l'éducation et la formation, sous l'angle de l'approche instrumentale de la constitution d'un patrimoine éducatif au sein d'une communauté. Elle propose une réflexion *épistémologique*, c'est-à-dire portée sur des objets de connaissance interpellés par cette thématique : Web sémantique, banque de ressources éducatives, communauté de pratique.

Cette orientation est motivée par un besoin de revenir au sens originel de ces objets conceptuels afin de nous assurer de bien comprendre l'évolution de leur signification suscitée par la pratique. Cette pratique s'exerce au sein de diverses communautés engagées dans la réalisation d'environnements d'apprentissage informatisés. Ces regroupements sont formés de chercheurs et de praticiens provenant de domaines scientifiques différents dont, entre autres, les sciences de l'éducation, les didactiques des disciplines, les sciences humaines et sociales et l'informatique. Malgré leurs origines scientifiques diverses, ces chercheurs et praticiens sont actuellement animés par un même intérêt : la réutilisation et le

partage de ressources accessibles par le Web en vue de concevoir des *environnements d'apprentissage informatisés* [DOR 98] articulant à la fois distance et présence ou, encore, totalement à distance et en ligne, s'appuyant sur des technologies de l'information. Une collaboration viable entre ces chercheurs et praticiens nécessite la construction et l'évolution d'une compréhension commune des concepts de base du domaine dans lequel ils s'investissent.

Notre contribution vise donc à mettre en relation, dans une optique instrumentale [RAB 95], les concepts de Web sémantique, banque de ressources éducatives et communauté de pratique. Elle comprend deux parties. La première présente ces trois concepts en vue d'en développer la compréhension et d'en renforcer l'utilisation. La deuxième établit des liens entre les concepts introduits à la partie précédente, dans la perspective de mettre en exergue les potentialités et les limites du Web sémantique. Nous concluons cette partie en nous interrogeant sur les impacts réels du Web sémantique et des banques de ressources éducatives pour l'efficacité des communautés de pratique. Tout au long de notre contribution, nous privilégions un regard pluridisciplinaire pour demeurer conséquents avec le domaine de recherche des environnements d'apprentissage informatisés. Dans les faits, la problématique sur laquelle se base notre travail convoque des auteurs issus de disciplines différentes, mais dont les méthodes et les savoirs se transfèrent, jusqu'à un certain degré, des uns aux autres pour résoudre un problème complexe avec un degré élevé d'interpénétration et d'influences mutuelles de ces savoirs et méthodes.

10.2. Cadre conceptuel

Cette partie fournit les éléments nécessaires à une compréhension partagée des trois concepts de base de notre réflexion : le Web sémantique, les banques de ressources éducatives et les communautés de pratique.

10.2.1. *Web sémantique*

Le *Web sémantique* est une notion qui fut proposée par Berners-Lee⁵², Hendler et Lassila en 2001 [BER 01], portant une vision pour l'avenir : munir l'information disponible sur le Web d'une « couche sémantique », afin de faciliter le traitement de cette information.

52. Tim Berners-Lee est l'un des chercheurs à l'origine de l'élaboration du Web tel que nous le connaissons et il est cofondateur du consortium du World Wide Web (W3C).

Cette proposition n'est pas une « prophétie » sans fondement. D'une part, elle s'inscrit dans les travaux d'extension des capacités du Web ; les propos de Berners-Lee sont à mettre en perspective avec les activités du consortium W3C dont la mission délicate, engagée au milieu des années 1990, est de favoriser l'évolution du Web, mais surtout de développer des technologies interopérables. D'autre part, ce projet s'inscrit pleinement dans les travaux réalisés en intelligence artificielle et en ingénierie des connaissances depuis les années 1970 ; pour les chercheurs de ces domaines, le Web sémantique s'apparente à un formidable nouveau champ d'applications. Selon Berners-Lee, Hendler et Lassila (*ibidem*), les trois concepts fondamentaux du projet sont : la représentation des connaissances, les ontologies et les agents logiciels.

10.2.1.1. *La représentation des connaissances*

Représenter formellement le contenu des ressources et les services offerts sur le Web signifie identifier et structurer les connaissances qu'ils contiennent en une représentation schématique, pour les rendre visibles, manipulables, compréhensibles et communicables. Ce traitement est nécessaire pour passer d'une simple gestion à une gestion sémantique des ressources.

La dimension sémantique se réalise par l'ajout d'une surcouche à une ressource Web, quelle que soit sa nature. Cette surcouche est formée de *métadonnées*, c'est-à-dire d'informations qui décrivent la ressource Web, par exemple sous forme d'annotations, ceci rendant sémantiquement possible son utilisation et son partage par les machines. XML⁵³ est l'outil le plus simple permettant de décrire à la fois les métadonnées et la structure des documents, pour une diffusion sur le Web. Les ressources Web sont, dans la majorité des cas, annotées à partir de connaissances disponibles dans une ou plusieurs ontologies, dont le rôle est de normaliser la sémantique des annotations. Cette description formelle du contenu d'un document peut être faite *a posteriori*. La représentation peut être préparée *a priori* en structurant formellement les documents et les services que l'on met à disposition sur le Web ; Crozat (voir chapitre 9) expose une telle méthode de structuration, dans le but de permettre la réutilisation de contenus dans divers contextes d'utilisation. En bref, le projet est de proposer un langage formel unifié qui favorise la représentation du contenu sémantique des documents et qui permette d'exprimer, dans un même temps, des données et des règles pour raisonner sur ces données. Berners-Lee, Hendler et Lassila (*ibidem*) proposent ainsi d'« ajouter de la logique au Web ».

53. XML, pour *eXtensible Markup Language*, est un métalangage permettant de définir des langages de balisage spécialisés – applications XML – (voir chapitre 9, paragraphe 9.2.3).

10.2.1.2. *Les ontologies*

Pas de Web sémantique sans ontologie ! Selon Charlet, Bachimont et Troncy [CHA 04], « Les ontologies sont [...] centrales pour le Web sémantique qui, d'une part, cherche à s'appuyer sur des modélisations de ressources du Web à partir de représentations conceptuelles des domaines concernés et, d'autre part, a pour objectif de permettre à des programmes de faire des inférences dessus ». Les *ontologies* sont des entités permettant d'associer une signification à chaque fragment d'information véhiculé sur le Web, que ce soit une phrase, un fichier texte, un document multimédia, une application informatique, etc., et permettant de réaliser des traitements automatiques sur ces significations. Alors que la représentation des connaissances, évoquée dans le paragraphe précédent, fait référence à une syntaxe commune pour représenter le contenu du Web, le recours aux ontologies fait référence au projet d'une *sémantique partagée*.

Gruber [GRU 93] définit une ontologie comme une spécification explicite (ou formelle) d'une conceptualisation. Cette définition est la plus populaire dans la littérature concernant le domaine du Web sémantique, mais elle ne fait pas l'unanimité dans le domaine de l'ingénierie des connaissances. Psyché, Mendès et Bourdeau [PSY 03], dressant un portrait des recherches en ingénierie ontologique, soulignent l'importance de la dimension consensuelle d'une ontologie, dimension qui n'apparaît pas dans la définition de Gruber. Dans leur présentation des ontologies pour l'ingénierie des EIAH (environnements informatiques pour l'apprentissage humain), Desmoulins et Grandbastien [DES 06] intègrent cette dimension consensuelle : « Les ontologies sont des modèles de connaissances et de résolution de problèmes caractérisés par deux propriétés qui leur donnent tout leur intérêt par rapport aux objectifs fixés : ils se situent au niveau de la connaissance [...] et ils permettent la représentation du consensus d'une communauté de pratique [...] il s'agit non seulement de représenter explicitement une conceptualisation, mais aussi de pouvoir assurer que cette conceptualisation est partagée par la communauté qui pourrait l'utiliser ». Ils soulignent aussi qu'une des fonctions des ontologies, en tant que modèles, est de « fournir des représentations manipulables par l'humain ou par la machine et utiles à leur activité ».

10.2.1.3. *Les agents logiciels*

L'exploitation des références sémantiques qui sont construites pour relier l'information contenue dans les ressources du Web et les constituants d'une ontologie a recours à des agents logiciels, selon Berners-Lee, Hendler et Lassila (*ibidem*). Ces agents ont une double mission : d'une part, aider les utilisateurs du Web dans la recherche, le partage et le traitement d'information et, d'autre part, permettre à des applications informatiques distribuées d'échanger plus facilement des informations et ainsi de devenir plus autonomes. Les principes de représentation

des connaissances et d'utilisation d'ontologies permettent d'entrevoir un contenu du Web accessible par les machines. Les technologies Web existantes, en particulier celles promues par le consortium W3C (XML, RDF, URI, etc.), rendent possible le développement de tels agents intelligents : communication entre applications, agrégation de données, recherche de ressources, forage de documents (analyse du contenu d'un document pour en extraire des connaissances), assistance sont autant de traitements envisageables sur la base de raisonnements sur des ontologies.

Qu'apportera à terme la réalisation du Web sémantique ? Selon les objectifs initiaux, les travaux relatifs au Web sémantique doivent proposer un langage unifié permettant de décrire la sémantique de toute ressource du Web, conduire vers une plus grande autonomie des systèmes informatiques qui pourraient se comprendre mutuellement et, à plus long terme, favoriser l'évolution de la connaissance humaine dans son ensemble.

10.2.1.4. *Les applications du Web sémantique*

Les applications du Web sémantique, selon Léger et Charlet [LEG 04], sont multiples, concernant par exemple le traitement automatique de la langue naturelle, la médecine, la gestion des connaissances en entreprise, la recherche d'information et la fouille de données. Quant aux tendances et aux défis à relever, ils sont nombreux et délicats selon Laublet, Charlet et Reynaud [LAU 04]. L'un d'entre eux réside en la capacité à faire évoluer et à fusionner des ontologies. Sur un même thème, plusieurs ontologies peuvent être réalisées et le problème de mettre en commun l'ensemble de ces ontologies se pose. De plus, une ontologie n'est pas une fin en soi et doit être capable d'évoluer. Des travaux, comme ceux menés par Rogozan [ROG 04], s'attaquent à ce type de problèmes. Ils portent sur la gestion de l'évolution d'une ontologie, l'attention étant alors dirigée vers les méthodes et les outils pour un référencement sémantique évolutif, fondé sur une analyse des changements entre les versions d'une ontologie.

Les applications sont nombreuses dans le domaine des technologies pour la formation et, particulièrement, dans le champ des EIAH, de la formation en ligne ou encore du *e-learning*. Aroyo et Dicheva [ARO 04] notent qu'il y a quelques solutions qui permettent d'atteindre la réutilisabilité, la *partageabilité* et l'interopérabilité entre des applications du Web sémantique. Les conceptualisations (taxonomies formelles), les ontologies et les langages standard du Web comme XML, RDF, OWL et RuleML (un langage de règles en XML) rendent possible la spécification standard de composants logiciels.

La pratique de conception et de développement d'un environnement de formation en ligne contraint à une *coopération multi-acteurs* mettant en interaction,

d'une part, le professeur concepteur, le pédagogue et le producteur informatique et, d'autre part, l'apprenant et le tuteur. Axée sur une approche multi-acteurs, cette conception agrège en outre, à la base, plusieurs types de modèles. Utilisée dans le cadre de *l'ingénierie pédagogique*, la modélisation des connaissances ou l'ingénierie ontologique sert à définir les contenus, les activités et les scénarios d'apprentissage, les devis des matériels pédagogiques et les processus de diffusion d'un système d'apprentissage en ligne, comme l'expose Paquette [PAQ 04]⁵⁴.

Dans un tel contexte, qu'est-ce qui permet de déterminer le choix des technologies logicielles qui seront les plus appropriées ? Ce choix est guidé par le degré de performance des technologies à résoudre les problèmes liés à la représentation d'ontologies multiples dans l'élaboration d'un modèle de connaissances, d'une part, et dans l'indexation de documents divers provenant de sources variées, d'autre part. Ce choix s'inscrit dans une préoccupation de partager des modèles conceptuels de provenances diverses, de manière à décrire un modèle du domaine ou modèle ontologique, base de la formation offerte. Ce partage se fait en assurant une correspondance entre les divers corps professionnels, tout en respectant leur diversité conceptuelle. De plus, sur un autre plan, ce choix vise à garantir une forme d'*interopérabilité sémantique* entre les ressources qui se rattachent à ce modèle ontologique.

Nous fournissons dans les prochains paragraphes quelques exemples mettant en œuvre le langage standard OWL (*Web Ontology Language*, [OWL]) pour les ontologies, proposé par le W3C, ou la *norme* Topic Maps pour les cartes topiques, proposée par le groupe de standardisation international ISO.

Krdzavac et Gasevic [KRD 04] proposent une réflexion très pertinente concernant les mécanismes de raisonnement des logiques de description, dans le contexte de l'usage du langage OWL pour la réalisation d'environnements d'apprentissage informatisés. OWL ayant été construit sur la base d'une logique de description, les techniques de raisonnement développées dans ce domaine peuvent venir alimenter l'élaboration d'un « Web sémantique éducatif » (voir paragraphe 10.3.1.2). Krdzavac et Gasevic ne proposent pas d'implémentation, mais leurs réflexions montrent en quoi le développement du Web sémantique et des techniques associées, comme OWL, permet d'envisager une manipulation sémantique des ressources et des services offerts aux différents acteurs.

Winter, Brooks et Greer [WIN 05] montrent en quoi le langage OWL est un moyen efficace pour élaborer un modèle ontologique de l'apprenant. Les

54. Voir aussi le rappel fait par Henri et Maina des principes du *design pédagogique* et de la méthode MISA (voir chapitre 8, paragraphe 8.1.1).

connaissances, les compétences, les comportements de l'apprenant seront analysés en fonction d'ontologies. Le standard OWL est intéressant pour le développement d'un environnement d'apprentissage en ligne, car les langages sur lesquels il est construit sont largement interprétables et de plus en plus utilisés ; beaucoup d'applications utilisent XML, et RDF (*Resource Description Framework*) est aussi un standard bien répandu, ce qui facilite le partage et l'échange dans ces formats. OWL permet ainsi de structurer, de partager et d'échanger les connaissances qui se trouvent dans divers modèles conceptuels, de manière à élaborer le modèle ontologique visé.

Lama, Sanchez, Amarin et Vila [LSA 05] proposent une ontologie, formalisée en OWL, pour enrichir la spécification IMS Learning Design [KOP 05]⁵⁵ d'une description sémantique formelle. Selon eux, la formalisation des modèles de cette spécification IMS LD dans le langage XML Schema ne permet pas de décrire assez précisément la sémantique des concepts. Ceci peut entraîner des difficultés d'interprétation par les développeurs d'outils basés sur cette spécification, et par suite des problèmes lors de la mise en œuvre des scénarios d'apprentissage, produits en langage XML. Le recours au langage OWL permet d'une part, d'explicitier des relations d'héritage entre les concepts proposés dans la spécification et, d'autre part, d'exprimer formellement les contraintes (ou axiomes) concernant les différents éléments de modélisation utilisés dans IMS LD (concepts, attributs, relations). Une telle formalisation a pour objectif de permettre à des agents logiciels d'utiliser des mécanismes de raisonnement, développés pour OWL, dans le cadre de la mise en œuvre des scénarios d'apprentissage IMS LD.

Même si la norme Topic Maps est moins populaire que le standard OWL, c'est cependant une technique répandue pour expliciter les significations inscrites au sein d'un ensemble de ressources. Par exemple, Scott et Johnson [SCO 05] utilisent cette norme pour proposer des solutions flexibles de navigation sémantique dans un cours structuré en leçons. En se fondant sur la théorie conversationnelle de Gordon Pask, ils représentent, d'une part, les connaissances visées par la formation (*knowledge map*) et, d'autre part, les unités de chaque cours (*lesson map*). Ces cartes constituent un outil efficace de navigation pour l'apprenant et un outil puissant permettant au formateur de *suivre* et de tracer l'activité de l'apprenant.

Moulin, Abel, Benayache et Lenne [MOU 03] présentent la mémoire de formation MEMORAE (memoire organisationnelle appliquée au *e-learning*) fondée

55. IMS Learning Design est un *langage de modélisation pédagogique* (ou EML pour Educational Modelling Language). Un EML propose des primitives de modélisation représentant des concepts issus de l'éducation comme activité, apprenant, objectifs, etc. (voir la présentation faite par Pernin, chapitre 6, paragraphe 6.2.2).

également sur la norme Topic Maps. Leur approche consiste à considérer une formation comme une organisation et à exploiter par conséquent les ressources de formation au sein d'une mémoire organisationnelle, l'objectif étant la capitalisation des ressources, des informations et des connaissances associées à la formation ; une indexation de ces divers éléments en fonction de leur contexte d'usage est aussi rendue possible. Après une comparaison fine avec des langages tels qu'OWL pour la représentation d'ontologies, ils ont choisi la norme Topic Maps pour représenter la formation (objectifs, apprenants, activités, etc.) et le domaine de connaissance ; ils ont cependant décidé de développer un traducteur afin d'obtenir une représentation OWL de leurs ontologies.

10.2.2. Banque de ressources éducatives

Le concept de *ressource éducative* s'inscrit dans une pratique professionnelle de l'enseignement. Il hérite d'une perspective historique forgée au cours d'une longue pratique artisanale où les outils des enseignants (guide, baguette, gabarit, texte et autres) ont émergé de leurs propres pratiques pour satisfaire un besoin immédiat, sans que la fabrication de l'outil soit nécessairement soutenue par une intention de réutilisation. Le concept de ressource éducative englobe, de manière large, toute forme de ressource humaine ou matérielle mise en œuvre par l'enseignant ou par le système éducatif pour améliorer l'apprentissage. Cette ressource peut prendre la forme d'un texte ou d'une image, de même que celle d'un site Web, d'une vidéo, d'une animation, d'un message audio. Elle peut aussi être le parent ou l'expert, la communauté familiale ou sociale – le village ou le quartier – de l'apprenant ou, encore, le musée ou la grande bibliothèque de la ville.

Lorsque l'on utilise l'expression *objet d'apprentissage*, il s'agit le plus souvent d'une *ressource numérique*, qui se rattache au domaine des technologies de l'information. Pour Lamontagne [LAM 05], les objets d'apprentissage sont des « granules » de formation en principe réutilisables et *réagençables* selon différents objectifs ou environnements. Et il ajoute qu'« aux objets d'apprentissage sont idéalement associées les métadonnées d'indexation ». L'objet d'apprentissage peut devenir alors un véritable événement de formation incluant minimalement un ou des éléments de contenu et un scénario d'apprentissage.

Pour être réutilisé, l'objet d'apprentissage doit être stocké ou du moins référencé dans une sorte d'annuaire. Ce dernier doit fournir des modalités efficaces pour que les utilisateurs trouvent l'objet d'apprentissage qui répond à leurs besoins. La nature du stockage d'un objet d'apprentissage dépend de la nature de l'objet à stocker, d'où l'intérêt de typologies comme celle de Klassen [KLA 00], qui distingue quatre manières d'envisager l'objet d'apprentissage. Premièrement, l'objet d'apprentissage

peut être conçu comme une entité atomique (un clip vidéo, une page Web, une petite animation Java, une question-réponse, un paragraphe, une phrase etc.). Il peut aussi être vu comme un objet composite désignant un tout non dissociable (didacticiel multimédia par exemple). Soit on utilise le tout, soit on ne peut pas l'utiliser, il est difficile d'en sélectionner une partie et de mettre le reste de côté. L'objet composite peut aussi être un assemblage d'objets d'apprentissage dissociables, c'est alors un ensemble flexible d'objets. Certains systèmes permettent ainsi de composer un environnement personnalisé pour l'apprenant à partir de l'assemblage de composants. Enfin, des objets d'apprentissage peuvent être structurellement identiques : ce sont des ressources dont la structure et la nature sont régencées par des contraintes logiques et sémantiques, il est alors question de la métaphore du jeu de Lego. La nature – architecture et fonctionnement – de l'annuaire, du dépôt, de la banque d'objets d'apprentissage (ou de ressources éducatives) dépendra de la manière dont on appréhende la nature intrinsèque de l'objet d'apprentissage.

Les *dépôts* ou banques de ressources éducatives (BRE) sont importants car ils concernent une modification de la fonction d'enseigner, une mutation du rôle de l'enseignant et du formateur, dont le nouveau rôle serait de trouver et d'organiser des contenus plutôt que d'en élaborer. L'utilisation d'une BRE serait donc un moyen pour lever certaines contraintes de conception didactique qui pèsent sur l'enseignant, le formateur ou le professeur. Pour Downes [DOW 01], une BRE est un moyen d'éviter de sans cesse « réinventer la roue », c'est-à-dire d'éviter d'engager de l'énergie dans la réalisation de ressources déjà existantes. Une raison économique plutôt que pédagogique semble être à l'origine de ce point de vue. Dans le même ordre d'idée, pour Friesen [FRI 01], une BRE est un moyen d'exploiter les milliards d'informations disponibles sur Internet. La BRE agit alors en tant que *filtre* qui pourrait, sous certaines conditions, garantir la qualité des ressources éducatives.

Enfin, comme pour Wiley [WIL 00], Paquette et Rosca [PAQ 02] ou Delestre [DEL 00], une BRE peut être une composante dans *l'instrumentation informatique* d'une méthode d'ingénierie pédagogique, qui guiderait soit la conception (*design*) d'une formation par agrégation de composants, à l'aide de gabarits de scénarisation pédagogique, soit la conception de matériels didactiques à partir de briques élémentaires réutilisables.

10.2.3. Communauté de pratique

Lorsque nous parlons de communauté, nous évoquons, avant tout, un système social complexe. Le fondement de la communauté, selon la définition que nous en a laissée Scheierdermacher à la fin du XVII^e siècle, c'est-à-dire une entité sociale qui se constitue grâce à un lien particulier entre ses membres, se réfère à une dimension

relationnelle [PAL 03]. Face à la trop grande complexité de cette problématique, il est proposé d'en approcher des aspects plus limités se référant à des situations spécifiques. Abordé de ce point de vue, le concept de *communauté de pratique* (*community of practice*), initié par Lave et Wenger [LAV 91] à la suite d'une étude de l'organisation des relations dans un milieu de travail, emprunte une perspective qui place l'apprentissage dans le contexte de nos expériences de vie liées à notre participation dans le monde. Pastré [PAS 05] établit un lien entre activité et apprentissage dans la construction de l'expérience chez l'humain. Il les affirme « liés à un point tel que la forme première de l'apprentissage est sans doute l'apprentissage par l'activité car c'est quand on est dans l'activité habituelle, que ce soit au travail ou dans la vie quotidienne, que nous apprenons des situations : l'apprentissage s'opère toujours dans le cours d'une activité productive entendue comme toute transformation d'une situation (dans toutes ses dimensions : matérielle, symbolique, sociale) par un sujet ».

Pour Lave et Wenger (*ibidem*), le concept de communauté de pratique marque le caractère social de l'apprentissage, Rabardel [RAB 95] et Pastré (*ibidem*) s'intéressant davantage aux mécanismes internes de l'apprentissage chez le sujet. Lave et Wenger considèrent l'apprentissage comme un aspect intégral et inséparable de la pratique sociale. Par conséquent, ils considèrent l'apprenant comme un *apprenti* appartenant à une communauté insérée dans une structure de travail. Cette communauté qu'ils nomment *communauté de pratique* se caractérise avant tout par son caractère informel dans l'institution où elle émerge et par sa dimension psychologique forte, c'est-à-dire par le fort sentiment d'appartenance de ses membres. Dans le contexte de la formation d'enseignants, c'est dans cet esprit que Guin et Trouche (voir chapitre 7, paragraphe 7.2.5.1) s'intéressent aux communautés de pratique qui émergent à partir de groupes d'enseignants partageant les mêmes préoccupations en termes de champ disciplinaire, de public et d'approches pédagogiques. Une *communauté de pratique* est avant tout considérée comme un réseau de relations entrelacées qui forment le paysage social d'un individu en *situation d'apprentissage*, c'est-à-dire d'amélioration de ses compétences, dans son milieu de vie professionnel et social. Depover et Strebelle (voir chapitre 5, paragraphe 5.4.2) considèrent aussi des *réseaux* (ensembles d'acteurs en relation, moins engagés qu'ils ne le seraient dans les communautés de pratique) comme propices à l'innovation, dont la nature peut évoluer considérablement en fonction des *interactions* entre les acteurs qui agissent au sein de ces réseaux et des types de rapports sociaux qui s'installent entre eux.

De l'étude menée par Wenger [WEN 98] sur les communautés de pratique, et dans le cadre de cette contribution, nous retenons les trois aspects suivants : participation, réification et répertoire partagé. Wenger emprunte au sens commun la

définition du terme de participation. Se tournant vers la définition proposée par le dictionnaire américain *Webster*, il considère la *participation* comme un processus auquel il octroie le sens de « prendre part à », et qui prend en compte les relations avec les autres individus impliqués dans ce processus. Au cours de son ouvrage, il utilise la notion de participation pour décrire une expérience sociale de vie en termes d'adhésion à une communauté sociale et d'engagement actif dans une entreprise à caractère social. La participation se caractérise donc par la possibilité, pour les individus concernés, d'une reconnaissance mutuelle.

Le terme de réification nous est moins familier que celui de participation. D'une façon générale, Wenger (*ibidem*) utilise le terme *réification* pour indiquer un processus qui donne forme à notre expérience en produisant des objets qui figent cette expérience sous forme d'une « chose ». Ce processus est au cœur de chaque pratique. En réalité, toute communauté de pratique produit, entre autres, des abstractions, outils, symboles, histoires, termes et concepts qui réifient quelque chose de sa pratique sous une forme fixe. Ce processus de réification structure l'expérience de la communauté de pratique et alimente sa pratique d'objets de toute nature qui sont réutilisés par les membres de la communauté dans l'exercice de leur travail. La réification est en quelque sorte un processus d'instrumentation de la pratique professionnelle d'une communauté de pratique, tel que nous le propose l'approche instrumentale de Rabardel [RAB 95]. En effet, ce processus d'*instrumentation* est, comme le précisent Guin et Trouche (voir chapitre 7, paragraphe 7.2.3), « centré sur l'activité assistée par un artefact, qui va donner matière, pour le sujet engagé dans l'action, à un *instrument* », ici à un objet d'une certaine nature qui va servir de ressource pour l'activité professionnelle de la communauté de pratique. Une différence est que ce processus d'instrumentation n'est pas celui d'un sujet humain, mais bien d'une communauté qui, à l'instar du sujet humain, doit créer des ressources dans des moments de confrontation à des problèmes au sein de son milieu de travail.

Les *traces*, nées du processus de réification de l'activité au sein d'une communauté de pratique en éducation, prennent la forme de *ressources éducatives*. Du point de vue instrumental, ces ressources sont issues de l'interaction des processus d'instrumentation et d'*instrumentalisation* qui caractérisent la création de l'utilisation de l'outil par l'homme pour accomplir ses activités. Ces objets sont issus d'une pratique qu'ils servent à instrumenter. De ce point de vue, il existe une dualité entre participation et réification. Cette dualité est un aspect fondamental de la constitution des communautés de pratique, de leur évolution dans le temps, de leurs relations au sein des pratiques, de l'identité des participants, et des organisations plus larges dans lesquelles les communautés de pratique existent [WEN 98]. Il ne

peut y avoir aucune réification sans participation et cette dynamique s'inscrit dans un processus de *fabrication du sens* de notre activité et de ce que l'on produit.

La notion d'*identité* est abordée par Pastré [PAS 05] sous le concept de genèse identitaire du sujet humain qu'il lie étroitement à la notion d'apprentissage. La genèse identitaire se construit au sein du monde de l'agir, de la praxis. Il fait du milieu social et culturel, intériorisé par chaque sujet, un organisateur de l'activité humaine. Comme le rappellent Depover et Strebelle (voir chapitre 5, paragraphe 5.6.3), Dillenbourg, Poirier et Carles [DIL 03] insistent « sur l'importance de la construction d'une identité propre au groupe qui conduit à la création d'une microculture avec ses règles et son langage propre ».

Le troisième aspect des communautés de pratique qui nous paraît pertinent ici est la notion de « répertoire partagé » (*shared repertoire*). Ce répertoire est le résultat des processus de participation et de réification qui caractérisent le fonctionnement d'une communauté de pratique. Ce répertoire comprend un ensemble d'objets de nature diverse, par exemple, des procédures, des mots, des outils, des façons de faire, des histoires, des symboles, des concepts que la communauté a produits ou adoptés tout au long de son existence et qui sont devenus une part de sa pratique. Le fait qu'ils appartiennent à la pratique de la communauté donne une cohérence à cet ensemble d'objets relativement hétérogène. Ces productions ainsi réifiées et constituées sous forme d'un répertoire partagé sont utiles, non seulement parce qu'elles servent de traces à l'histoire de l'engagement mutuel au sein de la communauté de pratique, mais également parce qu'elles peuvent être réutilisées dans de nouvelles situations et servir aussi à la fabrication de significations nouvelles – comme c'est souvent le cas, par exemple, des métaphores.

Dans le cadre du projet ARIADNE, Forte, Wentland Forte et Duval [FOR 97] ont proposé une manière de constituer et de gérer un entrepôt de ressources pour l'éducation (classique, ouverte ou à distance), qu'ils ont nommé « vivier de connaissances ». Cette appellation confère un caractère dynamique aux objets en prenant en compte leur potentiel évolutif. Les notions de *répertoire* chez Wenger [WEN 98] ou, encore, de banque de ressources éducatives utilisée par Contamines, George et Hotte [CON 03] réfèrent plutôt à un rangement qu'à une dynamique d'usage. Cependant, les trois désignations témoignent de cette capacité d'une communauté de pratique à formaliser sa pratique en se dotant d'objets, soit dédiés à une activité précise, soit utilisés partiellement ou totalement à d'autres fins et, par conséquent, modifiés par ce nouvel usage.

En conclusion sur les communautés de pratique, nous avons choisi d'illustrer notre propos par un cas vécu. En fait, nous avons observé [HOT 93b] l'émergence

d'une communauté de pratique, comme la définit Wenger, au sein de la communauté professionnelle des tuteurs de la Télé-université du Québec (TELUQ). Cette observation eut lieu lors de l'introduction de la télématique pédagogique, combinaison de l'informatique et des télécommunications dans les pratiques d'encadrement en ligne. Un *scénario télématique pédagogique* [HOT 93a] définissait, entre autres, les conditions du tutorat en ligne, axé sur le soutien à l'apprentissage et le conseil, l'organisation de l'environnement en ligne, les outils de communication et de gestion. Des tuteurs se sont donc engagés volontairement dans l'implantation de ce mode d'encadrement, acceptant de partager leur apprentissage avec leurs pairs, dans un forum dédié à cette fin, et avec les autres intervenants institutionnels, également engagés volontairement. Cette communauté de pratique pluriprofessionnelle était formée de professionnels pédagogiques affectés aux enseignements, de professionnels en communication affectés à la formation, à la gestion et au soutien des groupes en ligne, de personnels techniques et de professionnels en informatique, affectés au développement et à l'entretien des systèmes informatiques institutionnels ainsi que des réseaux, et de tuteurs assignés à l'encadrement des étudiants à distance. Elle s'est dotée d'une pratique d'autogestion dont le premier but était de mener à bien cette implantation dont elle se faisait l'instigatrice. Le deuxième but était un but d'apprentissage, en vue d'améliorer leurs compétences à partir de l'expertise professionnelle de chacun, mise à contribution pour résoudre les problèmes inhérents à cette innovation techno-pédagogique. Cette communauté de pratique s'est dissoute lorsqu'on lui a imposé un cadre institutionnel de gestion. Elle avait franchi les divers cycles qui caractérisent ce type de communauté au sein des organisations d'où elles émergent. Nous concluons sur cette situation en retenant le caractère émergent d'une communauté de pratique, son évolution par cycles et, finalement, sa durée limitée. Nous retenons surtout son potentiel à permettre l'apprentissage dans une démarche de gestion de connaissances.

10.3. Potentialités et limites du Web sémantique

10.3.1. Potentialités du Web sémantique

Le projet du Web sémantique vise à créer un réel *partenariat* entre l'humain et la machine ainsi qu'entre les machines elles-mêmes et à faciliter les processus de traitement et de communication des informations. Ce projet relève de l'initiative de chercheurs et de développeurs provenant de diverses disciplines et animés par des compréhensions du monde différentes. De prime abord, ces dernières pourraient être interprétées comme des vues opposées sur une même réalité, mais, dans le contexte du projet du Web sémantique elles nous apparaissent davantage complémentaires, dans un effort collectif de comprendre et d'expliquer le monde.

A l'heure actuelle, les travaux menés dans des contextes éducatifs associent le Web sémantique à des *artefacts* existants, les ressources éducatives (comme les présentent Contamines, George et Hotte [CON 03]), et à un phénomène social étudié, les communautés de pratique [WEN 98]. Ils dotent ainsi le projet du Web sémantique de *contenus*, les ressources éducatives, et de *contextes*, les communautés de pratique, composants essentiels à son existence. Pour créer des banques de ressources éducatives et de là, des réseaux de ressources éducatives pour le Web sémantique, le besoin de connaissances et de pratiques est manifeste. Les communautés apparaissent comme des gisements de connaissances et de compétences à prospecter et à exploiter – et aussi à faire émerger – en créant des conditions propices à cette fin. Ces différentes communautés qui appartiennent au monde de l'éducation sont à la fois les *auteures*, c'est-à-dire que leurs membres sont les artisans des ressources éducatives, et les *utilisatrices*, c'est-à-dire que les enseignants qui appartiennent à ces communautés instrumentent leur activité didactique et pédagogique à l'aide de ces mêmes ressources.

10.3.1.1. *Web sémantique, un instrument de construction des connaissances*

Dans les faits, le Web sémantique se présente comme un projet ambitieux. Dans son état actuel d'avancement, il nous apparaît être plutôt la construction d'un modèle en vue d'inventer, donc de créer ce qui n'existe pas : un Web dont l'information est sémantiquement bien définie et qui permet aux machines et aux hommes de coopérer [BER 01]. Nos façons de construire la connaissance s'alimentent à la fois des modèles que nous concevons et des observations que nous faisons des comportements humains dans un agir social. A ce titre, le projet du Web sémantique s'inscrit dans le paradigme de *l'univers construit*, paradigme auquel se rattachent les travaux, entre autres, de Léonard De Vinci, Herbert Simon, Edgar Morin. Le projet du Web sémantique témoigne d'une intention de réduire l'écart entre l'humain et la machine en entretenant l'objectif d'établir un dialogue entre eux en vue de rendre les données à la fois intelligibles à des utilisateurs humains et accessibles à des entités informatiques comme des agents, des moteurs de recherche ou, encore, des serveurs d'informations. Le Web sémantique peut donc être vu comme un changement de cadre conceptuel visant à se donner les moyens de manipuler le contenu pour le reconfigurer par des voies calculatoires comme l'explique Crozat (voir chapitre 9, paragraphe 9.3.2).

10.3.1.2. *Web sémantique éducatif*

Dans l'ordre de la recherche scientifique, écrivait Le Moigne [LEM 87], la notion de modèle, entendue comme instrument de production et d'exposition des connaissances, est une idée neuve. Le Web sémantique s'inscrit dans cette démarche, et c'est là son plus grand potentiel. Il force l'initiative, par exemple en éducation où des expériences consistent à instancier le modèle du Web sémantique à

des fins de formation. Ces instanciations, désignées par l'appellation « Web sémantique éducatif » par certains auteurs dont font partie Dehors, Faron-Zucker, Giboin et Stromboni [DEH 05], tirent « profit des méthodes, langages et outils du Web sémantique offrant ainsi 1) un moyen pour l'enseignant d'explicitier ses stratégies pédagogiques ; 2) une grande souplesse dans la gestion des ressources et de leur organisation et 3) un mode d'accès à l'information dynamique pour l'apprenant, basé sur des requêtes sémantiques posées au travers d'une interface facilitant la lecture ». Dans cette mise en œuvre expérimentale d'un Web sémantique éducatif, on retrouve les composants qui définissent le Web sémantique : des ontologies, des ressources et des métadonnées.

10.3.1.3. *Vers une approche réseau de la construction de la connaissance*

Le réel potentiel du Web sémantique réside donc dans sa capacité d'être un puissant levier à la production et à la diffusion de la connaissance. Ce potentiel s'exprime sous la forme d'une activité cognitive qui se passe au sein de réseaux, formés par la réunion de diverses communautés professionnelles, animées d'une intention de mutualiser leurs modèles, leurs ingénieries et leurs expériences en vue de collaborer à l'avancement et au partage de la connaissance. Nous nous orientons vers une approche réseau où se croisent, en tandem, deux visions du monde, descendante (*top down*) et ascendante (*bottom up*), fondées respectivement sur une approche molaire et sur une approche moléculaire qui imprègnent l'histoire récente de l'étude de la cognition, comme l'expose Gardner [GAR 93].

L'approche cognitive est fondée sur une représentation du monde axée sur l'individu, déracinée du contexte, privée d'émotion et, finalement, isolée dans un modèle unique. Gardner (*ibidem*) confirme ce fait lorsqu'il écrit, à propos des caractéristiques de la science cognitive actuelle, que « la troisième [caractéristique] est la décision délibérée de ne pas mettre en valeur certains facteurs qui peuvent être importants dans le fonctionnement cognitif, mais dont la prise en compte compliquerait sans nécessité le travail du cognitif. Il faut s'abstraire de l'influence des facteurs affectifs ou émotionnels, des facteurs historiques et culturels, et de celui du contexte dans lequel des actions ou des pensées particulières se produisent ». Par contre, l'approche réseau considère l'individu intégré dans un contexte social que, cette fois, il invente lui-même par le changement de sa façon, à la fois, d'être soi et, par conséquent, d'être ensemble [DUF 04]. De ce contexte social, il tire ses conditions d'apprentissage, alors perçu comme un acte social. Les communautés de pratique telles qu'elles se sont structurées, et non institutionnalisées, au sein du monde du travail -ou telles qu'elles y émergent- sont inspiratrices des modèles que nous construisons, en mettant en interrelation les approches ascendante et descendante de la construction de la connaissance, pour

affiner nos modes d'apprentissage, améliorant sans cesse l'accès à la connaissance, mais aussi l'enrichissement de nos savoirs.

10.3.2. *Limites du Web sémantique*

Comme nous l'avons souligné précédemment, le Web sémantique est un projet ambitieux. Cette ambition dont certains promoteurs l'investissent impose une limite à sa réalisation : ils opèrent une réduction des objets conceptuels et méthodologiques qu'ils empruntent à d'autres domaines et dont ils créent des utilisations qui détournent ces objets de leur signification première ou de leur usage propre. Ontologies, ressources éducatives et communautés de pratique en sont des exemples significatifs.

10.3.2.1. *Prescription a priori du sens et traitement mécanique de l'information*

La construction des significations trouve dans l'interaction interhumaine un lieu privilégié, interaction qui se déploie dans un monde médiatisé par des signes et des artefacts [BRA 03]. La participation et la réification, chez Wenger, sont à la base de cette interaction humaine au sein du contexte de vie d'un individu, mis en relation avec d'autres individus dans une démarche de construction identitaire. Ces phénomènes observés au sein de communautés de pratique nous permettent d'aller au-delà de ce que propose le projet du Web sémantique, en matière de communication animée par une dynamique de *prescription a priori* des significations, et d'anticiper un mécanisme d'*appropriation a posteriori* des significations par les traces (réifications) de l'activité humaine au sein de ces communautés. Ces traces constituent la mémoire de cette activité humaine et communautaire.

Vue ainsi, cette initiative du Web sémantique nous contraint à nous poser à nouveau la *question du sens* et nous place dans une situation analogue à celle de Bruner [BRU 97] qui en vient à se prononcer avec vigueur pour un abandon de la cognition comme *traitement de l'information* au profit d'une cognition envisagée comme *construction de significations*. Le Web sémantique questionne le rapport que l'homme entretient avec le monde où il agit comme fabricant de sens. Dans l'état d'avancement des travaux actuels concernant le Web sémantique, leur limite réside dans la technique par laquelle est déléguée à la machine la transmission des contenus, pouvant réduire ainsi l'apprentissage à un simple traitement mécanique de l'information. Ces travaux n'introduisent-ils pas alors des significations prescrites, préétablies au moyen des approches de standardisation des artefacts et des techniques de formalisation des contenus, comme celle des ontologies qui permettent de décrire les concepts sous forme d'un modèle conceptuel du savoir

dans un domaine précis ? Ces ontologies fournissent le vocabulaire nécessaire à la discussion. De par leur nature même, elles sont consensuelles et, par le fait, conduisent à une compréhension mutualisée. Bien se comprendre est une chose, communiquer en est une autre. « Le dialogue est [...] nécessaire justement quand les hommes ne partagent pas les mêmes significations. Ce que nous partageons n'est pas aussi intéressant que ce que nous ne partageons pas » [BEN 98].

10.3.2.2. *Limite du concept d'ontologie*

Selon Robillard [ROB 04], la définition de Gruber [GRU 93] (voir paragraphe 10.2.1.1) est trop incomplète pour constituer une base théorique du domaine du Web sémantique et même de celui de l'ingénierie des connaissances. Robillard montre en quoi les bases théoriques de cette définition – la conceptualisation de Sowa du concept d'ontologie – sont fragiles. Il considère que les fondements logiques et épistémologiques de la thèse de Sowa sont « bancals et que, en dépit de ses vœux, elle présentait davantage le visage d'une théorie incomplète de la description que d'une théorie permettant l'analyse des concepts usités dans un domaine quelconque de connaissances » (*ibidem*). Pour Mizoguchi [MIZ 04], l'ontologie « traite des concepts fondamentaux du monde-cible ». Là aussi, Robillard critique les fondements de l'approche objectiviste de Popper et de son « troisième monde » qui est, selon lui, une hypothèse spéculative. La filiation entre le « monde-cible » et le « troisième monde » est directe et induit un problème théorique de fond.

Quel degré de formalisation pour le Web sémantique ? Euzénat [EUZ 03] signale qu'il n'y a pas de processus informatisable sans formalisme. Or, Laublet, Charlet et Reynaud [LAU 04] mentionnent le fait que les travaux sur le Web sémantique adoptent des démarches plus ou moins formelles. Est-ce que ce degré de formalité ne vient pas remettre en cause l'idée originelle du Web sémantique de voir les applications informatiques coopérer ensemble ? En bref, un certain flou existe dans le champ de la recherche sur le Web sémantique du fait de son hétérogénéité. Zacklad, Cahier et Pétard [ZAC 03] proposent de faire une distinction entre Web computationnellement sémantique, Web cognitivement sémantique et Web socio-sémantique. Alors que le premier met l'accent sur la communication entre applications et sur les possibilités d'inférences et de traitements automatiques de l'information, les deux autres formes de Web s'adressent plutôt aux individus et aux communautés utilisateurs du Web.

Le Web sémantique est actuellement tributaire de la volonté et des possibilités des individus à créer des ontologies. De la même manière, la constitution de banques de ressources éducatives est dépendante de la volonté des auteurs d'associer des métadonnées aux ressources qu'ils produisent. Les expériences montrent que ces activités sont peu réalisées, car elles ne font pas partie intégrante de la tâche des

acteurs. Les chercheurs doivent donc développer des outils pour réaliser automatiquement ou semi-automatiquement ces associations et ces indexations.

10.3.2.3. *Primauté des fonctions constituantes sur les fonctions constituées*

Pour l'approche instrumentale de Rabardel [RAB 95], la cognition est située matériellement et socialement. Cette approche repose sur la distinction fondamentale entre, d'une part, l'objet matériel et, d'autre part, l'objet matériel inscrit effectivement et efficacement dans un usage. L'outil est premièrement conçu et réalisé par une personne ou une équipe pour répondre à un objectif ou des objectifs précis. Dans l'artefact sont inscrits des modes opératoires prévus. La composante artefactuelle est composée de fonctions constituantes et de fonctions constituées. Les fonctions constituantes sont celles qui ont été prévues par le ou les concepteurs. Dans l'usage, ces fonctions ne sont pas les seules présentes. Il y a aussi des fonctions constituées, qui sont créées par l'utilisateur durant l'utilisation de l'artefact.

Les caractéristiques pertinentes d'une ressource éducative conceptualisée en tant qu'instrument sont sa capacité à évoluer et sa dimension subjective. D'une part, il n'y a pas de permanence de l'instrument. Une description à l'aide de *métadonnées* d'une ressource n'est toujours qu'une photographie, soit une coupe transversale de l'histoire de cette ressource. D'autre part, la dimension subjective réside en partie dans l'identité du créateur de la ressource, ainsi que dans celle du prescripteur de la ressource (la personne qui inscrit la ressource dans la BRE, car il la juge utile pour certaines situations de formation).

Le problème auquel nous sommes confrontés, avec le développement du Web sémantique, est la difficulté de faire émerger les fonctions constituées de la ressource car son contenu n'est accessible, dans la majorité des cas, que par la médiation technique. Pour Bachimont [BAC 03], l'intelligibilité résulte de la manipulation. Ceci indique que la signification est conditionnée par la manipulation au moment de l'usage par l'individu. Dans le cas du Web sémantique, la manipulation est prescrite – fonctions constituantes – par la technique. Alors « comment ne pas verrouiller la signification et la refermer sur l'usage prévu des actions techniques ? » (*ibidem*). Les communautés éducatives se dotent d'un patrimoine instrumental sous forme de banque de ressources dont l'utilisation, inscrite dans un contexte historique de l'activité, modifie le sens prescrit ou s'en détourne.

10.3.2.4. *L'effet réducteur d'une pluridisciplinarité à courte vue*

Guidés par un souci constant de compréhension et d'instrumentation des relations sociales qui se développent au sein de communautés virtuelles en contexte éducatif, nous considérons une banque de ressources éducatives (BRE) comme un

moyen pour partager des ressources au sein d'un collectif, dans le sens de la conceptualisation de la notion de communauté de pratique proposée par Wenger (*ibidem*). Nous nous intéressons aux BRE destinées à des collectifs définis et non aux BRE universelles qui seraient au service de tout individu. Selon Crozat, (voir chapitre 9, section 9.1) « l'enjeu devient alors la construction d'un patrimoine éducatif à travers, d'une part, la mise en place de *dépôts de ressources documentaires* [...] et la mise en place de communautés d'échange autour des usages de ces ressources, d'autre part ».

Devant la complexité et la profondeur des transformations auxquelles le milieu est confronté par la mise en chantier du projet du Web sémantique, il est aisé de comprendre le besoin ressenti par les diverses communautés engagées de croiser les savoirs et les méthodes de plusieurs disciplines pour pouvoir poser des regards multiples et complémentaires sur les problématiques abordées et sur la résolution des problèmes auxquels elles sont confrontées. Cette coopération disciplinaire tend progressivement vers un degré élevé d'interpénétration des disciplines dans leurs savoirs et leurs méthodes jusqu'à vouloir, idéalement, atteindre une forme de transdisciplinarité, conduisant au consensus et à la transgression de toutes les disciplines.

A cet égard, les travaux de recherche et de développement liés au Web sémantique placent ces communautés face à un problème de complexité, dans le sens où Morin [MOR 05] l'aborde dans ses travaux sur l'épistémologie de la complexité. Pour ce dernier, « la complexité est invisible dans des disciplines qui fragmentent l'objet ou qui l'isolent. D'où la nécessité de relier. Mais pour qu'il y ait une véritable fécondité dans ces actions, il ne faut pas seulement un langage commun, mais une structure épistémique commune qui a le sens de la complexité de l'objet. Car dès que vous avez un objet riche, multidimensionnel, il ne suffira pas d'ajouter les disciplines. [...] il faut donc un minimum d'épistémologie partagée ». Il demande d'éviter de faire de la pluridisciplinarité en myope, en adoptant une interprétation trop libre et une application trop large des concepts provenant des autres disciplines. Le danger existe ainsi pour le concept de communauté de pratique, qu'il est difficile de bien cerner. Dans le cas des communautés éducatives, ces dernières regroupent souvent, d'une manière peu définie et sous une même bannière, une gamme d'acteurs aux fonctions diverses et œuvrant dans des situations éducatives parfois étrangères les unes aux autres.

Dans le contexte du développement du Web sémantique, et au nom de la pluridisciplinarité, les emprunts conceptuels et méthodologiques sont souvent réduits à une généralisation terminologique trop large dissimulant l'emprise de disciplines sur d'autres, pouvant conduire jusqu'à des formes variées

d'asservissement disciplinaire. Par exemple, ceci pourrait être le cas de l'informatique sur l'éducation avec la mise en opération de projets innovants, où l'apprentissage pourrait être réduit au traitement d'une information et à son repérage par le moyen d'opérations lourdes d'indexation par métadonnées.

Pour contrer l'effet réducteur d'une interprétation souvent trop abusive, nous élargissons le champ d'observation d'une ressource éducative pour prendre en compte le contexte et l'historique de la ressource au sein de la communauté. Ainsi, nous croyons que la communauté contribue non seulement à fournir au Web sémantique des contenus reconstruits sous forme de ressources, pour les retransmettre à la communauté en vue d'un usage prescrit, mais qu'elle contribue aussi à enrichir cet usage prescrit d'une appropriation de la ressource dont l'utilisation s'inscrit dans le cours d'une pratique ayant sa propre mémoire et sa propre finalité.

10.3.3. *Web sémantique et apprentissage*

En conclusion à cette partie portant sur les potentialités et les limites du Web sémantique, nous croyons que la question des impacts réels du projet de Web sémantique et des banques de ressources éducatives pour l'efficacité des communautés de pratique se pose avec pertinence. Dans les faits, qu'allons-nous apprendre et comment allons-nous apprendre, quel est le potentiel réel du Web sémantique à conduire au partage et à la réutilisation de ressources pour l'apprentissage ?

La pertinence de ce questionnement réside dans le fait que le projet du Web sémantique, en s'appropriant les concepts de ressources éducatives et de communautés de pratique, en leur octroyant un caractère d'invariants universaux, en prédéfinissant, d'une manière consensuelle, les domaines par des ontologies porteuses de sens, en fixant les contextes d'utilisation (communautés de pratique préalablement constituées) et en structurant les banques de ressources utilisables, convoque l'humain à un partage mécanique de significations identiques dans un contexte uniformisé. Mais le fait que nous apprenons de ce qui est différent, non de ce que nous partageons demeure : « Bakhtine regarde l'incompréhension comme la source réelle et le conflit moteur du développement de la communication. La source réelle aussi de la compréhension elle-même », comme le mentionnent Beguin et Clot [BEG 04].

10.4. Conclusion

Cette contribution s'est intéressée au fait que les communautés de pratique en milieu éducatif sont à la fois auteures et utilisatrices des ressources qu'elles développent en support à leur pratique. Nous avons procédé en deux temps. Dans un premier temps, nous nous sommes adonnés à une réflexion épistémologique sur les concepts de Web sémantique, ressource éducative et communauté de pratique en vue de les expliciter, d'en développer la compréhension et d'en renforcer l'utilisation. Dans un deuxième temps, nous avons mis en exergue les potentialités et les limites du Web sémantique en relation avec le contexte éducatif et en fonction du travail d'explicitation fait auparavant.

Tout au long de cette démarche, nous avons été attentifs à intégrer un regard pluridisciplinaire en conjuguant divers points de vue provenant, entre autres, des champs de l'informatique, de la sociologie, des didactiques des disciplines et des sciences de l'éducation. Nous avons situé ce regard pluridisciplinaire en perspective avec notre propre domaine professionnel, celui des technologies de l'information et de la communication appliquées à la formation, ainsi qu'avec notre approche en ingénierie des systèmes d'apprentissage ; celle-ci est issue, d'une part, d'une pratique en matière de conception pédagogique dont les origines sont la technologie éducative et la modélisation d'environnement d'apprentissage en ligne et, d'autre part, d'une expérience de l'encadrement pédagogique d'étudiants à distance [HOT 93a].

Ce travail de réflexion sur la signification des concepts pris en compte par la problématique de l'apport des communautés de pratique dans la constitution des banques de ressources éducatives et dans leur utilisation a contribué à faire évoluer notre perception de certains aspects touchant le Web sémantique, les banques de ressources éducatives et les communautés de pratique, en lien avec le contexte éducatif actuel. Ce dernier est marqué par une mutualisation des pratiques et par une coopération disciplinaire en vue de construire un univers pédagogique nouveau.

Pour sa part, l'analyse des potentialités et des limites du projet du Web sémantique, en regard de son intégration dans les pratiques éducatives, nous a permis de prendre conscience du réel potentiel du développement lié au Web sémantique à constituer un puissant levier à la production et à la diffusion de la connaissance. En contrepartie, cette analyse nous a aussi conduits à nous interroger très sérieusement sur tout ce qui concerne la construction de la signification, entre autres, selon une ingénierie des connaissances guidée par des ontologies au caractère consensuel. Ces dernières imposent *a priori* un sens au message, sens partagé par une communauté désireuse de se comprendre. Il est légitime de se demander alors ce

qu'il advient du conflit cognitif ou de l'extériorisation de la pensée comme processus essentiel à l'apprentissage.

La documentation en support à notre contribution, combinée à notre propre expérience professionnelle nous a amenés à découvrir le paysage cognitiviste qui se profile derrière l'entreprise du Web sémantique (incluant entre autres des approches de l'intelligence artificielle) et l'influence de ce dernier sur notre propre posture de chercheur et de praticien. A ce propos, nous nous référons à Gardner [GAR 93] qui, traitant des caractéristiques généralement associées aux travaux dans le domaine des sciences cognitives, indique la croyance des cognitivistes en l'importance des recherches interdisciplinaires : « l'espoir est de voir un jour s'atténuer et peut-être complètement disparaître les frontières entre ces disciplines [celles formant les sciences cognitives] pour produire une seule science cognitive unifiée ».

Nous avons souhaité mettre en évidence le besoin de recadrer notre utilisation des objets conceptuels et méthodologiques empruntés à d'autres disciplines, de façon à ne pas perdre de vue leur sens et leur usage premiers, et d'élargir notre champ d'observation pour prendre en compte le contexte et l'historique des ressources éducatives au sein de la communauté où elles sont produites et utilisées. Ainsi, nous croyons qu'il faut redonner sa place au contexte d'apprentissage dans lequel les actions et les pensées se produisent, ici les communautés de pratique. Ces dernières contribuent, en tant qu'auteurs et utilisatrices de leur propre patrimoine, à enrichir l'usage prescrit d'une ressource éducative de son utilisation, cette utilisation étant inscrite dans le cours d'une pratique qui a sa propre mémoire et sa propre finalité.

10.5. Bibliographie

- [ARO 04] AROYO L., DICHEVA D., « The New Challenges for E-learning : The Educational Semantic Web », *Journal of Educational Technology and Society*, vol. 7, n° 4, p. 59-69, 2004, disponible sur le Web : <http://www.ifets.info/> (consulté en décembre 2006).
- [BAC 03] BACHIMONT B., « Du Web sémantique au Web intelligible : entre prescription et appropriation », Communication à la *journée Web sémantique et Sciences humaines et sociales*, WS-SHS-2003, CNRS/STIC, 2003 [en ligne] : <http://www.lalic.paris4.sorbonne.fr/stic/mai2003/programme070503.html> (consulté en juin 2006).
- [BEG 04] BEGUIN P., CLOT Y., « L'action située dans le développement de l'activité », *@ctivités*, vol. 1, n° 2, p. 27-49, 2004, disponible sur le Web : <http://www.activites.org/v1n2/html/beguिन.fr.html> (consulté en novembre 2006).

- [BEN 98] BENDER C., « Bakhtinian perspectives on “everyday life” sociology », dans Bell M.M., Gardiner M. (dir.), *Bakhtine and the Human Sciences*, Sage Publications, Londres, p. 181-195, 1998.
- [BER 01] BERNERS-LEE T., HENDLER J., LASSILA O., « The semantic web », *Scientific American Magazine*, vol. 284, n° 5, p. 34-43, 2001, disponible sur le Web : <http://www.sciam.com/article.cfm?articleID=00048144-10D2-1C70-84A9809EC588EF21> (consulté en décembre 2006).
- [BRA 03] BRASSAC C., « Lev, Ignace, Jérôme et les autres... Vers une perspective constructiviste en psychologie interactionniste », *Technologies, Idéologies et Pratiques : revue d'anthropologie des connaissances*, vol. 15, n° 1, p. 195-214, 2003, disponible sur le Web : <http://www.univ-nancy2.fr/pers/brassac/PublicationsBrassac.pdf/lij.pdf> (consulté en décembre 2006).
- [BRU 97] BRUNER J., BONIN Y., *Car la culture donne forme à l'esprit : de la révolution cognitive à la psychologie culturelle*, 2^e édition Eshel, Paris, 1997.
- [CHA 04] CHARLET J., BACHIMONT B., TRONCY R., « Ontologie pour le web sémantique », *Information, Interaction, Intelligence*, Hors Série Web sémantique, vol. 4, n° 2, 2004, disponible sur le Web : http://www.revue-i3.org/hors_serie/annee2004/index.html (consulté en décembre 06).
- [CON 03] CONTAMINES J., GEORGE S., HOTTE R., « Approche instrumentale des banques de ressources éducatives », dans Bruillard E., De La Passardière B. (dir.), *Sciences et techniques éducatives*, numéro spécial Ressources Numériques, XML et Education, p. 157-178, 2003.
- [DEH 05] DEHORS S., FARON-ZUCKER C., GIBOIN A., STROMBONI J.-P., « QBLS : web sémantique de formation pour un apprentissage par questionnement », dans Tchounikine P., Joab M., Trouche L. (dir.), *Actes de la conférence EIAH 2005*, p. 419-424, INRP, Paris, 2005, disponible sur le Web : <http://archiveseiah.univ-lemans.fr/consulter.php> (consulté en décembre 2006).
- [DEL 00] DELESTRE N., « La construction automatique de cours hypermédia adaptés à l'apprenant par agencement de briques élémentaires », dans Bourigault D., Charlet J., Kassel G., Zacklad M. (dir.), *Actes de la conférence IC'2000*, p. 35-46, Eyrolles, Paris, 2000.
- [DES 06] DESMOULINS C., GRANDBASTIEN M., « Ingénierie des EIAH fondée sur des ontologies », dans Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 161-180, Hermès, Paris, 2006.
- [DIL 03] DILLENBOURG P., POIRIER C., CARLES L., « Communautés virtuelles d'apprentissage : e-jargon ou nouveau paradigme », dans Taurisson A., Sentini A. (dir.), *Pédagogies.net. L'essor des communautés virtuelles d'apprentissage*, p. 11-48, Presses de l'Université du Québec, 2003.

- [DOR 98] DORE S., BASQUE J., « Le concept d'environnement d'apprentissage informatisé », *Journal of Distance Education/Revue de l'Enseignement à Distance*, vol. 13, n° 1, p. 1-20, 1998.
- [DOW 01] DOWNES S., « Learning Objects : Resources For Distance Education Worldwide », *International Review of Research in Open and Distance Learning*, vol. 2, n° 1, 2001, [en ligne] : <http://www.irrodl.org/index.php/irrodl/article/view/32/378> (consulté en septembre 2006).
- [DUF 04] DUFOUR D.-R., « Quel est le sujet de l'analyse ? », *Le nouvel Observateur*, vol. 59, numéro spécial : *La psychanalyse en procès*, p. 48-51, 2004.
- [EUZ 03] EUZENAT J., « De la sémantique formelle à une approche computationnelle de l'interprétation », Communication à la *Journée Web sémantique et Sciences humaines et sociales*, WS-SHS-2003, CNRS/STIC, [en ligne] : <http://www.lalic.paris4.sorbonne.fr/stic/mai2003/programme070503.html> (consulté en juin 2006).
- [FOR 97] FORTE E.N., WENTLAND FORTE M.H.K., DUVAL E., « The ARIADNE Project (parts 1 and 2) : Knowledge Pools for Computer Based and Telematics Supported Classical, Open and Distance education », *European Journal of Engineering Education*, vol. 22, n° 1 et n° 2, p. 61-74 et p. 153-166, 1997.
- [FRI 01] FRIESEN N., « What are Educational Objects ? », *Journal of Interactive Learning Environments*, vol. 9, n° 3, p. 219-230, 2001.
- [GAR 93] GARDNER H., *Histoire de la révolution cognitive. La nouvelle science de l'esprit*, Payot, Paris, 1993.
- [GRU 93] GRUBER T., « A translation approach to portable ontology specifications », *Knowledge Acquisition*, vol. 5, n° 2, p. 199-220, 1993.
- [HOT 93a] HOTTE R., « Computer-based Support for Students in Distance Learning », *Télématique pédagogique*, Concours de scénarios 1992-1993, dossier n° 23, p. 29-31, Centre informatique pédagogique, 1993.
- [HOT 93b] HOTTE R., « Encadrement assisté par ordinateur et formation à distance », *Journal of Distance Education/Revue de l'enseignement à distance*, vol. 8, n° 2, p. 37-53, 1993.
- [KLA 00] KLASSEN P., « Architectures for learning object repositories », communication au *Congrès annuel du Réseau des Centres d'Excellence en Téléapprentissage*, Toronto, 2000.
- [KOP 05] KOPER R., TATTERSALL C. (DIR.), *Learning Design : A handbook on Modelling and Delivering Networked Education and Training*, Springer, Berlin Heidelberg, 2005.
- [KRD 04] KRZAVAC N., GASEVIC D., « Description Logics Reasoning in Web-Based Education Environments », *Actes du Workshop Adaptive Hypermedia and Collaborative Web-based*, Munich, 2004, [en ligne] : <http://www.ii.uam.es/%7Ecarro/AHCW04/Krdzavac.pdf> (consulté en janvier 2006).

- [LAM 05] LAMONTAGNE D., « Le répertoire Thot des dépôts d'objets d'apprentissage. 41 dépôts, plus de 1 million d'objets ! », ©Thot/Cursus, 2005, [en ligne] : <http://thot.cursus.edu/rubrique.asp?no=18059> (consulté en avril 2006).
- [LAU 04] LAUBLET P., CHARLET J., REYNAUD C., « Introduction au Web Sémantique », *Information, Interaction, Intelligence*, Hors Série Web sémantique, vol. 4, n° 2, 2004, disponible sur le Web : http://www.revue-i3.org/hors_serie/annee2004/index.html (consulté en décembre 2006).
- [LAV 91] LAVE J., WENGER E., *Situated learning : Legitimate peripheral participation*, Cambridge University Press, Cambridge, 1991.
- [LEG 04] LEGER A., CHARLET J., « Applications du Web sémantique », *Information, Interaction, Intelligence*, Hors Série Web sémantique, vol. 4, n°2, 2004, disponible sur le Web : http://www.revue-i3.org/hors_serie/annee2004/index.html (consulté en décembre 2006).
- [LEM 87] LE MOIGNE J.L., « Qu'est-ce qu'un modèle ? », *Confrontation psychiatrique*, numéro spécial consacré aux modèles, 1987.
- [LSA 05] LAMA M., SANCHEZ E., AMORIN R., VILA X., « Semantic Description of the IMS Learning Design Specification », *Actes de International Workshop on Applications of Semantic Web Technologies for E-Learning (SW-EL)*, Amsterdam, 2005, [en ligne] : <http://www.win.tue.nl/SW-EL/2005/swel05-aied05/proceedings/6-Lama-final-full.pdf> (consulté en décembre 2006).
- [MIZ 04] MIZOGUCHI R., « Le rôle de l'ingénierie ontologique dans le domaine des EIAH », *STICEF*, vol. 11, p. 231-246, Rubrique, 2004, [en ligne] : http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2004/mizoguchi-06/sticef_2004_mizoguchi_06.pdf (consulté en novembre 2006).
- [MOR 05] MORIN E., *Introduction à la Pensée complexe*, Le Seuil, Paris, réédition 2005.
- [MOU 03] MOULIN C., ABEL M.-H., BENAYACHE A., LENNE D., « Modélisation d'une Mémoire de Formation : le choix des Topic Maps », *Actes de la Conférence IC'2003*, Laval, France, p. 193-206, 2003.
- [OWL] WEB Ontology Language, site recommandé par le W3C : <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-ref-20040210/> (consulté en décembre 2006).
- [PAL 03] PALMONARI A., ZANI B., « Les études de communautés », dans Moscovici S., Buschini F. (dir.), *Les méthodes des sciences humaines*, p. 11-38, PUF, Paris, 2003.
- [PAQ 02] PAQUETTE G., ROSCA I., « Organic Aggregation of Knowledge Objects in Educational Systems », *Canadian Journal of Learning Technologies*, vol. 28, n° 3, p. 11-26, 2002, [en ligne] : http://www.cjlt.ca/content/vol28.3/paquette_rosca.html (consulté en décembre 2006).
- [PAQ 04] PAQUETTE G., « L'ingénierie pédagogique à base d'objets et le référencement par compétences », *Journal international des technologies dans l'enseignement supérieur*, vol. 1, n° 3, p. 44-55, 2004.

- [PAS 05] PASTRE P., « Genèse et identité », dans Rabardel P., Pastré P. (dir.), *Modèles du sujet pour la conception. Dialectiques activités développement*, p. 231-260, Octarès, Toulouse, 2005.
- [PSY 03] PSYCHE V., MENDES O., BOURDEAU J., « Apport de l'ingénierie ontologique aux environnements de formation à distance », *STICEF*, vol. 10, p. 89-126, 2003, [en ligne] : <http://www.sticef.org> (consulté en février 2006).
- [RAB 95] RABARDEL P., *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*, Armand Colin, Paris, 1995.
- [ROB 04] ROBILLARD J., « Ontologies : antinomies, contradictions et autres difficultés épistémologiques du concept », *STICEF*, vol. 11, p. 247-268, 2004, [en ligne] : <http://www.sticef.org> (consulté en septembre 2006).
- [ROG 04] ROGOZAN D., PAQUETTE G. ROSCA I., « Gestion de l'évolution de l'ontologie utilisée comme référentiel sémantique dans un environnement de téléapprentissage », *Actes de la conférence TICE 2004*, p. 245-252, Compiègne, France, 2004.
- [SCO 05] SCOTT B., JOHNSON Z., « Using Topic Maps as Part of Learning Design – Some History and a Case Study », *Actes de la conférence MICTE*, 2005, [en ligne] : <http://www.formatex.org/micte2005/152.pdf> (consulté en février 2007).
- [WEN 98] WENGER E., *Communities of practice : Learning, meaning and identity*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
- [WIL 00] WILEY D., *Learning object design and sequencing theory*, Thèse de doctorat, Université Brigham Young, 2000.
- [WIN 05] WINTER M., BROOKS C., GREER J., « Towards Best Practices for Semantic Web Student Modeling », dans Looi C.-K., McCalla G., Bredeweg B., Breuker J. (dir.), *Artificial Intelligence in Education – Supporting Learning through Intelligent and Socially Informed Technology*, p. 694-701, IOS Press, Amsterdam, 2005.
- [ZAC 03] ZACKLAD M., CAHIER J.-P., PETARD X., « Du Web Cognitivement Sémantique au Web Socio-Sémantique », Communication à la *Journée Web sémantique et Sciences humaines et sociales*, WS-SHS-2003, CNRS/STIC, 2003, [en ligne] : <http://www.lalic.paris4.sorbonne.fr/stic/mai2003/programme070503.html> (consulté en juin 2006).

Chapitre 11

Technologies, Web sémantique et éducation : quelques défis et tendances

11.1. Introduction

Les contributions à cet ouvrage témoignent d'une grande diversité d'approches et de points de vue sur les questions relatives aux technologies éducatives, à la conception et aux usages de ressources ou d'environnements informatisés pour l'apprentissage, dans le contexte actuel des transformations multiples et rapides des technologies et de leur diffusion. Elles montrent, outre la diversité des points de vue (discipline, cadre de référence, problématique des travaux), une variété d'artefacts, d'activités instrumentées, de situations, de dispositifs de formation et d'acteurs concernés. Leur ensemble offre ainsi une sorte de vue kaléidoscopique, qui met en évidence la complexité de l'analyse de l'existant et des travaux en cours, et par suite de la tâche à laquelle a été consacré le symposium dont cet ouvrage est le fruit (voir Introduction).

Dans ce chapitre final, nous analyserons d'abord quelques défis relatifs à la conception de ressources ou d'environnements informatisés pour l'apprentissage humain et plus généralement aux sciences et technologies de l'information et de la communication pour l'éducation et la formation (STICEF). Nous proposerons ensuite quelques éclairages sur des approches et des travaux actuels, qui s'inscrivent en partie dans le cadre du *Web sémantique* et qui concernent notamment l'élaboration de modèles et de standards spécifiques au domaine, la conception de *viviers de ressources* ou d'environnements pour la formation. Cela nous conduira à

envisager de nouvelles formes d'intervention sur le plan de l'ingénierie pédagogique. Nous discuterons enfin de quelques tendances et perspectives avant de conclure.

11.2. Quelques constats et défis

La conception de ressources ou d'environnements informatisés pour l'apprentissage humain, dans une optique incontournable d'échange, de mutualisation et de réutilisation – qui peut être envisagée à différentes échelles – pose des problèmes qui concernent plusieurs champs disciplinaires, plusieurs domaines de recherche et de pratique, avec des communautés d'acteurs multiples (métiers, contextes institutionnels), sur la base d'une importante composante technologique en évolution rapide. Plusieurs sources de difficulté peuvent être soulignées.

11.2.1. Les STICEF : un domaine de recherche complexe

Le sigle STICEF⁵⁶ (sciences et technologies de l'information et de la communication pour l'éducation et la formation) a pour vocation de rassembler les champs de recherche concernés par la conception et les usages d'environnements informatisés pour l'apprentissage, relevant notamment des STIC, des didactiques des disciplines, des sciences de l'éducation et de la psychologie, ces domaines étant eux-mêmes « composites ». Les travaux s'inscrivent aussi dans un cadre international comportant des courants de recherche et des communautés multiples, comme en rassemble par exemple, au niveau européen, le réseau de recherche Kaleidoscope [KAL], ou, au niveau international, la société Artificial Intelligence in Education [AIE].

Ce caractère fortement pluridisciplinaire est, avec le caractère technologique et expérimental du domaine, l'une des difficultés spécifiques qui ont été analysées par un groupe de travail sur les fondements théoriques et méthodologiques pour la conception des EIAH (environnements informatiques pour l'apprentissage humain) [TCH 04]. Ce groupe a élaboré une première version d'un cadre d'analyse multidimensionnelle des travaux, en vue de favoriser une meilleure intercompréhension entre les champs disciplinaires concernés. Un travail important d'explicitation des cadres de référence et des problématiques des différents champs de recherche a également été réalisé à l'occasion de plusieurs éditions de l'école

56. STICEF est aussi le nom de la revue francophone du domaine [STI]. Ce sigle recouvre un ensemble plus large de travaux que le sigle EIAH (environnements informatiques pour l'apprentissage humain) pris au sens strict (voir Introduction et [TCH 04]). Il contient les sigles TIC et TICE, utilisés dans les contextes de pratiques scolaire et universitaire.

d'été pluridisciplinaire EIAH du CNRS ; l'ouvrage de synthèse francophone coordonné par Grandbastien et Labat [GRA 06], orienté vers l'*ingénierie* des EIAH, contient des éléments intéressants pour une cartographie de ces champs et pour la prise en compte de connaissances scientifiques et de dimensions d'analyse utiles à l'articulation des approches et des ingénieries concernées (modèles, méthodes, outils, techniques).

Les travaux en STICEF sont à situer, d'une part, par rapport au contexte des STIC, « toile de fond » des sciences et technologies de l'information et de la communication, et, d'autre part, par rapport aux contextes d'usage et de pratique en éducation et formation.

11.2.2. Les STIC : une évolution rapide

Les STIC sont elles-mêmes composites, constituées notamment de l'informatique, de l'automatique et de l'électronique, auxquelles on peut ajouter, pour une acception plus large, des sciences humaines et sociales, parmi les sciences de l'information ou de la communication concernées par les technologies. La composante informatique, elle aussi composite -et de plus en plus associée aux télécommunications- connaît, particulièrement depuis une dizaine d'années, des développements rapides sur le plan du matériel (machines, réseaux, objets mobiles et communicants), sur le plan du logiciel, ainsi que sur le plan de la diffusion et des usages d'artefacts dans la société. Sur le plan du logiciel, qu'il s'agisse de multimédia, de systèmes distribués, de génie logiciel, d'intelligence artificielle, d'interface ou d'interaction humains-machines, de nombreux langages, modèles, techniques, méthodes et outils se sont succédés, certains sont actuellement au stade de la recherche ou de proposition innovante.

L'évolution des STIC a donné lieu à différents paradigmes pour la conception de ressources et d'environnements pour l'apprentissage, selon différentes formes de *partenariat* entre les acteurs humains et la machine (voir chapitre 4), comme cela a été le cas par exemple dans les années 1980-90 avec les micromondes, les systèmes tutoriels intelligents ou les hypermédiats. Depuis le milieu des années 1990, l'objectif de conception de systèmes de formation distribués a conduit à envisager des questions comme celles des environnements *d'apprentissage collaboratif* (voir chapitre 3) ou du *suivi d'apprenants* à distance (voir chapitre 4 et [LAB 06]). Ces questions, qui font encore l'objet de travaux de recherche, sont aussi à reconsidérer dans les cadres technologiques plus récents des plates-formes Web et de l'informatique « nomade » (ou ubiquitaire), avec la problématique émergente de « l'apprentissage mobile ». Ces cadres rendent envisageables de nouveaux dispositifs, avec une diversification des contextes d'usage potentiels, qui nécessitent

de nouveaux travaux, ainsi que l'élaboration de nouvelles méthodes d'expérimentation et d'analyse des usages.

Ainsi, des articulations multiples – qui ne sont qu'évoquées dans ce qui précède – existent entre les travaux de recherche et développement dans les STIC et ceux relevant des STICEF ; les problèmes abordés par ces derniers peuvent aussi entraîner des développements des premiers, comme cela a été le cas, par exemple, avec les paradigmes des systèmes tutoriels intelligents et des micromondes, l'ingénierie des connaissances et la conception de systèmes interactifs. On peut voir une certaine dialectique présidant à l'évolution conjointe des STIC et des STICEF, l'état d'évolution permanente des technologies étant une source de difficultés pour la capitalisation des travaux, des résultats de recherche et des artefacts produits en STICEF.

11.2.3. Les TICE : des usages en évolution

Parallèlement aux développements scientifiques et technologiques, des artefacts informatiques se répandent et leurs usages se développent, depuis quelques années, dans des milieux professionnels et dans la société en général, malgré l'état évolutif des technologies (matérielles et logicielles) et des savoirs concernant leurs usages. Dans les contextes de l'éducation et de la formation, des TICE sont en fait utilisées depuis de nombreuses années, sous des formes qui ont évolué, avec différents types d'artefacts ou de ressources [BAR 96, BRU 06]. Plusieurs classifications des artefacts ont été proposées, distinguant généralement des outils de communication entre acteurs (messagerie électronique, forum, etc.), des outils de traitement d'information (outils de calcul ou de recherche d'information par exemple), des outils pour des activités disciplinaires (logiciels de calcul symbolique ou de géométrie en mathématiques, de lexicologie pour l'étude de textes ou d'expérimentation assistée par ordinateur en sciences), des environnements d'aide à l'apprentissage (didacticiels, EIAH) et des outils auteurs pour la conception de ressources. L'analyse des usages pédagogiques d'artefacts nécessite de considérer les situations d'apprentissage et les *environnements d'apprentissage informatisés* dans lesquels ces usages sont situés, ces environnements comportant des acteurs humains et des artefacts, selon le sens considéré dans cet ouvrage (voir chapitre 6, paragraphe 6.3.3 et chapitre 7, paragraphe 7.2.2). Le développement des usages est variable selon les contextes, qui peuvent être caractérisés suivant plusieurs critères, notamment : modalités de formation (en présence, en ligne, mixte), disciplines, niveaux, cadre institutionnel, environnement technique.

Les TICE sont au cœur des dispositifs de formation à distance, qui concernent principalement la formation universitaire ou professionnelle et qui impliquent

désormais l'utilisation d'une plate-forme de formation, les apprenants et les formateurs disposant généralement d'un ordinateur personnel et d'une connexion Internet. Il existe actuellement un nombre important de telles plates-formes, réalisées selon différentes approches technologiques [DER 06] et pédagogiques. Si certaines utilisent des formats propriétaires, qui posent des problèmes d'interopérabilité, et si elles offrent encore peu de fonctionnalités pédagogiques (par exemple pour le suivi d'apprenants par des tuteurs), elles permettent cependant la mise en œuvre progressive de dispositifs de formation à distance, en ligne ou hybrides [CHA 06]. Ceux-ci peuvent donner lieu à des analyses d'usage en situation réelle (analyse d'usage d'outils de communication, de travail collaboratif ou d'environnements d'apprentissage à distance), qui sont nécessaires au progrès des connaissances en STICEF et à l'amélioration de tels dispositifs.

Dans les contextes scolaire et universitaire en France (comme dans d'autres pays), des directives et des actions officielles visent à favoriser l'utilisation des TICE. Ainsi, des projets récents d'universités numériques (thématiques ou régionales), basés sur des réseaux d'établissements, ont pour objectif la production, la mutualisation et la diffusion de ressources, ainsi que le développement de services numériques [TIC]. Des environnements numériques de travail (ENT) ou de formation, destinés à en faciliter l'accès aux étudiants et aux personnels, sont progressivement mis en place dans les établissements. Des *ressources numériques* de différents types sont de plus en plus disponibles, en complément des ressources documentaires ou des manuels traditionnels, dans les centres de ressources ou sur les sites institutionnels, ainsi que sur des sites privés, associatifs ou commerciaux (sites d'éditeurs scolaires notamment). Qu'en est-il du développement des usages et des pratiques, de l'utilisation de ces ressources en situation d'enseignement ou d'apprentissage ? Les réponses dépendent des contextes et des acteurs.

En contexte scolaire, comme l'ont constaté Guin et Trouche pour les mathématiques (voir chapitre 7), « malgré l'enthousiasme d'enseignants pionniers et malgré des actions institutionnelles, l'intégration des TIC dans l'enseignement des mathématiques croît très faiblement, au regard de l'équipement des établissements et de l'évolution des outils technologiques ». Par ailleurs Bruillard et Baron [BRU 06] relèvent plusieurs facteurs critiques pour les usages des TIC et pour leur évolution, en milieu scolaire. Ils s'interrogent notamment sur les compétences nécessaires (des élèves et des enseignants) pour utiliser des « instruments généraux » (tels que traitement de textes ou outil de recherche d'information), particulièrement pour ce qui concerne leurs fonctionnalités avancées, et sur le besoin d'une formation spécifique qui ne semble pas encore assurée par le système éducatif. Ils notent en outre que l'usage de ces outils « pose des problèmes de compatibilité par rapport au fonctionnement précédent. On est encore dans ce qu'on pourrait appeler un régime

transitoire perturbé. Les usages qui finiront par être considérés comme légitimes [...] font l'objet d'une invention progressive ».

On peut s'interroger aussi sur la complexité globale de l'usage d'un ordinateur. Celui-ci peut être vu comme un méta-artefact « ouvert », intégrant (ou susceptible d'intégrer) toutes sortes d'artefacts logiciels de différents niveaux -à la base, le niveau du système d'exploitation. Ces artefacts logiciels offrent des fonctionnalités diverses nécessitant chacune une *genèse instrumentale* propre, qui peut s'effectuer à différents degrés d'expertise. L'ordinateur permet ainsi une certaine unité de lieu pour des activités instrumentées de nature diverse (consultation, production ou archivage de ressources, recherche ou traitement d'information, activité d'apprentissage, communication, jeu, etc.). Si son utilisation peut être appréhendée localement et progressivement, à travers l'usage d'artefacts logiciels particuliers, il s'agit d'un artefact complexe ; on peut penser que la culture qu'a un individu vis-à-vis de l'ordinateur et des concepts généraux de l'informatique influence fortement ses usages ainsi que sa représentation et sa compréhension des processus associés.

Les problèmes liés à cette culture s'ajoutant aux problèmes analysés en termes de *distance instrumentale* par Haspékian et Artigue, dans le cadre de l'usage du tableur pour l'apprentissage de l'algèbre (voir chapitre 1), conduisent à s'interroger, comme le fait Crozat pour le document numérique (voir chapitre 9), sur « les conditions d'intelligibilité » et sur « l'articulation entre manipulabilité technique et intelligibilité interprétative », à propos de tels artefacts logiciels. Ceci rejoint ce que notent Bruillard et Baron (*ibidem*) pour les « instruments disciplinaires » : « la difficulté, pour les disciplines, est bien d'assurer que les élèves maîtrisent non seulement les instruments dans leur mise en œuvre, mais surtout dans l'interprétation de ce qu'ils produisent. Les enseignants assument une responsabilité sur les contenus, mais aussi sur les instruments qui, d'une certaine manière, sont partie prenante de ces contenus. Ainsi, la formation des enseignants, leur capacité à innover, restent des facteurs critiques de développement ».

Ces problèmes renvoient donc à des questions de formation, tant générale que professionnelle. Des dispositifs tels que le SFoDEM (voir chapitre 7) offrent une piste de réflexion pour la formation d'enseignants à la fois à la conception de ressources pédagogiques et à l'utilisation des TIC. Mais la formation des enseignants n'est qu'une des conditions nécessaires à l'évolution des usages, selon Bruillard et Baron (*ibidem*) : « plusieurs processus différents sont à l'œuvre derrière les usages [...] c'est l'analyse d'un système complexe et de son évolution qui est requise », le renouvellement rapide des technologies étant par ailleurs une source de difficulté pour le développement de pratiques.

11.2.4. *Des processus multiples de conception d'artefacts*

Entre l'idée d'un artefact et son utilisation réelle par les utilisateurs auxquels il est destiné, le processus de conception peut relever de différents stades : recherche, invention, prototypage, expérimentation, diffusion (locale ou à plus large échelle), mise en œuvre dans des pratiques, etc. Ces stades, qui ne sont pas nécessairement tous suivis par un même artefact, impliquent des acteurs appartenant à différentes communautés de pratique, dont la coopération est importante pour le processus de conception, comme en témoignent les exemples suivants, qui montrent aussi des niveaux de conception imbriqués : conception d'outil ou de dispositif pour la conception de ressources.

Ainsi, dans le cadre de la conception d'un éditeur de scénarios pour la formation à distance, avec un prototype en cours d'expérimentation, Henri et Maina (voir chapitre 8) ont eu pour objectif « de *créer un pont* entre enseignants utilisateurs et concepteurs technologiques de l'éditeur MOT+LD ». Sur la base de l'analyse des pratiques d'enseignants et de la structure des activités proposées par l'artefact, ils soulignent que « ces deux groupes sont concernés par la conception d'un outil s'appuyant sur le design pédagogique, mais ils ont sur ce sujet des points de vue qui leur sont propres et qui s'inspirent de logiques différentes ». Leur étude les conduit à conclure sur la nécessité de réconcilier ces points de vue en re-conceptualisant le design pédagogique sous une forme qui permettrait une meilleure coopération entre ces deux catégories d'acteurs, dans le cadre d'une démarche de *conception participative* de l'outil.

Strebel, Depover et De Lièvre (voir chapitre 5) analysent le processus d'innovation techno-pédagogique dont a fait l'objet le développement d'usages de l'environnement de modélisation scientifique ModellingSpace, dans le cadre d'un projet européen. Ils soulignent l'importance de la constitution de *réseaux* d'acteurs, dont ils ont analysé le fonctionnement et l'évolution vers des communautés de pratique ; cette évolution a été facilitée notamment par les outils instrumentant le travail collaboratif à distance pour la production de scénarios d'usage de l'artefact. Selon leur analyse, « le recours au concept de communauté de pratique permet de mieux comprendre le rôle des différents acteurs dans le processus d'innovation en considérant notamment la *culture professionnelle* à laquelle ils appartiennent. En particulier, la nature des liens qui existent entre les communautés de praticiens et de chercheurs est souvent éclairante pour décrire les dynamiques qui se mettent en place aux différentes étapes du processus d'innovation ».

Apportant un autre témoignage à propos de la conception de *ressources pédagogiques* innovantes, dans le cadre du dispositif SFoDEM, l'analyse de Guin et

Trouche (voir chapitre 7) montre l'importance des interactions entre stagiaires et formateurs, pour l'évolution vers un processus de *conception collaborative* des ressources et l'émergence d'une communauté de pratique.

11.3. STICEF et Web sémantique

Malgré une diffusion croissante de ressources éducatives multimédia et d'artefacts pour l'apprentissage, la conception d'environnements d'apprentissage informatisés ou de ressources réellement *réutilisables*, selon des points de vue à la fois didactique, pédagogique et technologique, est encore largement à des stades de recherche, d'expérimentation ou d'innovation, comme en témoignent les chapitres de cet ouvrage. Ceci concerne, outre des problèmes d'organisation humaine et matérielle pour les dispositifs réels de formation visés, différents aspects : des questions de conception pédagogique et technologique, ainsi que des questions d'*instrumentation* des pratiques des acteurs concernés (concepteurs et utilisateurs pour différents niveaux d'artefacts), en particulier des pratiques professionnelles des enseignants.

Parallèlement à des travaux relatifs à la conception et aux usages d'artefacts interactifs de type micromonde ou système tutoriel intelligent (voir par exemple l'environnement Combien ? [GIR 06]), des travaux ont été développés en STICEF, depuis le milieu des années 1990, pour la conception de systèmes de formation distribués et de systèmes de gestion de ressources (ou de *contenus*), en liaison avec les domaines de l'ingénierie des connaissances et des hypermédias. Des processus de standardisation spécifiques ont été menés au niveau international, pour favoriser la réutilisation des ressources et des artefacts (voir par exemple la synthèse faite par Pernin [PER 06] et paragraphe 11.3.2.1). Le développement des usages du langage XML a conduit à interroger la notion de *ressource numérique éducative* [BRU 03], pour ce qui concerne notamment les modèles, les moyens de production, d'indexation et de composition de ressources. Suite au développement des technologies et des usages du Web – une application du principe de l'hypertexte sur Internet – de plus en plus d'organismes mettent à disposition des ressources sur des sites Web. Le projet du *Web sémantique* proposé en 2001 [SEM] ayant eu précisément pour objectif général de favoriser la réutilisation des ressources du Web par les humains et par les machines, des travaux spécifiques au domaine de l'éducation et de la formation se sont « naturellement » inscrits dans ce cadre, dans le prolongement de travaux antérieurs. Nous n'évoquons ici que quelques aspects du projet du Web sémantique et des travaux liés en STICEF ; nous reviendrons ultérieurement sur les débats que suscite le Web sémantique (voir paragraphe 11.4.1).

11.3.1. *Le cadre du Web sémantique*

Le Web sémantique est un projet complexe, relevant des STIC (voir paragraphe 11.2.2), intégrant notamment des principes et des technologies du génie logiciel, des bases de données, des systèmes distribués et de l'ingénierie des connaissances. Ainsi que le présentent Laublet, Charlet et Reynaud [LAU 04], le projet est celui d'un Web vu comme « un vaste espace d'échange de ressources entre êtres humains et machines permettant une exploitation, qualitativement supérieure, de grands volumes d'informations et de services variés », avec des « capacités accrues des machines à accéder aux contenus des ressources et à effectuer des raisonnements sur ceux-ci », grâce à une représentation sémantique des contenus. Cette association de connaissances aux informations diffusées sur le Web est basée sur l'utilisation de métadonnées et d'ontologies (voir paragraphe 11.3.2), comme le rappellent aussi dans cet ouvrage Hotte et Contamines (voir chapitre 10, paragraphe 10.2.1).

Le programme du Web sémantique s'est inscrit dans les travaux du W3C (World Wide Web Consortium [W3C]), qui visent à développer des technologies interopérables pour le Web en élaborant des *recommandations* (c'est-à-dire des *standards* industriels qui peuvent être révisés). La recommandation du langage XML, langage de balisage extensible qui se trouve à la base des langages du Web sémantique, avait été proposée antérieurement, en 1998, pour faciliter l'adaptation au Web du langage SGML (*Standard Generalized Markup Language*) employé dans l'édition. Comme le mentionne Crozat (voir chapitre 9, paragraphe 9.2.4), le Web sémantique partage en effet avec l'*ingénierie documentaire* des principes pour « la modélisation et la manipulation des structures documentaires », un enjeu commun étant « d'échanger de la matière calculable plutôt que de la matière consultable ». La notion de *ressource Web* (une entité informatique accessible sur le Web) semble cependant plus générale que la notion de *document* au sens usuel, bien que cette notion ait évolué « à la lumière du numérique » en ingénierie documentaire [PED 06].

Un ensemble de recommandations spécifiques au Web sémantique a été élaboré, dont le langage RDF (*Resource Description Framework*), pour la description de ressources par des métadonnées, le langage OWL (*Ontology Web Language*) pour la représentation formelle d'ontologies, proposés tous deux en 2004, ainsi que des langages de schémas et des protocoles pour les services Web (par exemple SOAP, *Simple Object Access Protocol*, pour la transmission de messages entre objets distants). Les travaux actuels concernent le développement des couches hautes du projet (logique, preuve et confiance), visant en particulier la standardisation de langages de règles et de mécanismes de raisonnement pour la conception d'agents logiciels. Le programme du Web sémantique a ainsi progressé par le développement

de standards et de travaux associés, pour l'étude de problèmes et la conception d'outils généraux, par exemple en bases de données, en ingénierie ontologique, ou en systèmes distribués. Des architectures de *portail sémantique* et des outils associés (interface d'interrogation, moteur d'inférence et collecteur de données) ont ainsi été proposés. En articulation forte avec ces développements, des travaux ont été menés dans des domaines d'usage, dont les pratiques visées reposent sur des connaissances identifiées et sur des ressources qui peuvent être mises à disposition sur le Web (ou sur *un web* plus local) pour leur réutilisation par des communautés : ceci est particulièrement le cas dans les domaines de l'éducation et de la formation (ainsi que dans le domaine de la santé). La réalisation et la mise en œuvre des couches hautes du Web sémantique supposent un développement suffisant de l'infrastructure sémantique pour les ressources du Web.

11.3.2. Des travaux en STICEF

L'approche du Web sémantique, qui favorise une ingénierie logicielle à base de composants (agents ou Web services) et de modèles, nécessite l'élaboration de modèles spécifiques aux domaines d'usage : schémas de métadonnées, modèles conceptuels, taxonomies ou ontologies, pour la modélisation de connaissances et le *référencement* des ressources, ou encore modèles de processus comme les scénarios pédagogiques. De tels modèles « métier » doivent être élaborés au sein des communautés concernées, pour être *partagés* ou *partageables*, selon une perspective de modèles « ouverts », c'est-à-dire adaptables à des contextes particuliers et susceptibles d'évoluer - un tel principe de conception n'étant pas évident à mettre en œuvre. Les travaux menés ces dernières années, en liaison avec l'approche du Web sémantique, concernent l'élaboration de tels modèles, la constitution de viviers de connaissances ou de banques de ressources et la conception de systèmes de formation.

11.3.2.1. Schémas de métadonnées et référencement d'objets d'apprentissage

Un schéma de *métadonnées* est un modèle de description de données, dont l'élaboration doit prendre en compte les données à décrire, les objectifs et les contextes de réutilisation envisagés, ainsi que les usages prévus pour le schéma de métadonnées lui-même. L'élaboration de schémas de métadonnées pour les ressources éducatives a fait l'objet de processus de standardisation au niveau international (voir par exemple [PAS 04, PER 06]). Les ressources sont désignées dans ce cadre par le terme générique d'*objet d'apprentissage*, leur *référencement* au moyen de métadonnées vise à faciliter leur recherche et leur réutilisation (par des humains ou des agents logiciels). Plusieurs schémas de métadonnées spécifiques ont été élaborés ces dernières années, avec des catégories de descripteurs concernant

non seulement des informations générales et techniques, le contenu des ressources, mais aussi les contextes d'usage. Le schéma LOM (*Learning Object Metadata*) a été adopté comme standard par l'IEEE⁵⁷ en 2002, sans toutefois aboutir à une norme internationale. Des adaptations de LOM ou profils d'application (c'est-à-dire des schémas compatibles avec le schéma LOM) ont été conçus par diverses communautés, par exemple CanCore au Canada, ou LOM.fr en France ; les adaptations concernent l'ajout de descripteurs, la précision de domaines de valeurs (ou vocabulaire) ou de leur statut (obligatoire, recommandé), les descripteurs de LOM ayant tous le statut facultatif.

Ainsi, de La Passardière et Jarraud [PAS 04] font état des difficultés d'utilisation de LOM, dans le cadre du projet CampuSciences, qui les ont amenés à spécifier le *profil d'application* ManUeL. Ils ont étendu la catégorie 9 (Classification) du LOM avec les descripteurs Discipline, Module et Activité, utilisés antérieurement par les auteurs des ressources de l'UeL (université en ligne), précisé des vocabulaires spécifiques pour trois descripteurs et le statut « obligatoire » ou « recommandé » pour certains éléments. Ils ont en outre conçu un outil permettant d'instrumenter le référencement qu'ils analysent comme une tâche multi-auteurs. Les problèmes spécifiques posés par la description d'objets d'apprentissage de type logiciel (composants pédagogiques) ont fait l'objet des travaux de Rebaï qui propose un schéma de métadonnées particulier [REB 06].

Les problèmes soulevés par la mise en œuvre d'un schéma de métadonnées peuvent également concerner la spécification informatique précise du schéma conceptuel (sous forme de « *Binding XML* » par exemple), qui doit être partagée par les outils qui l'utilisent, pour qu'ils soient réellement *interopérables* ; un tel « binding XML » a été proposé pour LOM en 2005 par l'IEEE. L'interopérabilité sémantique entre différents schémas est liée aux descripteurs, à leur signification et à leurs domaines de valeurs. Un guide de bonnes pratiques pour LOM, publié par le consortium IMS [IMS 06], indique une liste de vocabulaires et taxonomies ; reconnaissant qu'il ne peut y avoir un seul vocabulaire contrôlé acceptable par toutes les communautés, il recommande aussi des règles pour en adopter d'autres.

Différents outils ont été conçus dans le but d'instrumenter le référencement des objets d'apprentissage, comme Paloma [PAQ 04], MétaLab [PAS 04] ou OBGeXE [TOL 05] (voir aussi l'étude comparative faite par Friesen pour CanCore [FRI 05]). Ces outils varient au niveau des choix d'interfaces, de leur capacité à gérer différents schémas de métadonnées et des ontologies, ainsi que dans les capacités d'aide à l'utilisateur. Etant donné la difficulté et la lourdeur du processus de référencement

57. L'IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) est une association professionnelle internationale œuvrant pour le progrès technologique.

de ressources, des approches visent une automatisation au moins partielle, exploitant des données présentes dans l'environnement de conception des ressources ou bien des traces d'activité des acteurs qui les utilisent (annotations par exemple). Ces référencements produisent des bases de données particulières, ou catalogues de métadonnées, destinés à être interrogés via des outils de recherche. La conception d'outils de recherche permettant l'accès à des catalogues distribués sur des réseaux (et qui peuvent aussi utiliser des schémas différents), fait l'objet de travaux relatifs aux bases de données distribuées et hétérogènes, à la conception d'agents de recherche ayant des capacités de raisonnement, et à la conception d'interfaces.

11.3.2.2. *Des ontologies spécifiques*

Une *ontologie*, selon la notion utilisée en ingénierie des connaissances, désigne un modèle de connaissances d'un domaine, qui consiste en la description d'un ensemble de concepts et de relations entre ces concepts. Une telle description, orientée par l'objectif de modélisation, peut être plus ou moins détaillée (selon le niveau de granularité visé) et plus ou moins formalisée (selon le but d'usage du modèle, son état d'élaboration et le langage utilisé) ; des langages spécifiques (tels que OWL) en permettent une représentation informatique sur laquelle peuvent être effectués des traitements (requêtes, raisonnements).

L'élaboration d'ontologies fait l'objet d'approches pluridisciplinaires et du développement d'une ingénierie spécifique, l'ingénierie ontologique, liée à l'ingénierie des connaissances. Psyché, Mendès et Bourdeau [PSY 03] ont présenté une synthèse de cette ingénierie ontologique, de ses fondements, méthodes et outils. Ces auteurs soulignent en particulier, pour les ontologies, le caractère orienté par un but d'usage anticipé, qui peut concerner la communication entre humains et systèmes, l'interopérabilité de systèmes ou des traitements par des agents logiciels, comme c'est le cas pour le Web sémantique. Ils en présentent des usages dans le contexte de la formation à distance ; Desmoulins et Grandbastien [DES 06], Hotte et Contamines (voir chapitre 10, paragraphe 10.2.1) font état également de divers travaux mettant en œuvre des ontologies en EIAH. Le portail « *Ontologies for Education* » [ONT] rassemble des articles de recherche sur ce sujet, indexés eux-mêmes par une ontologie (du domaine Ontologies pour l'éducation) et présentés selon une carte topique qui organise le site.

La conception d'ontologies partagées par une ou plusieurs communautés reste un problème délicat. Parmi les travaux actuels d'élaboration d'ontologies spécifiques aux STICEF, Mizoguchi, Bourdeau et Hayashi ont soumis récemment à la communauté AI and Education [AIE] une proposition d'ontologie complexe pour l'apprentissage, l'enseignement et l'ingénierie pédagogique, le projet Omnibus [OMN]. Leur objectif est, non seulement de fournir un modèle partageable des

connaissances en ingénierie pédagogique, mais aussi de concevoir sur cette base un éditeur de scénario compatible IMS LD (voir paragraphe 11.3.2.3), « *a theory-aware authoring tool based on the ontology* ».

11.3.2.3. Modélisation pédagogique et scénarios

Le développement des dispositifs de *formation en ligne* et la mise à disposition croissante de ressources ont suscité un renouvellement des travaux relatifs à la modélisation pédagogique, notamment avec des approches basées sur les *objets* d'apprentissage, dont Pernin rappelle l'historique et les principes (voir chapitre 6, section 6.2).

Une telle approche, utilisant la notion de *scénario pédagogique* et des principes de modélisation de connaissances, a fait l'objet de la méthode MISA⁵⁸ conçue au LICEF dans les années 1990 [PAQ 02a].

Plus récemment, le *langage de modélisation pédagogique* EML élaboré à l'OUNL⁵⁹ par Koper en 2001 et adopté en 2003 comme standard par l'IMS sous la spécification IMS LD [KOP 05] propose un modèle de scénario⁶⁰ basé sur la notion d'*activité* (d'apprentissage ou de soutien) à laquelle sont associés des *rôles* -tenus par des acteurs- ainsi que des *ressources*.

La spécification IMS LD permet la description précise d'une « unité d'apprentissage » (voir l'exemple présenté ci-dessous), suivant un schéma XML standard qui regroupe les spécifications d'un environnement d'apprentissage et qui pourra être « joué » sur toute plate-forme de formation en ligne dotée de capacités d'interprétation des schémas IMS LD.

Cette spécification réalise ainsi un « pont » entre ingénierie pédagogique et ingénierie technologique, entre la conception et la diffusion d'une unité d'apprentissage.

A titre d'illustration, le modèle pédagogique d'un cours d'agriculture écologique est présenté (voir figure 11.1), sous forme d'une représentation graphique d'une *unité d'apprentissage* IMS LD.

58. Méthode d'ingénierie d'un système d'apprentissage, mentionnée dans cet ouvrage par Henri et Maina (voir chapitre 8, paragraphe 8.2.1).

59. Université ouverte des Pays-Bas (*Open Universiteit Nederland*).

60. Le schéma conceptuel de ce modèle est rappelé dans cet ouvrage par Pernin (voir chapitre 6, figure 6.1).

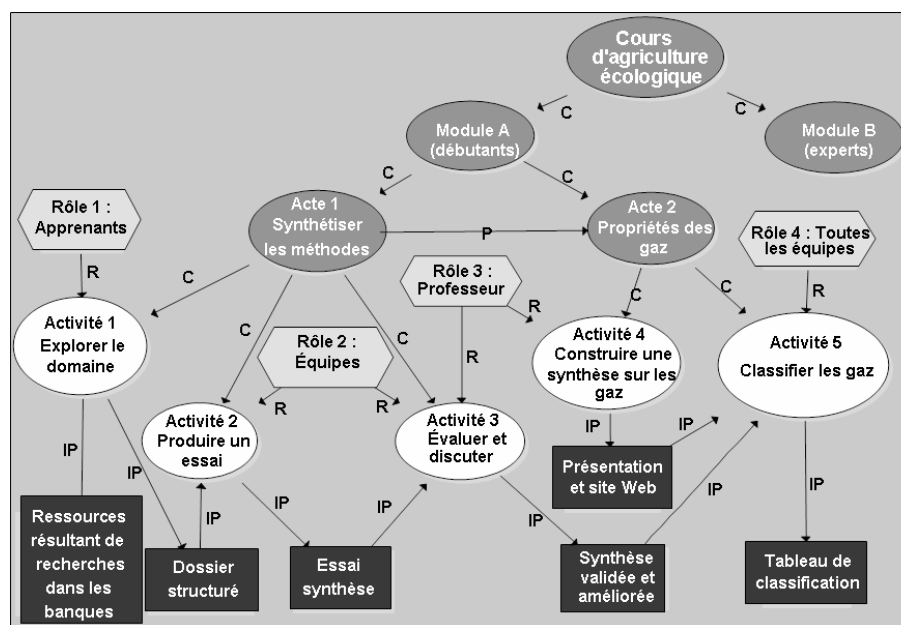


Figure 11.1. Une unité d'apprentissage comportant un scénario multiacteurs

Cette unité d'apprentissage est composée (liens C⁶¹) de deux scénarios alternatifs (appelés *plays* dans la terminologie IMS LD), dont seul le premier est développé ici. Ce scénario est multiacteurs et subdivisé en deux « actes », le premier comprenant trois activités. Chaque activité est régie (liens R) par un ou plusieurs acteurs. Par exemple, l'activité 3 met en relation deux partitions de rôle (*role parts*), l'une impliquant une équipe d'apprenants et l'autre un professeur, chacun ayant un rôle précis à jouer dans l'activité. Des ressources ou objets d'apprentissage, liés aux activités (liens I/P), sont utilisés par les acteurs ou produits par eux dans le cadre de l'activité.

Un tel scénario pédagogique est à la fois un cadre intégrateur de ressources et une ressource. Les scénarios font eux aussi l'objet de schémas de métadonnées particuliers, comme celui élaboré au LICEF pour la constitution du répertoire canadien de scénarios, dans le portail IDLD [IDL] consacré au transfert de connaissances de base sur la modélisation pédagogique et sur IMS LD. Des travaux

61. Les liens C, R et I/P font partie d'un langage graphique intégré au logiciel MOT+LD (voir [PAQ 05]) permettant de construire graphiquement un modèle pédagogique conforme à la spécification IMS LD.

actuels, articulant ingénierie technologique et ingénierie pédagogique, visent le développement d'outils pour la conception et la réutilisation de scénarios, tels que MOT+LD analysé par Henri et Maina (voir chapitre 8), ou pour la mise en œuvre de scénarios sur des plates-formes de formation, tels que le projet européen UNFOLD en a suscité [KOP 05]. Ces approches, qui comportent aussi la conception d'outils de recueil et d'analyse de traces, donnent lieu au développement d'une ingénierie spécifique, comme le présente Pernin (voir chapitre 6, section 6.4).

11.3.2.4. *Viviers et banques de ressources*

De nombreux organismes, dans différents cadres institutionnels ou associatifs et dans différents pays, ont constitué ou constituent des bases de ressources éducatives pour en assurer la diffusion. Des systèmes de gestion de connaissances, de documents ou de contenus ont fait l'objet de travaux en ingénierie de connaissances et dans le domaine des hypermédias, dans les années 1990, pour la conception de systèmes d'information en entreprise ou de systèmes de formation, à une échelle relativement locale. A la suite de telles approches, la notion de « vivier de connaissances » a été proposée à la fin des années 1990, dans le cadre du projet européen ARIADNE⁶², qui a eu pour objectif la constitution et la maintenance d'une base de ressources, ainsi que d'outils associés pour la conception, la gestion et la réutilisation de ces ressources, à l'échelle d'un réseau européen d'établissements [FOR 97] – et dont les travaux ont été poursuivis dans le cadre d'une fondation. Des objectifs analogues font l'objet de projets plus récents, tels que les projets mentionnés par Crozat (voir chapitre 9, section 9.5) ou le projet LORNET⁶³ au Canada [LOR], qui vise la constitution d'un réseau pan-canadien de banques de ressources et la conception d'outils de gestion et d'exploitation associés (en liaison avec l'approche du Web sémantique). De tels objectifs nécessitent des moyens importants et la participation de communautés d'auteurs de ressources et de concepteurs d'artefacts.

Cinq grands projets se sont rassemblés au niveau mondial pour créer en 2004 le consortium GLOBE (*Global Learning Objects Brokered Exchange Alliance*): ARIADNE, LORNET, Education.au (Australie), MERLOT (*Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching*, Etats-Unis), NIME (*National Institute of Multimedia Education*, Japon). Comme l'affiche le site [GLO], sous le titre « le futur des services en ligne », « GLOBE est un consortium international qui vise l'accessibilité et la mise à disposition de ressources éducatives aux enseignants et aux apprenants du monde entier. Il fournit un réseau distribué d'objets pédagogiques de qualité qui prennent en compte les standards de la

62. *Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Network.*

63. *Learning Objects Repositories Network.*

formation ouverte et à distance. GLOBE a pour objectif [...] de proposer des ressources pédagogiques de qualité à travers le partage de connaissances et savoir-faire entre les créateurs de contenus ». Ce site, qui offre notamment des ressources sur l'évolution des standards pour les TICE, se présente comme un instrument facilitant la communication entre les membres du consortium. Une telle entreprise est intéressante à suivre, étant donné ses objectifs, son modèle de partage et son échelle.

11.3.3. Vers un système de formation utilisant le Web sémantique

L'objectif de ce paragraphe est de montrer, sur la base de travaux réalisés au LICEF et notamment dans le projet LORNET, dans un contexte de formation à distance (Télé-université du Québec), comment les approches de modélisation pédagogique, d'ingénierie des connaissances et du Web sémantique peuvent être combinées pour concevoir un système de formation destiné à une mise en œuvre dans le cadre du Web sémantique. La perspective de tels systèmes conduit à proposer des principes pour renouveler l'ingénierie pédagogique.

11.3.3.1. Représenter les connaissances et les compétences

La spécification IMS LD présente une importante lacune : la seule façon de décrire les connaissances associées aux activités est de leur associer des textes en langue naturelle décrivant les compétences préalables et les objectifs d'apprentissage (compétences visées). Ces textes sont rédigés conformément à une autre spécification IMS, appelée *Reusable Definition of Competencies and Educational Objectives* [IMS 02]. Des textes en langue naturelle ayant une interprétation ambiguë, il est difficile d'assurer la cohérence complète d'un modèle pédagogique (c'est-à-dire un cours modélisé), ou même autour d'une simple activité, entre les connaissances dont disposent les ressources et les acteurs ou celles qui sont traitées dans les activités. De plus, dans les modèles de IMS LD, les ressources ne sont pas décrites par les connaissances qu'elles contiennent et les acteurs ne sont pas décrits par les compétences qu'ils possèdent ou qu'ils doivent acquérir.

Une méthode telle que MISA (voir paragraphe 11.3.2.3) prévoit la construction d'un modèle de connaissances et de compétences permettant d'associer une ou plusieurs connaissances aux composantes d'un modèle pédagogique. Un système comme Explor@-2.1 [PAQ 05] contient, en plus d'un éditeur de la structure des activités, un éditeur de la *structure cognitive* permettant d'associer connaissances et compétences aux activités et aux ressources de la structure pédagogique. L'utilisation de ces outils par l'ingénieur pédagogique permet de rendre ces structures visibles au moment de la diffusion. Les connaissances et les compétences servent à orienter la démarche de l'apprenant de même que le soutien apporté par le

formateur. Elles fournissent également une base par rapport à laquelle l'apprenant peut évaluer ses progrès, permettant également l'évaluation formative ou sommative des apprentissages par un formateur.

11.3.3.2. Illustration de l'approche

Nous considérons ici, pour illustrer les principes de l'approche, des éléments d'un tel système de formation pour le domaine de l'agriculture écologique. Le domaine visé par la formation est modélisé sous la forme d'une ontologie (voir figure 11.2).

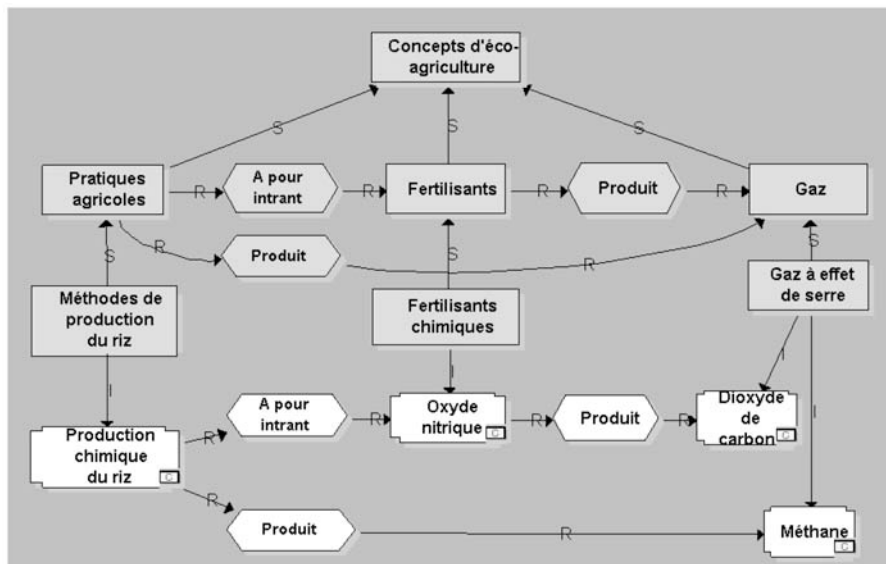


Figure 11.2. Une ontologie de domaine (agriculture écologique)

Les conventions de représentation utilisées sont basées sur le standard OWL (*Ontology Web Language*). La partie supérieure du modèle de connaissances présente trois hiérarchies de concepts, soit les pratiques agricoles, les fertilisants et les gaz. Certaines propriétés de ces concepts sont indiquées sur le graphique sous la forme d'hexagones. Les propriétés établissent des relations (liens R) entre des concepts. Par exemple, une pratique agricole, comme la production du riz, a des intrants comme les fertilisants et des produits qui peuvent être des gaz. On distingue la sous-classe (liens S) des gaz à effet de serre. Des instances (liens I) qui sont des membres d'une des classes, des exemples du concept sont également mises en évidence (voir figure 11.2). Par exemple, la production du riz par des moyens

chimiques est un exemple de procédé de production du riz qui produit du méthane. Il utilise un fertilisant chimique qui produit du dioxyde de carbone qui, comme le méthane, est un gaz à effet de serre.

Les connaissances du domaine étant ainsi modélisées de façon structurée, il reste à *identifier les compétences* que le cours vise à développer chez les apprenants : veut-on simplement qu'ils mémorisent des faits inscrits dans le modèle ou qu'ils soient capables de faire une synthèse des procédés agricoles dans un domaine, comme la production du riz, quant à leur impact sur l'effet de serre ? Des énoncés structurés de compétence sont associés aux principales connaissances, dans le but de guider l'ingénierie pédagogique [PAQ 02b]. Une compétence *seuil* (préalable ou prérequis) ou *visée* (objectif) est définie comme un triplet composé d'une *habileté générique*, choisie dans une taxonomie prédéfinie, s'exerçant avec un certain *niveau de performance* sur une *connaissance* du domaine de formation, ici les méthodes de production du riz. La figure suivante (voir figure 11.3) présente deux échelles, l'une pour le niveau de l'habileté générique et l'autre pour le niveau de performance.

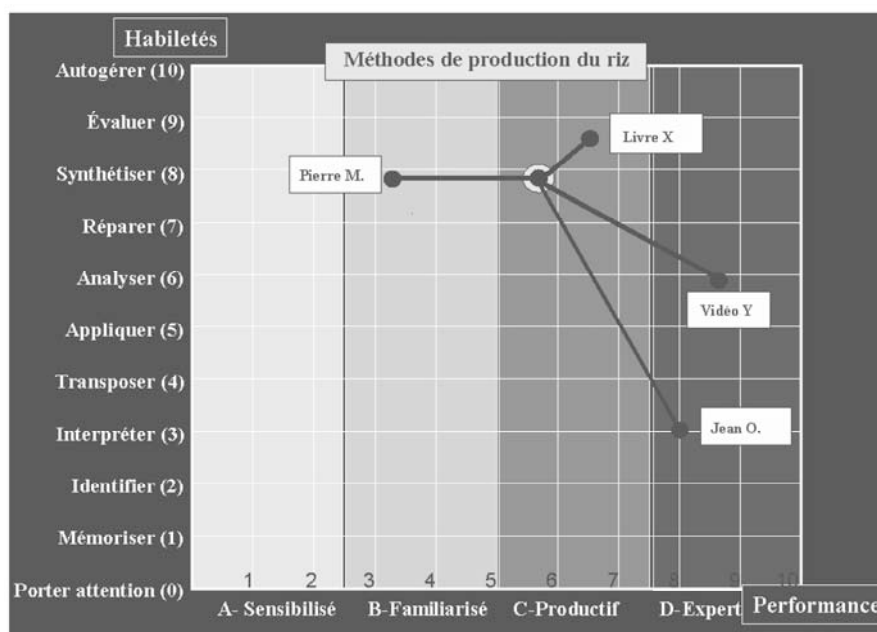


Figure 11.3. Une échelle Habileté/Performance

Par exemple, un énoncé de compétence tel que « synthétiser les méthodes de production de riz » est interprété comme une habileté de *synthèse* (de niveau 8), à un niveau de performance 3 (*familiarité*), appliquée à la connaissance « *méthodes de production du riz* ». Pour cette connaissance, est indiqué un objectif de compétence visée au niveau d'habileté « synthétiser », avec un niveau de performance 6, c'est-à-dire un niveau habileté-performance (8,6). Par exemple, un apprenant, Pierre, ayant une compétence actuelle à un niveau (8,3) doit augmenter son niveau de performance. Un autre étudiant, Jean, ayant démontré pour la même connaissance un niveau d'habileté « interpréter » avec une excellente performance 8, devra augmenter son niveau d'habileté, passant de l'interprétation de la connaissance à une habileté de synthèse, soit de (3,8) à (8,6), un écart beaucoup plus important à franchir. Par ailleurs, proposer la vidéo Y pourrait être peu utile à Pierre, sauf à des fins de récapitulation, mais beaucoup plus utile à Jean. Par contre, le livre X est probablement trop avancé pour l'objectif de compétence visée, à la fois quant au niveau d'habileté et au niveau de performance. Ces niveaux sont relatifs, leur établissement nécessitant une analyse des contenus des ressources ou encore, des outils d'évaluation des compétences humaines, par exemple au moyen de prétests/posttests.

11.3.4. Nouvelle ingénierie pédagogique en formation à distance

Les environnements d'apprentissage à distance sont des systèmes d'information, de plus en plus informatisés et complexes. L'évolution des technologies d'apprentissage permet d'envisager *une nouvelle ingénierie pédagogique* pour des systèmes de formation à distance, qui tiennent compte de la standardisation des composantes pédagogiques, de l'utilisation des référentiels d'objet d'apprentissage et du développement des ontologies pour la mise en place du Web sémantique. Elle peut être définie ainsi : « Une méthodologie soutenant l'analyse, la conception, la réalisation et la planification de la diffusion des systèmes d'apprentissage, intégrant les concepts, les processus et les principes du design pédagogique, du génie logiciel et de l'ingénierie cognitive » (voir [PAQ 02a], p. 106).

L'approche par objets d'apprentissage, la disponibilité croissante de ressources numérisées (de qualité) et l'amélioration des possibilités de leur réutilisation devraient permettre d'alléger le travail de conception médiatique (selon la terminologie MISA, voir paragraphe 11.3.2.3) et de déplacer l'accent vers la réflexion pédagogique pour la conception de systèmes de formation à distance, notamment pour apporter des réponses à la question centrale : de quelle façon utiliser (ou adapter) les objets pour optimiser l'apprentissage ? L'ingénierie pédagogique peut intervenir, à différentes étapes du cycle de vie d'un environnement

d'apprentissage en ligne, par exemple pour concevoir des *scénarios d'apprentissage* adaptés aux besoins des apprenants, pour guider l'identification et la structuration des connaissances du domaine, guider les interventions des facilitateurs et analyser les environnements d'apprentissage ou les cours en ligne, en vue de leur révision continue.

Sur un autre plan, l'ingénierie pédagogique, qui a pour but de favoriser l'acquisition des connaissances et des compétences, ne peut faire l'économie d'une modélisation des connaissances, dont la forme actuelle est l'ingénierie ontologique. Utilisée comme composante de l'ingénierie pédagogique, l'ingénierie ontologique peut servir à définir les contenus, les activités et les scénarios d'apprentissage, les devis des matériels pédagogiques et les processus de diffusion d'un système d'apprentissage en ligne.

Cette nouvelle méthodologie d'ingénierie pédagogique nécessite d'être soutenue par une nouvelle gamme d'outils informatisés de conception et de soutien aux activités et aux acteurs, outils qui pourraient être intégrés aux plates-formes de diffusion de la formation. Ces plates-formes deviendraient alors de véritables systèmes polyvalents et évolutifs de soutien à l'apprentissage et à la gestion des connaissances, contenant leurs ontologies d'exécution, enregistrant l'évolution des activités, et les présentant aux acteurs pour leur fournir une connaissance du contexte d'apprentissage au fur et à mesure qu'il évolue. En somme, pour reprendre un terme de Pierre Lévy [LEV 94], la perspective envisagée ici est celle de nouvelles méthodes et de nouveaux instruments pour créer de véritables « écosystèmes cognitifs » capables d'évoluer au rythme de leurs usagers et contribuant à l'évolution de leurs connaissances et de leurs compétences.

11.4. Discussion et perspectives

Nous ne mentionnons ici que deux points. Un premier point concerne l'évolution du Web, où nous évoquerons brièvement les débats dont le Web sémantique fait l'objet ainsi que les autres développements du Web. Nous nous interrogerons ensuite, pour faire écho à la question de la *conception dans l'usage* posée dans l'Introduction à cet ouvrage, sur l'évolution des méthodes de conception d'artefacts logiciels.

11.4.1. *Quelle évolution du Web ?*

Le Web sémantique fait l'objet de débats, comme le mentionnent Hotte et Contamines (voir chapitre 10), qui examinent cette notion d'un point de vue

épistémologique en s'interrogeant sur ses potentialités pour le fonctionnement de communautés de pratiques en éducation et formation. En effet, la vision d'ensemble des technologies et des approches concernées, l'appréciation des objectifs et des hypothèses sous-jacentes, la prévision des implications ou des effets potentiels du Web sémantique ne sont pas aisées et offrent matière à discussion, à ce point de réalisation du programme (voir paragraphe 11.3.1). Ainsi que le note Gandon dans un article dense qui s'inscrit dans un débat relatif à la prise en compte de l'aspect social [GAN 06], « le Web sémantique est perçu très différemment par de nombreuses personnes [...] chacun s'intéresse à une partie du Web sémantique, à l'image du conte indien des six aveugles qui se représentent un éléphant différemment en fonction de la partie que chacun a touchée ». Il constate la difficulté des débats pluridisciplinaires où, « nombre de fois, le désaccord est terminologique ». Voyant dans ce projet d'abord la proposition d'une « pile de standards ouverts », il reconnaît les besoins de prise en compte de dimensions sémiotique, pragmatique et sociale, mais estime que « rien dans le Web sémantique ne s'y oppose, bien au contraire », reportant en partie le débat au niveau des « opérationnalisations et des usages », que le W3C se garde d'aborder dans ses recommandations : « rien ne prescrit les représentations auxquelles [les formalismes proposés] seront appliqués (indépendance au domaine), ni *si* ou *comment* ils doivent être traités (indépendance à l'opérationnalisation), ni le statut de ce qu'ils représentent (éphémère *versus* immuable, en cours d'élaboration *versus* stable, public *versus* privé, informel *versus* officiel, etc.) ».

Si Hotte et Contamines (*ibidem*) expriment la crainte d'une prescription des significations qui pourrait être imposée aux communautés de pratique « au moyen des approches de standardisation des artefacts et des techniques de formalisation des contenus », ils estiment toutefois que « le réel potentiel du Web sémantique réside [...] dans sa capacité d'être un puissant levier à la production et à la diffusion de la connaissance. Ce potentiel s'exprime sous la forme d'une activité cognitive qui se passe au sein de *réseaux*, formés par la réunion de diverses communautés professionnelles, animées d'une intention de mutualiser leurs modèles, leurs ingénieries et leurs expériences en vue de collaborer à l'avancement et au partage de la connaissance ». Dans l'état actuel de la réalisation du programme et des opérationnalisations, il manque encore une part importante de travaux pour réaliser le projet complet du Web sémantique : le débat sur la portée, les potentialités et les limites de cette vision reste donc largement ouvert.

Cependant, les usages du Web croissent rapidement, avec la multiplication des applications et des services qui utilisent le Web et des approches qui se diversifient, comme celle du Web 2.0, qui exploite le Web en tant que plate-forme favorisant le partage de données au sein de réseaux sociaux, ou celle du Web mobile en

émergence. Dans un récent manifeste, qui prend acte de la croissance rapide du Web dans de multiples directions, de la nature multi-disciplinaire de son étude et de son développement, Berners-Lee et les membres d'un groupe de travail proposent la création d'une science du Web⁶⁴ [BER 06], en tant que science des systèmes d'information décentralisés, « *as a way to understand the Web and as a way to focus its development on key communicational and representational requirements* », constatant que « *the Web evolves in response to various pressures from science, commerce, the public and politics [...]. We need to understand these evolutionary and developmental forces* ». Des questions de *gouvernance* sont aussi abordées. Le développement des usages du Web, qui ne se limitent pas au Web sémantique – ni au domaine des STICEF – mérite donc l'attention vigilante de tous les acteurs.

11.4.2. *Quelles démarches de conception ?*

Pour la conception d'artefacts logiciels, notamment pour la conception d'interfaces homme-machine, les méthodes ont beaucoup évolué ces dernières années, sur le plan des modèles, technologies et outils utilisés (voir par exemple [DEL 06]). Les méthodes de conception d'interfaces ou de systèmes interactifs, qui font l'objet de travaux pluridisciplinaires combinant informatique et ergonomie, impliquent de plus en plus les utilisateurs, dès le début de la conception. Comment favoriser une démarche de *conception dans l'usage* pour des ressources ou pour des artefacts qui peuvent être des logiciels assez complexes ? Parmi les travaux récents, Bourguin et Derycke [BOU 05] proposent des éléments pour une approche de conception de systèmes interactifs inspirée de la théorie de l'activité, visant à concevoir des infrastructures informatiques ouvertes permettant de mieux soutenir la co-évolution des tâches et des artefacts. Certains chapitres de cet ouvrage proposent aussi des démarches, s'appuyant sur des modèles et des outils, qui vont dans le sens de la conception de ressources ou d'artefacts « ouverts » permettant une adaptation dans l'usage.

Pour la conception de ressources documentaires, Crozat propose (voir chapitre 9) une approche d'ingénierie reposant sur des choix de base pour la création de contenu (format standard XML, modélisation documentaire), qui en permettent la réutilisation avec des adaptations ultérieures à différents contextes d'usage. Ces principes sont mis en œuvre grâce aux outils d'une *chaîne éditoriale*, présentant trois niveaux de conception (paramétrage de primitives, modèles de document, contenu).

64. En même temps que la création d'une revue qui lui est consacrée (voir la référence [BER 06]).

Pour la conception de *scénarios pédagogiques*, Pernin propose (voir chapitre 6, figure 6.3) un modèle de scénario et un modèle de cycle de vie associé (ou « processus de scénarisation ») intégrant « une boucle d'adaptation » et « une boucle de réutilisation ». Il prévoit le recueil d'informations en cours d'usage (observations, traces), pour transformer le scénario au cours de son cycle de vie. Cette vision, qui permet de passer d'une vision statique à une vision dynamique d'un scénario, peut être considérée plus conforme aux pratiques des formateurs qui adaptent perpétuellement leur cours, comme le soulignent Henri et Maina (voir chapitre 8) ; elle peut être considérée aussi comme relevant d'une démarche de conception (de scénario) dans l'usage. Elle nécessite, pour conduire à des systèmes opérationnels, le développement de travaux et d'outils, relatifs notamment au recueil et à l'analyse de *traces*, comme il en est mené depuis quelques années en EIAH.

Des approches de conception visent à doter les artefacts logiciels de capacités d'observation et d'analyse de traces des activités humaines qu'ils instrumentent, en vue d'une adaptation aux utilisateurs ou de leur propre évolution. Elles évoquent le principe d'*amorçage* au sens utilisé par Pitrat [PIT 96] pour la conception d'un système d'intelligence artificielle, qui consiste à utiliser le système lui-même et les expériences qu'il peut faire (avec un niveau d'analyse *réflexive* « embarqué »), pour contribuer à sa propre amélioration⁶⁵.

11.5. Conclusion

La recherche en STICEF est soumise à des tensions multiples, dues à plusieurs sources : points de vue des différents champs de recherche concernés et des ingénieries associées, évolution rapide des STIC, usages des TIC en éducation, diversité des artefacts, complexité des processus de conception et des analyses d'usages.

Face aux usages croissants de ressources numériques et du Web et au développement de la formation en ligne, les développements scientifiques et technologiques récents conduisent à des tendances et des *propositions*, dont ce chapitre fait état, pour la conception et l'usage de ressources et de dispositifs pour l'apprentissage. Celles-ci vont dans le sens de la mutualisation et de la réutilisation (notamment par des agents logiciels) de ressources à plus ou moins grande échelle, dont celle du Web, avec un référencement des ressources numériques et des acteurs selon les principes et standards du Web sémantique. Ceci conduit aussi à une proposition de méthodologie en ingénierie pédagogique pour la formation à

65. Pitrat utilise aussi l'image du marteau : un premier marteau très imparfait a permis d'en fabriquer un deuxième mieux fait, etc.

distance, qui articule design pédagogique, génie logiciel et ingénierie cognitive, pour la modélisation de cours en ligne à base de scénarios d'apprentissage. Les dispositifs de formation envisagés nécessitent une instrumentation croissante des activités et des interactions des acteurs, situées dans le cadre d'infrastructures informatiques distribuées.

Tout en poursuivant l'étude des problèmes scientifiques et technologiques que pose leur réalisation, il convient aussi de réfléchir collectivement aux conditions de *développement durable* de tels dispositifs (tant du point de vue humain et social que technologique), en particulier en fonction des formes de *partenariat* humains-machines qui y seront impliquées. Un tel programme nécessite la collaboration de toutes les composantes des STICEF et l'articulation de leurs points de vue, il s'inscrit bien dans le prolongement des travaux et des échanges dont cet ouvrage est la trace.

11.6. Bibliographie

- [AIE] AIED, The International Artificial Intelligence in Education Society : <http://aied.inf.ed.ac.uk/aiedsoc.html> (consulté en janvier 2007).
- [BAR 96] BARON G.-L., BRUILLARD E., *L'informatique et ses usagers dans l'éducation*, PUF, Paris, 1996.
- [BER 06] BERNERS-LEE T., HALL W., HENDLER J. A., O'HARA K., SHADBOLT N., WEITZNER D.J., « A Framework for Web Science », *Foundations and Trends® in Web Science*, vol. 1, n°1, p. 1-130, 2006, [en ligne] : <http://www.nowpublishers.com/product.aspx?product=WEB&doi=1800000001> (consulté en février 2007).
- [BOU 05] BOURGUIN G., DERYCKE A., « Systèmes interactifs en coévolution. Réflexions sur les apports de la théorie de l'activité au support des pratiques collectives distribuées », *Revue d'Interaction Homme-Machine*, vol. 6, n°1, p. 1-31, 2005.
- [BRU 03] BRUILLARD E., DE LA PASSARDIERE B. (dir.), Ressources numériques, XML et éducation, *Sciences et Techniques Educatives*, Hors série 2003.
- [BRU 06] BRUILLARD E., BARON G.-L., « Usages en milieu scolaire : caractérisation, observation et évaluation », dans Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 269-284, Hermès, Paris, 2006.
- [CHA 06] CHARLIER B., DESCHRYVER N., PERAYA D., « Apprendre en présence et à distance. Une définition des dispositifs hybrides », *Distances et Savoirs*, vol. 4, n°4, p. 469-496, 2006.
- [DEL 06] DELOZANNE E., « Interfaces en EIAH », dans Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 223-248, Hermès, Paris, 2006.

- [DER 06] DERYCKE A., HOOGSTOEL F., PETER Y., VANTROYS T., « Infrastructure des environnements informatiques pour l'apprentissage distribué », dans M. Grandbastien, J.-M. Labat (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 181-200, Hermès, Paris, 2006.
- [DES 06] DESMOULINS C., GRANDBASTIEN M., « Une ingénierie des EIAH fondée sur des ontologies », dans Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 201-222, Hermès, Paris, 2006.
- [FOR 97] FORTE E., WENTLAND FORTE M., DUVAL E., « The ARIADNE Project : Knowledge Pools for Computer Based and Telematics Supported Classical, Open and Distance Education », *European Journal of Engineering Education*, vol. 22, n° 1, p. 61-74, n° 2, p. 153-166, 1997.
- [FRI 05] FRIESEN N., (traduit par Lundgren K., Lapointe S.), CanCore : Editeurs de Métadonnées LOM, [en ligne] : <http://www.cancore.ca/editeurs.html> (consulté en janvier 2007).
- [GAN 06] GANDON F., « Le Web sémantique n'est pas antisocial », *Conférence Ingénierie des Connaissances*, Nantes, 2006, [en ligne] : <http://www.sdc2006.org/cdrom/IC2006-cd.html> (consulté en décembre 2006).
- [GIR 06] GIROIRE H., LE CALVEZ F., TISSEAU G., « Benefits of knowledge-based interactive learning environments : A case in combinatorics », *6th IEEE International Conference on Advanced Learning Technology*, p. 285-289, IEEE Computer Society Press, 2006.
- [GLO] GLOBE, le futur des services en ligne : <http://www.globe-info.org/globe/go> (consulté en janvier 2007).
- [GRA 06] GRANDBASTIEN M., LABAT J.-M. (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, Hermès, Paris, 2006.
- [IDL] IDLD, portail *Implementation and Deployment of the Learning Design Specification* : <http://www.idld.org/> (consulté en janvier 2007).
- [IMS 02] IMS-RDCEO, IMS Reusable Definition of Competency or Educational Objective, XML Binding: Version 1.0 Final Specification, IMS Global Learning Consortium, 2002, [en ligne] : http://www.imsglobal.org/competencies/rdceov1p0/imsrdceo_bindv1p0.html (consulté en décembre 2006).
- [IMS 06] IMS Meta-data Best Practice Guide for IEEE 1484.12.1-2002 Standard for Learning Object Metadata, Version 1.3 Final Specification, 2006, [en ligne] : http://www.imsglobal.org/metadata/mdv1p3/imsmd_bestv1p3.html (consulté en janvier 2007).
- [KAL] KALEIDOSCOPE, réseau de recherche européen « Shaping the scientific evolution of Technology Enhanced Learning » : <http://www.noe-kaleidoscope.org/pub/> (consulté en décembre 2006).

- [KOP 05] KOPER, R., TATTERSALL C. (dir.), *Learning Design. A Handbook on Modelling and Delivering Networked Education and Training*, Springer, Berlin, 2005.
- [LAB 06] LABAT J.-M., PERNIN J.-P., GUERAUD V., « Contrôle de l'activité de l'apprenant : suivi, guidage pédagogique et scénarios d'apprentissage », dans Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 69-96, Hermès, Paris, 2006.
- [LAU 04] LAUBLET P., CHARLET J., REYNAUD C., « Introduction au Web Sémantique », *Information, Interaction, Intelligence*, Hors Série Web sémantique, vol. 4, n° 2, 2004, disponible sur le Web : http://www.revue-i3.org/hors_serie/annee2004/index.html (consulté en décembre 2006).
- [LEV 94] LEVY P., *L'intelligence collective. Pour une anthropologie du cyberspace*, La Découverte, Paris, 1994.
- [LOR] LORNET, Projet Pan canadien : <http://www.lornet.org/> (consulté en décembre 2006).
- [OMN] OMNIBUS, an ontology of learning, instruction and instructional design : <http://edont.qee.jp/omnibus/doku.php?id=start> (consulté en février 2007).
- [ONT] ONTOLOGIES for Education : <http://iiscs.wssu.edu/o4e/viewhome.do?tm=O4E.xtm> (consulté en janvier 2007).
- [PAQ 02a] PAQUETTE G., *L'ingénierie du télé-apprentissage, pour construire l'apprentissage en réseaux*, Presses de l'Université du Québec, Sainte-Foy, 2002.
- [PAQ 02b] PAQUETTE G., *Modélisation des connaissances et des compétences, pour concevoir et apprendre*, Presses de l'Université du Québec, Sainte-Foy, 2002.
- [PAQ 04] PAQUETTE G., LUNGREN-CAYROL K., MIARA A., GUERETTE L., « The Explor@2 Learning Object Manager », dans McGreal R. (dir.), *Online education using learning objects*, p. 331-346, Routledge/Palmer, Londres, 2004.
- [PAQ 05] PAQUETTE G., DE LA TEJA I., LEONARD M., LUNDGREN-CAYROL K., MARINO O., « How to use an Instructional Engineering Method and a Modelling Tool », dans Koper R., Tattersall C. (dir.) *Learning Design. A Handbook on Modelling and Delivering Networked Education and Training*, Springer, Berlin, p. 161-184, 2005.
- [PAS 04] DE LA PASSARDIERE B., JARRAUD P., « ManUeL, un profil d'application du LOM pour C@mpuSciences® », *STICEF*, vol. 11, 2004, [en ligne] : http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2004/passardiere-11/sticef_2004_passardiere_11.htm, édition papier : INRP, p. 11-57, 2005.
- [PED 06] PEDAUQUE R.T. (coll.), *Le document à la lumière du numérique. Forme, texte, médium : comprendre le rôle du document numérique dans l'émergence d'une nouvelle modernité*, C&F Editions, Caen, 2006.

- [PER 06] PERNIN J.-P., « Normes et standards pour la conception, la production et l'exploitation des EIAH », dans Grandbastien M., Labat J.-M. (dir.), *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain*, p. 201-222, Hermès, Paris, 2006.
- [PIT 96] PITRAT J., « Implementation of a Reflective System », *Future Generation Computer Systems*, vol. 12, n° 2-3, p. 235-242, 1996.
- [PSY 03] PSYCHE V., MENDES O., BOURDEAU J., « Apport de l'ingénierie ontologique aux environnements de formation à distance », *STICEF*, vol. 10, 2003, [en ligne] : <http://www.sticef.org> (consulté en février 2006).
- [REB 06] REBAI I., Conception et développement d'une plate-forme permettant la capitalisation de composants logiciels pour les environnements d'apprentissage humain, Mémoire de Thèse, Université Paris V, 2006.
- [SEM] W3C, Technology and Society domain, Semantic Web Activity : <http://www.w3.org/2001/sw/> (consulté en décembre 2006).
- [STI] STICEF, Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation : <http://sticef.org/> (consulté en janvier 2007).
- [TCH 04] TCHOUNIKINE P. *et al.*, Platon-1 : quelques dimensions pour l'analyse des travaux de recherche en conception d'EIAH, Rapport de l'Action Spécifique Fondements théoriques et méthodologiques de la conception des EIAH, département STIC du CNRS [en ligne] : <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00002999/en/>.
- [TIC] TIC, Les TIC dans le supérieur, Educnet, Ministère Education Nationale, Enseignement Supérieur et Recherche, France : <http://www2.educnet.education.fr/sections/superieur/orientation/> (consulté en février 2007).
- [TOL 05] TOLEDANO B, BARON M., GIROIRE H., « An Ontology-Based Metadata Editor for Qualifying Learning Objects », *17th Conference on Advanced Information Systems Engineering Workshops, Second international Workshop Semantic Web for Web-based Learning (SW-WL'05)*, vol. 1, p. 661-672, FEUP, Porto, 2005.
- [XML] W3C, Architecture domain, Extensible Markup Language (XML) : <http://www.w3.org/XML/> (consulté en décembre 2006).
- [W3C] W3C, World Wide Web Consortium : <http://www.w3.org/> (consulté en décembre 2006).