



HAL
open science

L'interaction comme inscription de connaissance pour l'apprentissage humain

Alain Mille

► **To cite this version:**

Alain Mille. L'interaction comme inscription de connaissance pour l'apprentissage humain. Journée EIAH&IA 2013, May 2013, Toulouse, France. pp.1. hal-00824256

HAL Id: hal-00824256

<https://hal.science/hal-00824256v1>

Submitted on 21 May 2013

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

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

L'interaction comme inscription de connaissance pour l'apprentissage humain

Alain Mille

Université Lyon1, Université de Lyon
LIRIS UMR 5205 CNRS
43 Bd 11 novembre 1918, Villeurbanne, Cedex
alain.mille@liris.cnrs.fr

Résumé. Cette contribution est un manifeste pour considérer les interactions liées à l'activité d'apprentissage comme des connaissances inscrites de même nature que les connaissances inscrites dans les modèles par les experts ou calculées à partir de données de corpus contrôlés. Nous revenons sur une controverse ayant traversé la communauté de l'intelligence artificielle sur la nature de la connaissance et sur les enjeux mêmes de l'IA. Nous proposons d'articuler le point de vue de l'IA traditionnelle (modélisation de connaissances « déjà là ») et le point de vue de l'IA revisitée par la prise en compte du corps et de son activité dans l'environnement. Nous illustrons schématiquement ce que pourrait être cette articulation et présentons une application à l'enseignement à distance (Projet PIXED) comme exemple d'une telle approche. La discussion est l'occasion de montrer le chemin à parcourir pour que cette articulation soit facile à intégrer par les concepteurs d'EIAH avec quelques pistes explorées dans l'équipe SILEX : systèmes de Gestion de Traces modélisées et mécanismes d'apprentissage interactif de connaissance.

MOTS-CLÉS : intelligence artificielle, EIAH, interaction, connaissances, modèles

1 Introduction

Le titre souhaite mettre en évidence une réalité bien connue de tous ceux qui utilisent l'observation des interactions d'un apprenant avec son environnement (informatique) d'apprentissage comme connaissance utile pour diagnostiquer, évaluer, adapter, personnaliser l'apprentissage en cours. Si cette réalité est bien connue, elle est rarement considérée avec son vrai potentiel d'interprétation et d'inférence. Considérer la connaissance comme capacité d'action suite à une interprétation-inférence est caractéristique d'une approche *Intelligence Artificielle* de la gestion des connaissances à l'œuvre dans les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. En effet, on pourrait simplement considérer les données collectées issues de l'observation de l'interaction comme des *données* qui seraient ensuite traitées par des algorithmes *ad hoc* permettant tel ou tel usage des traces d'apprentissage. Les considérer avec une approche *IA* permet de leur donner un statut particulier permettant de les considérer au même titre que les *connaissances* issues de la modélisation du domaine

d'apprentissage, de la modélisation de l'apprenant, de la modélisation du scénario, de la modélisation des contenus, ...

Ce statut de *connaissance* permet de plus facilement articuler les concepts issus de l'activité et les concepts issus de l'expertise.

Cette contribution se présente plus comme un manifeste que comme une démonstration des bonnes propriétés de systèmes qui seraient développés sur ce principe d'articulation de l'expertise et de l'expérience tracée. Ce sera l'objet, j'espère, d'autres publications dans la communauté.

2 Une façon de sortir d'une controverse sur l'intelligence artificielle ?

2.1 La controverse lancée par Hubert Dreyfus

On le sait, l'histoire de l'intelligence artificielle a connu un tournant dans les années 80 quand les très grandes attentes des systèmes experts ont été déçues au point que pendant presque 10 ans, il était plutôt risqué de parler de techniques d'intelligence artificielle dans les cursus de formation universitaire ou pour les applications industrielles. Depuis la fin des années 90, l'intelligence artificielle a retrouvé progressivement son prestige et de nouvelles attentes se mettent en place.

Après un premier article célèbre en 1972 « What computers can't do : the limits of artificial intelligence », un deuxième article de Hubert Dreyfus [3] affinait sa critique en la centrant sur la question du raisonnement « What Computers Still Can't Do: a critique of artificial reason ». Terry Winograd démontrera [18] que Hubert Dreyfus, s'il était critique, ne souhaitait pas spécialement considérer qu'il n'y avait pas d'intelligence artificielle possible, mais démontrait que le rêve du défi de l'intelligence humaine par une intelligence artificielle n'était pas fondé.

Pendant un temps la communauté s'est scindée de facto entre les tenants de l'intelligence artificielle restreinte, sans volonté particulière de défier l'intelligence humaine, mais inventant des approches algorithmiques toujours plus efficaces pour résoudre des problèmes difficiles, et les tenants d'une intelligence artificielle générale [12], [4] reprenant sur d'autres bases que l'approche logique historique, la question d'une intelligence artificielle. On trouvera aussi dans la littérature la notion de GOFAI (Good Old Fashion Artificial Intelligence) pour la première catégorie. À ma connaissance, les termes de restreinte et de générale n'ont plus vraiment d'usage dans la littérature et on ne trouvera pas de conférences actuellement avec ces termes dans leur intitulé.

La première intelligence artificielle, celle des pionniers, des années 50 et 60 référençait un modèle cognitif du cerveau-ordinateur, qui d'ailleurs allait influencer très durablement autant la recherche en IA qu'en Sciences Cognitives. Il est maintenant admis que cette hypothèse relève plus de la métaphore que de la réalité, et qu'un système informatique est toujours une machine de Turing, ce qui est déjà très puissant. Les tenants de l'IA restreinte ont abandonné l'idée d'une modélisation pour défier l'intelligence humaine pour travailler sur des questions algorithmiques et de représen-

tation de connaissances efficace (théorie des graphes, bases de données avancées, ontologies, programmation logique avec toutes ses déclinaisons modales, fouille de données, apprentissage automatique, réseaux neuronaux artificiels, etc.). Ces thèmes étaient bien déjà là dans les premiers temps de l'IA, mais avec l'idée de défier l'intelligence humaine. Dans cette approche « restreinte », il s'agit alors de modéliser des connaissances qui sont déjà là soit dans la tête des experts soit dans les données mais avec un arbitrage d'expert.

Par opposition à cette branche, très productive, de l'IA, ce sont les approches situées, incorporées (*embodied*) qui cherchent à retrouver une intelligence artificielle intégrant une référence forte à la cognition telle qu'elle est maintenant défendue, en particulier dans les approches constructivistes. Le lecteur intéressé pourra trouver une bibliographie et une analyse historique détaillée de ces mouvements dans la thèse récente de Filippo Studzinski Perotto [13]. Ces approches cultivent l'ancrage aux sciences cognitives actuelles pour définir des modèles différents (sociétés multi-agents, agents autonomes, apprentissage développemental, etc.) capables de développer des fonctions cognitives en situation, à partir de leur activité dans l'environnement dont ils font d'ailleurs partie. Le lecteur intéressé pourra consulter par exemple les travaux d'Olivier Georgeon de l'équipe SILEX sur le sujet. Cette branche de l'IA s'intéresse surtout à l'étude des modèles cognitifs, ne cherche pas spécialement à relever le défi de l'intelligence humaine, mais cherche à développer les connaissances à ce sujet. Elle donne toutefois lieu à d'importantes attentes, en particulier dans le domaine de la robotique autonome en relation avec les humains (robots compagnons), ce qui paradoxalement relance le débat sur une « intelligence artificielle » concurrente de l'intelligence humaine (voir par exemple la série télévisée s'inspirant des Hubots).

Selon la première approche (restreinte), on devrait modéliser les connaissances expertes ou les processus d'apprentissage de ces connaissances expertes (connaissances expertes = connaissances de l'expert = connaissances de l'enseignant-tuteur-pédagogue) pour que le système informatique joue le rôle de l'enseignant (et le remplace d'une certaine façon).

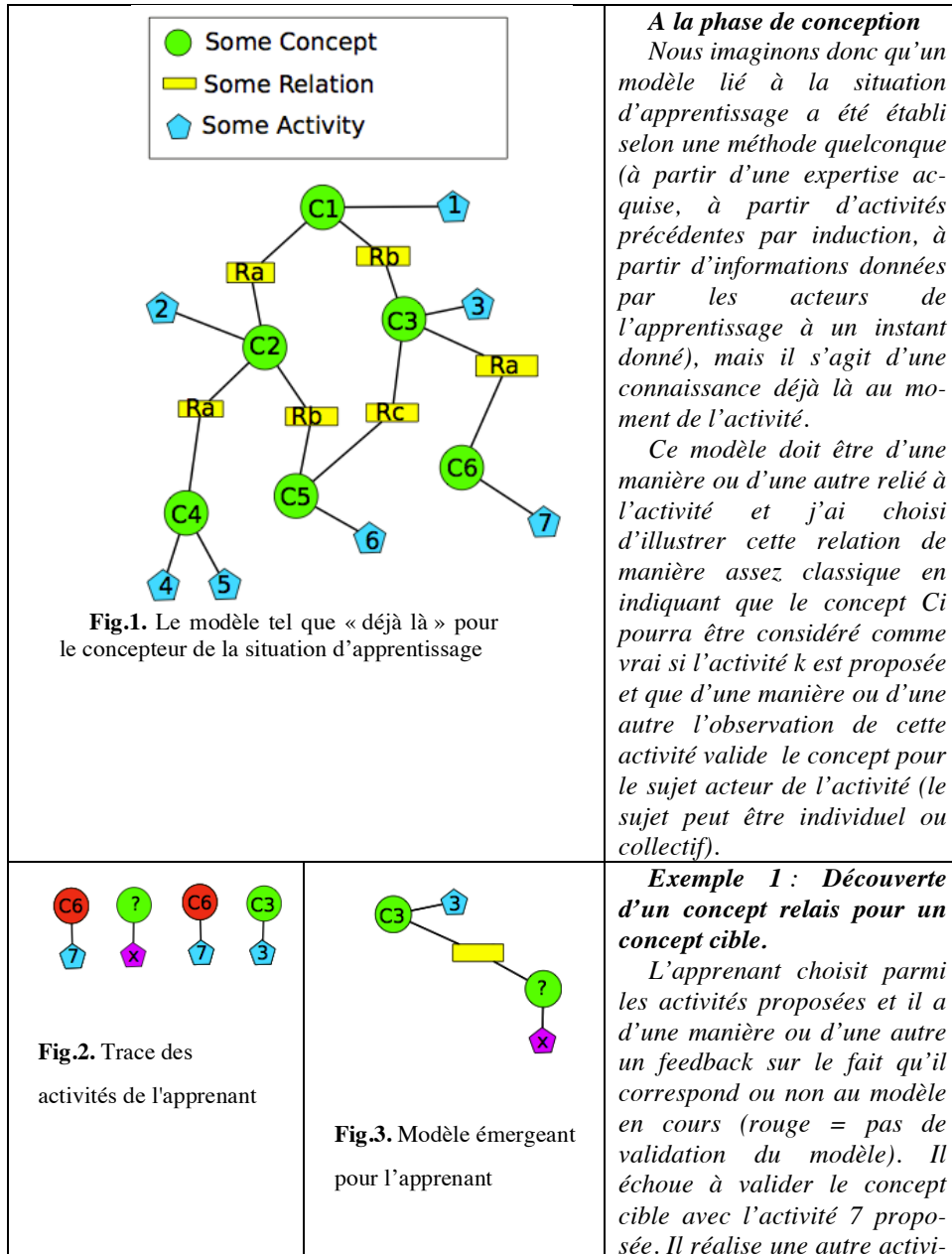
Selon la seconde approche d'apprentissage développemental, on devrait construire un agent « compagnon » capable d'apprendre « comme » l'apprenant et donc d'anticiper les problèmes d'apprentissage qui vont émerger, et proposer des remédiations qui soient parfaitement adaptées à ce compagnon et donc à l'apprenant (voir par exemple, une telle tentative d'alter-ego dans le travail de thèse de Luc Damas [1]).

A l'évidence, quand il s'agit d'accompagner des processus d'apprentissage humain, il n'est pas possible de considérer l'expertise de l'enseignant-tuteur-pédagogue comme source de connaissance unique. On ne voit pas non plus comment un compagnon de l'apprenant pourrait l'aider dans sa tâche d'apprentissage, en particulier lorsqu'il s'agit d'apprentissages de connaissances savantes. Alors que faire ?

2.2 La controverse lancée par Hubert Dreyfus

Nous proposons une troisième voie qui consiste à *articuler expertise et expérience* dans un processus qui intègre les connaissances actuelles sur les processus cognitifs pour comprendre comment un apprenant va pouvoir *développer* plus ou moins rapidement son apprentissage en fonction de son environnement, environnement qu'il

contribue à faire évoluer à son tour, dans un effet de couplage croissant. Dans cette contribution, nous nous intéressons à l'application de ce principe d'articulation à la conception de dispositifs informatiques médiant un processus d'apprentissage humain, mais cette approche est en réalité très générale pour réaliser des systèmes couplés homme-machine, co-apprenant au cours d'activités menées en commun.



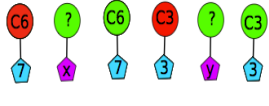
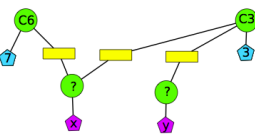
		<p><i>té (hypothèse d'un système ouvert) qui le satisfait d'une certaine façon car il réussit à valider le concept cible avec l'activité 7 prévue par le concepteur.</i></p> <p><i>Un modèle émerge qui possède des ancres dans le modèle du concepteur (les concepts et ressources manipulés par l'apprenant) et de nouveaux concepts et relations « à éclaircir ».</i></p>
 <p>Fig.4. Trace des activités de l'apprenant</p>	 <p>Fig.5. Modèle émergent pour l'apprenant</p>	<p>Exemple 2 : Insertion de concepts intermédiaires entre deux concepts existants</p> <p><i>L'activité démontre que la validation du concept x (à éclaircir) suivi du concept y (idem) permet de valider le concept C3, tandis que la validation de C6 seul ne le permet pas.</i></p>

Tableau 1 Illustration du principe d'articulation expertise-expérience

Les schémas du **Tableau 1** illustrent comment pourrait fonctionner une telle articulation d'un point de vue théorique.

Les exemples ci-dessus considèrent n'importe quel modèle *pré-conçu* pouvant être *approprié* durant une activité selon des modalités qui peuvent être très différentes. A la différence des micro-mondes qui peuvent permettre de considérer comme *mis-conceptions* les écarts conceptuels observés à partir de l'activité, ce qui d'ailleurs nécessite de savoir à l'avance quels seront les écarts observables, nous considérons simplement que ces écarts sont mis en évidence par un modèle émergent mais explicite pour l'utilisateur de l'activité. La condition nécessaire et non suffisante est que les concepts soient associés à des activités et qu'il existe des mécanismes permettant de *valider* ou non le(s) concept(s) à partir de l'observation de l'activité ou par tout autre processus. Cette condition est de moins en moins difficile à satisfaire dans la mesure où, et c'est particulièrement vrai pour les EIAH, les environnements sont instrumentés pour produire des traces (plus ou moins sémantiques) de l'activité qu'ils médient.

Cette approche d'articulation des modèles et de l'activité nécessite que les deux facettes de l'IA s'associent dans la conception des environnements informatiques. Qu'en est-il dans le domaine des EIAH ?

2.3 De l'association de l'intelligence artificielle à la conception des environnements informatiques pour l'apprentissage humain

Si on examine les dénominations successives (francophones) qui ont été données pour les dispositifs informatiques d'assistance à l'apprentissage humain, on voit bien l'évolution depuis l'idée de l'automatisation de la tâche d'enseignement à la prise en considération du processus d'apprentissage avec ses différents acteurs, en particulier l'apprenant de plus en plus *mis au centre* de la conception :

- Enseignement Programmé [16]. L'ordinateur était programmé pour enseigner selon le modèle d'enseignement donné par un expert. Années 60 à 70.
- Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO). On voit bien que c'est toujours l'enseignement qui est assisté et non pas l'apprentissage. Les modèles d'enseignement s'affinent et en particulier les modèles didactiques donnent lieu à une catégorie particulière d'EAO, les didacticiels. Années 80 à aujourd'hui (bien que le sigle ait été abandonné en France, beaucoup de systèmes relèvent de ce niveau). On peut citer [15] à ce sujet.
- Enseignement *Intelligent* Assisté par Ordinateur (EIAO) : variante de l'EAO qui intègre des approches d'Intelligence Artificielle séparant les *représentations des connaissances (modèles)* des moteurs de raisonnement permettant de réaliser les assistances. Cette approche a permis de s'intéresser aux modèles en tant *qu'objets informatiques eux-mêmes*, par opposition à modèle pour concevoir un objet informatique conforme à ce modèle. Ce sigle EIAO a été abandonné mais les anglo-saxons parlent toujours d'*Intelligent Tutoring Systems*.
- Environnements *Interactifs* d'Apprentissage avec Ordinateur » qui a remplacé « Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur », avec l'idée de mettre l'accent sur l'apprentissage et sur l'interaction, avec l'apprenant au centre¹ cette acception correspond à *Interactive Learning Environments* (ILE), plus large que ITS (incluant environnements de simulation et certains micromondes, par exemple). C'est dans cette catégorie que s'inscrirait naturellement le système PIXED illustrant le propos un peu plus loin.
- Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH) : proche dans l'acronyme de EIAO, c'est toutefois un paradigme différent puisqu'il met l'accent sur l'apprentissage et sur la conception d'environnements informatiques qui sont spécifiquement conçus pour l'apprentissage. Ce sigle a été proposé par Nicolas Balacheff². C'est bien une *ingénierie des EIAH* [17] qui est considérée, et les approches *intelligentes* n'y sont pas considérées spécifiquement. Une ingénierie *dirigée par les modèles* se développe, mais *les modèles* n'y sont pas considérés comme des objets représentés avec une sémantique explicite autorisant l'inférence (approche IA) mais comme descriptions (patrons) guidant la conception. Dans la communauté anglo-saxonne, le sigle EIAH correspond à *Technolo-*

¹ voir par l'article M. Baron, revue Terminal, 1994, <http://edutice.archives-ouvertes.fr/docs/00/00/18/01/HTML/index.html>

² voir Actes des Journées PRC-GDR IA, Grenoble, mars 1997, ou introduction au dossier IA&EIAH, BULLETIN DE L'AFIA, numéro 40, janvier 2000

gy *Enhanced Learning*. En réalité, dans cette catégorie on trouvera aussi des systèmes intégrant des techniques d'intelligence artificielle (restreinte) comme les ontologies, les réseaux bayésiens par exemple, mais considérés comme des outils spécifiques pour des sous-problèmes spécifiques dans la conception de l'EIAH, non comme un principe de conception de type déclaratif.

La connexion avec l'activité est maintenant généralisée, et de très nombreux travaux se sont développés pour prendre en compte l'activité d'apprentissage à des fins de personnalisation, d'adaptation de l'EIAH. Ce sont les traces d'activité d'apprentissage qui sont alors collectées pour alimenter les modèles servant à guider la personnalisation, l'adaptation. Le lecteur intéressé trouvera une synthèse de ces usages dans l'ouvrage issu d'une école d'été du CNRS [11] et des revues plus récentes dans [9] ou [2] par exemple.

Si l'on veut appliquer le principe indiqué d'articulation de l'expertise et de l'expérience, c'est *l'expertise de l'enseignant et celle constatée de l'apprenant* qui pourraient alors être articulées à *l'expérience (tracée)* de l'apprenant pour former un EIAH non pas « intelligent », mais mettant *en intelligence* les acteurs de l'apprentissage au cours de l'apprentissage lui-même.

Nous allons nous attacher à concrétiser cette approche en décrivant rapidement le système PIXED qui en intègrait les principes de base.

3 Articuler l'expertise de l'enseignant et l'expérience (tracée) de l'apprenant : l'exemple de Pixed

PIXED [6, 8], *Projet d'Intégration de l'Expérience dans l'Enseignement à Distance* est une sorte d' *Intelligent Tutoring System* dans lequel le tutorat est possible également par l'usage de l'expérience de l'apprenant et de ses pairs. Il se fonde indirectement, comme beaucoup d'autres, sur les principes du constructivisme appliqués à l'apprentissage humain [5, 14]. Comment donner les outils de la construction de ses connaissances à l'apprenant, en situation d'apprentissage médié par un environnement informatique.

PIXED est un système à base de connaissances, avec un modèle du domaine (réseau notionnel), un profil utilisateur mais aussi une représentation explicite de l'activité sous la forme de traces *modélisées*³.

PIXED est un système adaptatif dont les modèles comme les contenus peuvent être annotés par les concepteurs pour en faciliter la présentation *adaptée* aux apprenants, et plus particulièrement l'adaptation du séquençement du cours et la navigation adaptative dans les contenus. PIXED intègre un *backoffice* permettant de créer les modèles, d'intégrer les contenus et de poser les annotations par les concepteurs. Le *front*

³ Il ne s'agit pas encore des Traces Modélisées telles qu'elles sont défendues par l'équipe SILEX. La modélisation était alors *ad hoc* pour ce système. Il serait toutefois bien confortable de refaire ce type de systèmes avec un Système de Gestion de Base de Traces modélisées !

office se présente sous la forme d'une navigation guidée dans le cours conçu. C'est le *front office* dont les traces d'interaction sont modélisées.

PIXED offre à l'apprenant trois modes de guidage au choix :

- Mode de chemin linéaire, respectant le scénario prévu par l'enseignant (suivant l'ordre des notions à apprendre et les activités associées), adapté sur le profil.
- Mode *assisté*, un chemin linéaire est proposé, avec des possibilités de choix personnels illustrés sur la carte de l'hyperespace de notions correspondant. Dans cette version, l'apprenant *découvre* les modèles de conception via l'assistance. L'apprenant peut donc choisir de ne pas respecter l'ordre indiqué et peut annoter les ressources et le graphe de notion pour y laisser des « explications ».
- Mode *libre*, la carte de l'hyperespace est proposée seule avec en évidence la notion cible à apprendre et les notions de départ possible d'après le concepteur. L'apprenant peut choisir n'importe quelle notion comme notion de départ et choisir l'activité associée à cette notion ou tenter de trouver une autre activité (une ressource web en l'occurrence) qu'il va tenter d'utiliser.

Dans tous les cas, un système d'évaluation est utilisé pour *valider* le fait qu'une notion est bien acquise (QCM en l'occurrence pour PIXED, mais ça pourrait être plus sophistiqué sans perdre de généralité).

Le modèle de connaissances est sous la forme d'un Réseau Notionnel Annoté [7], c'est à dire un réseau de notions à apprendre reliées par des relations de *maîtrise* et de *suffisance*. Chaque notion peut être annotée par une ou plusieurs ressources utiles pour valider son apprentissage. Une relation de maîtrise entre deux notions A et B indique à quel point la validation de la notion A propage une maîtrise de la notion B. La relation de suffisance entre deux notions A et B indique à quel point la validation de la notion B implique la validation de la notion A.

Le modèle de l'expérience tracée (pendant l'activité) se fixe *a priori* sur des motifs utilisés comme points de repères appelés *trials* (signatures d'essais pour valider une notion). Un *trial* est une séquence ordonnée d'éléments de la trace commençant par une *sélection* de la notion *courante* à apprendre (la notion cible est celle du cours). Les éléments qui se succèdent ensuite sont provoqués par les interactions réalisées pour accéder aux activités, pour poser des annotations en relation avec l'activité et pour enfin tenter une validation de la notion supposée apprise.

Un *épisode d'apprentissage* est une séquence d'éléments observés commençant par la description de l'état de la situation au début de l'apprentissage (le profil au début de l'apprentissage), la suite des *trials* réalisés, et l'état de la situation d'apprentissage à la fin de l'apprentissage (le profil à la fin de l'apprentissage). La **Fig 6** illustre un tel épisode (une trace d'apprentissage selon le modèle proposé dans PIXED).

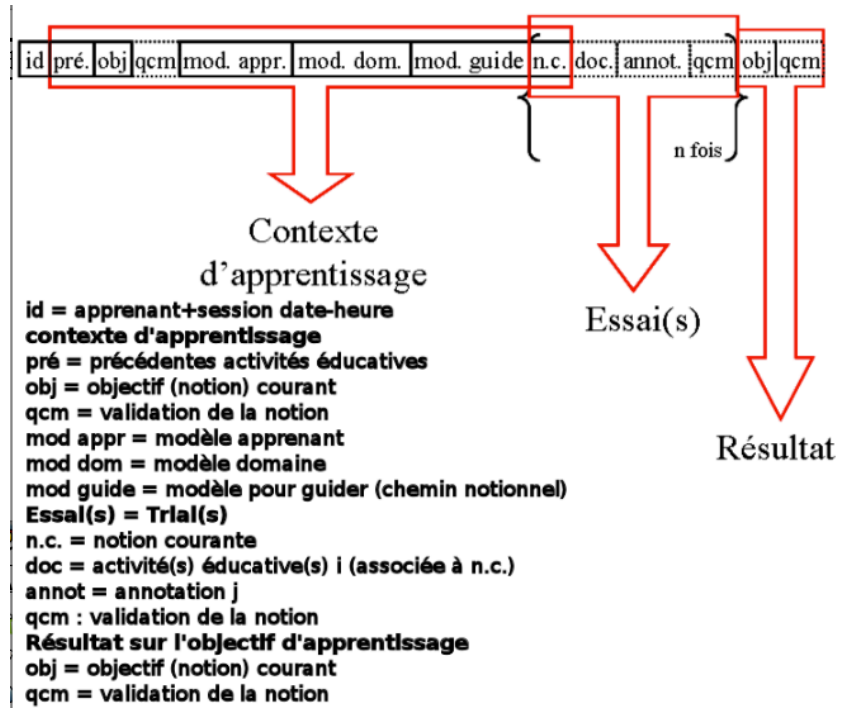


Fig 6. Episode d'apprentissage Pixed

On retrouve assez exactement ce qui était illustré dans la section précédente sur l'articulation entre modèle du domaine et modèle émergent de l'activité : *mod appr* est le modèle des connaissances de l'apprenant tel qu'il était au début de l'épisode de l'apprenant. Les *annotations* représentent les activités et les notions émergentes (non nommées) qui sont indirectement désignées. *Mod dom* est le modèle de connaissances du concepteur (il ne change pas). *Mod guide* (modèle de guidage) est le chemin notionnel proposé au début de l'épisode sur la base de ce que *sait* le tuteur artificiel. La séquence des essais (trials) représente le chemin *effectif* suivi par l'apprenant, en y intégrant les activités effectives avec les annotations notionnelles qu'elles entraînent. La fin d'un épisode est reconnue soit lorsque la notion *cible* (objectif) a été validée, soit par *abandon*...

Dans le contexte du projet PIXEX, l'objet n'était pas vraiment de chercher à réviser en boucle ouverte le modèle des connaissances proposé à tout apprenant se connectant, mais plutôt proposer des épisodes d'apprentissage pouvant aider des apprenants demandant de l'aide car ne réussissant pas à valider une notion *courante* ou *cible* avec les activités proposées ou celles qu'ils pouvaient trouver par eux-mêmes. Un cycle de raisonnement à partir de l'expérience tracée de type *Raisonnement à Partir de Cas* était alors proposé selon la procédure illustrée dans le schéma de la Fig.7.

Cette assistance pouvait intervenir dans les différents modes d'usage, mais naturellement exigeait ensuite d'être dans le mode *libre* pour continuer.

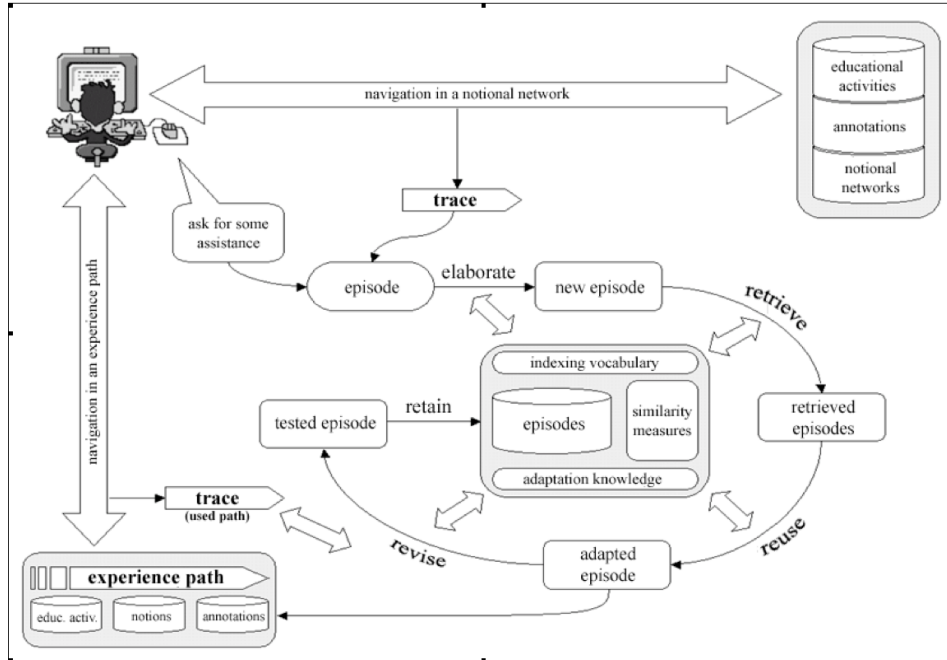


Fig.7. Cycle de raisonnement sur l'expérience : un RàPC sur les épisodes reconstitués

Pendant l'activité, si un apprenant demande de l'aide, le système construit une *signature* de l'épisode à partir de la trace d'activité en cours de collecte. La signature est constituée à l'envers : on part de l'événement d'appel à l'assistance et on forme une signature constituée de la *situation au début de la session* avec la description du dernier *trial* juste avant l'appel à assistance. Sur la base de cette première signature, la base d'épisodes existantes (on verra plus loin comment elle se constitue progressivement) est requêtée en cherchant les épisodes qui ayant eu un *trial* similaire suivi d'un échec sur la même notion, ont finalement réussi à valider cette notion. C'est donc un épisode de *résolution de l'échec* qui est recherché. Si trop de candidats se présentent, l'élaboration étend la signature en prenant en compte le contexte constitué par le *trial* juste précédent (on continue donc à partir à l'envers dans l'histoire de la trace en cours), et ainsi de suite jusqu'à sélectionner **un(1) meilleur** épisode candidat qui dans un contexte d'apprentissage très similaire a réussi à résoudre son échec. L'adaptation est réalisée en choisissant de proposer les ressources qui dans le contexte de l'apprenant courant seraient susceptibles de proposer un chemin notionnel *le plus court possible*. Les ressources proposées peuvent être des ressources du système ou des ressources trouvées lors de l'épisode candidat à la résolution de l'échec. Dans ce cas, le réseau notionnel annoté de l'apprenant en cours *héritera* des notions annotées si *effectivement* l'apprenant surmonte son échec grâce à cette suggestion de chemin notionnel. En cas de succès, l'épisode de résolution d'échec adapté est ajouté à la base d'épisodes existantes. En cas d'échec, l'apprenant doit se débrouiller, et s'il y parvient, l'épisode qu'il aura constitué pourra s'ajouter aux épisodes de résolution d'échec.

4 Discussion

L'exemple du système PIXED montre un exemple d'articulation des éléments du modèle de connaissances proposé par l'expert avec les éléments du modèle de connaissance qui émergent progressivement de l'activité. Ce dernier modèle est bien en relation avec celui de l'expert puisqu'il est constitué en partie des éléments de départ (situation de départ), des activités proposées, de l'objectif de formation. Dans le travail de recherche PIXED, en complément des modèles de connaissances de l'expert, ce sont des modèles de traces de l'activité de l'apprenant en situation de résolution de situations d'échec qui sont mobilisées. La trace d'activité considérée a été modélisée de manière *ad hoc* pour la fonction d'assistance à partir de l'expérience, mais on voit bien que l'on pourrait réaliser bien d'autres signatures utiles pour d'autres tâches de l'apprenant comme des experts d'ailleurs, en situation de debriefing d'usages par exemple. L'usage de *traces modélisées* et la disponibilité d'un *Système de Gestion de Base de Traces modélisées* simplifieraient une grande partie de l'ingénierie des connaissances issues de l'activité à mettre en place. La réalisation de nouvelles signatures, dynamiquement pendant l'activité, est toutefois une question de recherche toujours ouverte justifiant la modélisation de la trace elle-même, procurant des *modèles de trace* et des *procédures d'inférence* associées, unifiant également la manière de collecter, la manière de modéliser les connaissances de l'apprenant, la manière de modéliser les connaissances du point de vue de l'expert, la manière de modéliser les profils, etc.

Le *manifeste* est donc d'insister sur l'importance de faire l'effort de concrétiser les modèles sous la forme d'objets informatiques représentant des inscriptions de connaissances sur lesquelles des méthodes d'inférence peuvent permettre des interprétations diverses, mais nécessitant également d'associer des mécanismes d'émergence de nouvelles connaissances à partir de l'activité. Un EIAH est par nature orienté sur les connaissances et cette approche aurait l'intérêt de permettre une dynamique *native* à l'EIAH dès sa conception : en effet, si l'interaction est considérée comme *connaissance* au même titre et sous une forme identique à ce qui est issu de la conceptualisation experte, les raisonnements, les découvertes de connaissances, les articulations et les dynamiques d'usage sont alors beaucoup plus faciles.

Il reste à inventer les mécanismes permettant de découvrir dynamiquement ces connaissances tout en restant en couplage fort avec l'activité, avec une approche de *découverte interactive de connaissances* [10]. Il n'aura en effet pas échappé au lecteur, qu'il existe plusieurs façons d'articuler l'activité à l'expertise, car il existe naturellement plusieurs explications à l'articulation. C'est pourquoi cette étape d'articulation effective, explicitant notions et relations émergentes, nécessite une *interaction* entre les acteurs (agents humains et agents artificiels) pour *négoier* ce qui pourra être retenu comme utile à garder dans un contexte plus large que l'expérience initiale unique par définition. Une preuve de plus que c'est bien *l'interaction* qui est source de *connaissance* ?

Remerciements *Les relecteurs sont chaleureusement remerciés pour la qualité de leurs remarques et les suggestions pertinentes qui ont permis d'améliorer cet article.*

Références

1. Damas Luc, *Etude théorique et pratique de la production d'effets d'amorçage de la mémoire. Application à l'assistance à la remémoration chez l'utilisateur d'un système informatique pour une tâche d'apprentissage*, Thèse Informatique Lyon1, 2003
2. Djouad T. *Ingénierie des indicateurs d'activités à partir de traces modélisées pour un Environnement Informatique d'Apprentissage Humain*, Thèse Informatique Lyon1, 2011
3. Dreyfus H. *What Computers Still Can't Do: a critique of artificial reason*. Cambridge, MA: MIT Press, 1992
4. Franklin S. *A foundational architecture for artificial general intelligence*. In: Artificial Intelligence General Workshop, 2006, Washington. *Advances in Artificial General Intelligence: concepts, architectures and algorithms*, Amsterdam: IOS Press, 2007. p.36-54.
5. Glasersfeld, E. Von. (1989). Cognition, construction of knowledge, and teaching. *Synthese*, 80(1), 1–15
6. Heraud, J.-M., PIXED: une approche collaborative de l'expérience et l'expertise pour guider l'adaptation des hypermédia en enseignement à distance, Doctorat de Université Lyon 1, Informatique, 2002
7. Héraud, J.-M., Mille, A. and Jolion, J.-M., "Les réseaux notionnels: un outil pour guider la navigation dans un cours hypermédia". IIIème colloque Jeunes Chercheurs en Sciences Cognitives. 1999. Soulac, France p. 116-121.
8. J.-M. H Heraud, L. France, [A. Mille](#). Pixed: an ITS that guides students with the help of learners' interaction log. Dans 7th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (Workshop Analyzing Student-Tutor Interaction Logs to Improve Educational Outcomes), Maceio. pp. 57-64. 2004.
9. *Ingénierie de l'observation basée sur la prescription en EIAH*, Habilitation à Diriger les Recherches, Laval-Le Mans, 2012
10. Mathern B., Mille A., Cordier A., Cram D., Zarka R. Towards a Knowledge-Intensive and Interactive Knowledge Discovery Cycle. Dans 20th ICCBR Workshop Proceedings, Luc Lamontagne, Juan A. Recio-Garcia ed. Lyon, France. pp. 151-162. 2012.
11. Mille, A., Marty, J.C. Analyse de traces et personnalisation des environnements informatiques pour l'apprentissage humain, Hermes Sciences Publications, <http://liris.cnrs.fr/publis/?id=3966>
12. Pennachin, C.; Goertzel, B. Contemporary Approaches to Artificial General Intelligence. In: Goertzel, B.; Pennachin, C. (eds.). *Artificial General Intelligence*. New York: Springer, 2007.
13. Perotto, F. (2010). Un Mécanisme Constructiviste d'Apprentissage Automatique d'Anticipations pour des Agents Artificiels Situés. Thèse à l'Université de Toulouse Retrieved from <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00620755/>
14. Phillips, D. C. (1995). The Good, the Bad, and the Ugly: The Many Faces of Constructivism. *Educational Researcher*, 24(7), 5. doi:10.2307/1177059
15. Searle J. Minds, Brains and Programs. *Behavioral and Brain Sciences*, Cambridge Journals, v.3, n.3. p.417-457, 1980.
16. Skinner, B.F., *The technology of teaching*, New-York Appleton Century Crofts, The Century psychology series
17. Tchounikine P., *Computer Science and Educational Software Design*, Springer, 2011
18. Winograd, T., & Lassegue, J. (1993). Heidegger et la conception des systèmes informatiques. *Intellectica*, 51–78.