

Visualisation interactive de traces et réflexivité : application à l'EIAH collaboratif synchrone eMédiathèque¹

Damien Cram, Denis Jouvin, Alain Mille (LIRIS, Lyon)

Résumé

Cet article présente un outil de visualisation interactive de traces d'interactions dans le cadre d'une activité d'apprentissage collaboratif synchrone. Cet outil a été développé en collaboration entre l'entreprise eLycée S.A.S., et une équipe de recherche travaillant sur l'ingénierie de l'expérience tracée et les EIAH. L'hypothèse de facilitation de la tâche d'apprentissage par les processus métacognitifs liés à une activité réflexive est à la base de la contribution. L'article est l'occasion de situer précisément les enjeux du travail engagé, de décrire l'environnement développé, de présenter les propriétés des modèles et outils développés. Il n'y a pas encore eu d'expérimentation de cet outil de visualisation de traces, mais les tests techniques auprès d'un public varié ont rencontré une forte adhésion. L'article pointe les aspects génériques des outils développés, en particulier les propriétés d'évolution dynamique de l'environnement par l'utilisateur mais aussi pour les concepteurs et les enseignants.

Mots-clés : Traces d'utilisation ou d'interaction, plate-forme collaborative synchrone, apprentissage à distance, visualisation interactive de traces, réflexivité.

Abstract

This paper presents an interactive visualization tool for interaction traces, in the context of a synchronous collaborative e-learning activity. This tool has been developed by an e-learning company, eLycee, in collaboration with a research team working on e-learning, interaction traces, and experience reuse. This work adopts the grounding hypothesis that metacognitive processes and reflexive activities can facilitate learning. The paper presents the specific issues of such usage trace construction and visualization, the design of the hosting collaborative synchronous platform, and the associated tools and underlying models properties. This tool has so far not been experimented with students, but the technical tests with various researchers have been very

¹ EMédiathèque a été développé par Elycée S.A.S. (<http://www.elycee.com>) dans le cadre d'une convention de recherche avec le LIRIS.

promising and encountered a wide acceptance. The paper also points out the generic aspects of the tool, and the possibility for the student, teacher and designer to configure, update and extend it dynamically.

Keywords : Usage traces, interaction traces, synchronous collaborative platform, e-learning, interactive trace visualization, reflexivity.

1. Introduction

L'exploitation de traces d'interaction lors d'activités d'apprentissage est une pratique bien connue du point de vue des analystes de ces activités. Ces analyses se font soit en temps différé pour disposer d'un retour d'expérience fournissant la matière à la ré ingénierie des environnements (ingénierie pédagogique, didactique et/ou informatique) ou en temps réel lorsque des indicateurs ont pu être établis qui permettent la personnalisation des EIAH ou simplement de mettre à disposition des enseignants ou des apprenants les éléments d'un tableau de bord de l'activité d'apprentissage. Les traces d'interactions liées à l'activité sont en général "cachées" à celui qui les produit et *a fortiori* il lui est impossible d'interagir avec elles. Dans cet article, nous adoptons l'hypothèse d'un effet métacognitif lié à la réflexivité dans l'activité telle qu'elle serait permise par la mise à disposition adéquate d'une visualisation interactive des traces d'interactions. L'objectif de notre contribution est de préciser les propriétés attendues de l'environnement informatique et de proposer des principes, des méthodes et les premières pistes pour concevoir de tels environnements en particulier pour des activités collaboratives synchrones mobilisant des objets "*rich media*" dans les interactions.

La section 1 précise le contexte du travail mobilisant tout à la fois une entreprise innovante en situation de démarrage d'une offre d'enseignement à distance fondée sur des activités collaboratives synchrones et une équipe de recherche s'intéressant à l'ingénierie de l'expérience tracée. La section 2 présente un état de l'art en matière de systèmes à base de traces dans les EIAH, et de visualisation de traces. La section 3 présente l'EIAH eMédiathèque et son mécanisme de réification des actions qui permet de générer une trace de l'utilisation de la plate-forme. La section 4 précise le fonctionnement du système de visualisation de traces que nous proposons d'installer dans eMédiathèque. La section 5 présente un scénario d'application du système de visualisation de traces dans le cas d'une activité de co-traduction de bandes dessinées et illustre les concepts abordés dans l'article. La section 6 est plus technique, elle montre comment l'architecture et les outils choisis pour mettre en œuvre la plate-forme et son système à base de traces facilitent la généricité et l'extensibilité du système à plusieurs activités tracées. La section 7 synthétise les concepts abordés et propose une discussion sur le potentiel et les difficultés de la visualisation interactive de traces en temps réel en vue de créer les conditions de la réflexivité et de la métacognition associée.

1.1. Contexte : eLycée

eLycée S.A.S. est une jeune entreprise innovante proposant un service d'enseignement à distance du français, adressé en premier lieu à des étudiants français ou francophones résidant à l'étranger, et n'ayant pas la possibilité, pour des raisons

financières ou géographiques, d'intégrer un lycée ou une école française dans le pays d'accueil. Pour ce faire, eLycée² a développé un environnement de classes virtuelles, fondé sur des technologies récentes en matière de vidéoconférence et de partage collaboratif. A la différence de nombreux services d'enseignement à distance plus classiques, le modèle de classes virtuelles d'eLycée est un modèle synchrone, dans lequel les élèves et l'enseignant se retrouvent simultanément, communiquent et collaborent dans un espace virtuel par le biais d'outils collaboratifs synchrones et multimédias, dans un contexte technique de vidéoconférence³.

Les principales caractéristiques du modèle pédagogique d'eLycée sont d'une part d'instaurer l'élève comme principal acteur du processus d'apprentissage, et d'autre part de favoriser les processus métacognitifs liés à la réflexivité. Pour y parvenir, eLycée base les activités pédagogiques sur la co-construction de documents multimédia (textuels, vidéo, audio ou mixtes), en binômes ou en groupes. Les documents ainsi produits peuvent ensuite être sélectionnés et exposés aux parents ou professeurs par le biais d'un portfolio, actuellement sous la forme d'un blog de classe ou d'élève.

La facilitation des processus métacognitifs est quant à elle liée aux outils collaboratifs et au traçage, de façon à ce que les élèves puissent avoir une vision de l'activité des autres, de l'activité de leur binôme, et de leur propre activité. Des phases ou exercices mettant en œuvre explicitement cette réflexivité peuvent ainsi être incluses dans l'activité même par les enseignants : critiques mutuelles lors de l'édition d'un tableau blanc, correction des productions des autres, revue des erreurs d'écriture commises, des mots ou tournures ayant posé des difficultés, etc.

Étant donnés ces besoins originaux, innovants par rapport à l'offre des outils habituels, eLycée a développé une plate-forme collaborative synchrone incluant une infrastructure de traçage, un système de visualisation interactive de la trace, et un certain nombre d'outils collaboratifs tracés.

1.2. Traces et environnements collaboratifs synchrones

Une tendance que l'on peut constater aujourd'hui dans l'enseignement à distance est celle du *constructionnisme* (Papert, 1993), et plus particulièrement du *constructionnisme social*, dans laquelle les apprenants sont impliqués dans la création de documents ou d'artefacts, de façon collaborative, afin d'améliorer leur apprentissage et leur ressenti. La démarche pédagogique d'eLycée va tout à fait dans le sens de cette approche, comme le montre (eLycéeMethod, 2007).

² <http://www.elycee.com/>

³ <http://www.marratech.fr/>

L'objectif de cet article n'est pas d'en discuter le bien-fondé, toutefois il nous paraît important de souligner que la synchronie des interactions, rendue possible par les plates-formes dites *collaboratives synchrones*, donnent à l'enseignement à distance en classes virtuelles une véritable dimension collaborative, vivante, et vécue comme telle par les apprenants et l'enseignant. Elle permet un degré de collaboration beaucoup plus conscient que le mode asynchrone. Le bouclage action – *feedback* entre les participants étant beaucoup plus rapide, les interactions sont plus efficaces, et l'*awareness* de groupe en est également renforcée.

Notre contribution repose donc sur l'hypothèse suivante : l'utilisation d'un environnement informatique pour effectuer une activité médiée d'apprentissage collective contraint évidemment les modalités de communication, mais elle présente par contre une propriété unique impossible dans les conditions du présentiel ou de médiation par des outils de simple communication (téléphone, visioconférence simple, etc.) : les interactions entre acteurs et entre acteurs et environnement, passent obligatoirement par l'environnement informatique, elles peuvent donc être représentée sous une forme codifiée, et éventuellement "réifiées" lorsque cette codification est associée à une sémantique d'un niveau suffisant, et peuvent donc être mémorisées, et exploitées en tant que ressource nouvelle pour l'activité. L'environnement informatique particulier qu'est la plate-forme collaborative apporte donc, outre des facilités de co-construction de documents, une *mémoire potentielle des interactions*. Notre travail sur les traces vise à exploiter au mieux cette mémoire.

1.3. Visualisation interactive de traces en temps réel et réflexivité

Nous revendiquons donc le statut de ressource complémentaire pour les traces modélisées d'interactions et il convient que cette ressource soit disponible au moment même de l'activité, avec les outils adaptés à son utilisation métacognitive par les acteurs de la situation d'apprentissage. La particularité d'eMédiathèque est de permettre le traçage en temps réel, ce qui ouvre un certain nombre de possibilités, notamment dans l'assistance à l'apprenant. Ce que nous présentons ici est un système de visualisation interactive par l'apprenant de ses propres traces d'utilisation, pendant le cours de son activité. L'objectif à la base de notre démarche est ambitieux : offrir un terrain supplémentaire et spécialisé pour faciliter la réflexivité de l'apprenant dans ses activités pédagogiques. Nous désignons par ici activité réflexive "une activité se prenant, au moins en partie, elle-même pour objet" (Ollagnier-Beldame, 2006). L'intérêt apporté par la *réflexivité* au cours de l'activité a été pointé dans de nombreux travaux (Mollo, 2002), notamment lorsqu'elle met en œuvre des processus d'apprentissage (Masciotra, 2005).

Pour que l'apprenant puisse reconnaître son activité dans sa trace, il faut qu'elle soit signifiante dans le cadre de son activité, et chaque fois que l'apprenant effectue

une action significative, celle-ci doit apparaître dans sa trace. Si la trace est trop verbeuse ou trop silencieuse, l'apprenant risque de ne pas y prêter attention et ne sera pas encouragé à consulter son expérience d'utilisation. Le système de collecte d'eMédiathèque fournit une trace modélisée initiale, qui décrit les interactions dans un langage orienté outil et exhaustif ; nous l'appelons *trace première*. Pour créer une trace significative et de grain judicieux à partir de cette trace, nous mettons en place un mécanisme de transformation en deux étapes. Premièrement, une *transformation statique* permet d'interpréter et d'abstraire la trace première dans le contexte de l'activité réalisée. Deuxièmement, un ensemble de *transformations dynamiques* permet à l'utilisateur de manipuler sa trace décrite dans le langage de l'activité, pour y faire apparaître les éléments qu'il souhaite.

2. État de l'art

2.1. Plates-formes collaboratives synchrones et de vidéoconférence orientées enseignement

Nous désignons par plate-forme collaborative synchrone, un environnement et ensemble d'outils collaboratifs permettant à n participants à une session collaborative de communiquer via différents médias, comprenant généralement les messages instantanés (le *chat*) et si possible l'audio et la vidéo, et via le partage, et donc la co-construction, de documents électroniques. Le terme synchrone signifie que toute communication ou partage s'effectue en temps réel, par opposition au mode asynchrone ou différé. Le partage d'un document, tel qu'un tableau blanc, consiste à rendre collectives toutes les modifications faites sur le document (à une granularité donnée), en temps réel. Notons que la messagerie instantanée peut être vue comme un document partagé dont la seule modification possible est l'ajout de messages.

Le marché de la formation à distance, que ce soit dans le milieu éducatif ou en entreprise, est en pleine croissance, et il existe de nombreuses plates-formes collaboratives synchrones, avec vidéoconférence, comprenant des outils collaboratifs tels que messages instantanés, tableau blanc partagé, co-navigation et partage d'application.

Parmi les plus complètes, nous pouvons notamment citer la plate-forme *Illuminate*⁴, la plate-forme *Wimba*⁵, la plate-forme *Breeze*⁶ d'Adobe, la plate-forme *Marratech*⁷, ou encore la plate-forme *LearnLinc* de *iLinc*⁸. Ces plates-formes de

⁴ <http://www.illuminate.com>

⁵ <http://www.wimba.com>

⁶ <http://www.adobe.com/products/breeze/>

⁷ <http://www.marratech.com>

⁸ <http://www.ilinc.com>, en particulier le produit LearnLinc

vidéoconférence sont souvent associées dans leur exploitation à des systèmes de gestion de contenu pédagogique tels que *Blackboard*⁹ ou *Moodle*¹⁰. Elles apportent avant tout une dimension *synchrone* et *collaborative* à l'enseignement à distance.

Il est intéressant de constater que ces plates-formes regroupent des fonctionnalités grandement similaires, même si elles varient en qualité, à savoir :

- la vidéoconférence, *n-n* pour l'audio, souvent limitée à *1-n* pour la vidéo ;
- la messagerie instantanée, avec émoticônes, collective et parfois privée ;
- une liste active des participants, indiquant leur statut, et permettant des interactions simples de type "lever la main" ou "répondre par oui ou par non" ;
- la co-navigation Web, généralement sur une seule page à la fois, ou encore la projection partagée de présentations (de type PowerPoint), page par page ;
- le partage d'application (de type VNC), où les participants voient le bureau ou une partie du bureau, par exemple la fenêtre d'une application, d'un des participants ;
- et, le plus souvent, l'enregistrement des sessions.

Cette dernière possibilité nous intéressera particulièrement : elle peut s'apparenter à une forme rudimentaire de traçage. Toutefois, telle une séquence vidéo, la trace résultante est totalement monolithique et opaque, et ne peut qu'être rejouée de bout en bout : elle reste donc peu exploitable dans notre contexte et notre problématique. Un tel enregistrement ne peut en effet pas être représenté de manière discrétisée et graphique simple ; la présenter à l'utilisateur en temps réel n'a que peu de sens tant il sera difficile de "s'y retrouver" rapidement.

Étant des logiciels propriétaires, ces plates-formes sont d'autre part très difficiles voir impossibles à tracer (c'est-à-dire à instrumenter en vue de traçage). Malheureusement, aucune solution Open Source n'atteint actuellement le niveau de finition, de complétude et de performance requis pour ce type d'activité. Enfin, ces plates-formes intègrent généralement mal le contenu de type *rich media* dans leurs différents outils collaboratifs.

2.2. Conception et traitement informatique de l'objet trace dans les EIAH

Nous appelons "trace d'interaction" tout objet informatique dans lequel s'accumulent des données à propos des interactions entre un système informatique et son utilisateur. Dans les EIAH, comme dans les autres environnements informatiques, les traces d'interaction constituent donc une source d'information sur l'expérience

⁹ <http://blackboard.com/>

¹⁰ <http://moodle.org/>

d'utilisation et font l'objet de nombreux travaux de recherches qui tentent de mettre à profit cette source d'expérience. (Hilbert et Redmiles, 2000) décrivent des techniques pour extraire des connaissances sur la facilité d'utilisation des systèmes informatiques à partir des événements de l'interface. Des outils d'analyse des comportements à partir de données séquentielles sont également étudiés, et formalisés par (Sanderson et Fisher, 1994).

Mais l'idée de réutiliser informatiquement l'expérience pose le problème fondamental de la modélisation de celle-ci. (Iksal et Choquet, 2005) utilisent le langage UTL (*Usage Tracking Language*) pour représenter le plus génériquement possible la trace d'une activité pédagogique. L'approche MUSETTE (*Modéliser les Usages et les Tâches pour Tracer l'Expérience*) (Champin *et al.*, 2004) ne se limite pas aux EIAH et propose un cadre générique pour la modélisation de l'expérience dans le cadre de sa réutilisation pour l'assistance à base de traces. On en trouve des applications dans la conception assistée par ordinateur (Champin, 2003) ou dans l'assistance à la veille documentaire médiée par un ordinateur (Laflaquière *et al.*, 2005). D'autres systèmes utilisent les traces d'interactions à des fins d'analyse *a posteriori* des usages et des activités, soit dans le but de quantifier certains usages (Rossi *et al.*, 2005), soit pour extraire des motifs fréquents dans l'activité tracée (Georgeon *et al.*, 2006) et étudier les comportements des utilisateurs à partir de ces motifs.

On peut trouver des réutilisations des traces dans les EIAH aussi bien pour l'assistance à l'apprenant que pour l'analyse de son activité. Mais quel que soit le type de réutilisation des traces d'interaction qui est faite, le besoin de définir un cadre formel commun à tout travail sur les traces se fait sentir. Nous le résumons ci-dessous en nous fondant sur les travaux développés dans le cadre du Projet "Personnalisation des EIAH" du Cluster ISLE de la région Rhône-Alpes¹¹.

2.3. Le Système à Base de Traces modélisées (Settouti *et al.*, 2006)

2.3.1. Architecture du Système à Base de Traces modélisées

Le *Système à Base de Traces modélisées* (SBT) formalise les traitements à appliquer à la donnée "trace" depuis sa collecte jusque dans ses applications dans un cadre très générique. Il s'applique à tout type d'environnement tracé, en particulier aux EIAH (Settouti *et al.*, 2007). La gestion des traces dans eMédiathèque respecte ce type d'architecture. Comme le montre la figure 1, un SBT est composé de plusieurs modules interdépendants.

¹¹ <http://cluster-isle-eiah.liris.cnrs.fr/>

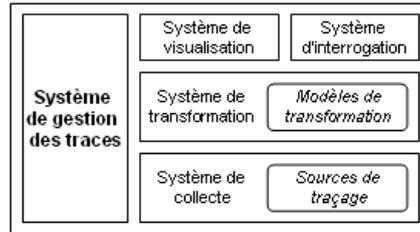


Figure 1. Schéma simplifié d'un Système à Base de Traces

Le *système de collecte* capture les interactions par l'intermédiaire de *sources de traçage*, et crée une première trace : la "trace première". Le *système de transformation* constitue le cœur du SBT. Il permet d'obtenir d'autres traces à partir des traces collectées. Le choix du *modèle de transformation* à appliquer à une trace dépend de l'intention d'utilisation de cette trace. L'ensemble des traces collectées et transformées est alors accessible par l'intermédiaire d'un *système de requête* et d'un *système de visualisation*. Ce *système de visualisation* doit donner la possibilité d'avoir une vue ergonomique et potentiellement interactive sur les traces du SBT, afin de permettre l'analyse et l'interprétation de celles-ci. Le système de visualisation peut s'appuyer sur le *système de requête*. A l'heure actuelle, les systèmes utilisant des traces possèdent généralement un module de visualisation, mais le fonctionnement d'un *système de visualisation* générique n'a pas été étudié. L'exploration d'un système générique de visualisation interactive de trace est abordée en section 4.

2.3.2. Enjeu de la collecte de la trace première

L'étape de collecte de la trace première est cruciale, car la valeur de tout travail reposant sur des formes transformées ou dérivées de celle-ci dépend de sa qualité. Par "qualité", nous entendons surtout son exhaustivité dans les objets d'intérêt tracés et son grain. Il est souvent argumenté que les fichiers *logs* constituent un bon support d'analyse de l'expérience d'utilisation d'un système (Roussel *et al.*, 2006). En pratique, réutiliser les *logs* à ces fins mène à se confronter à des problématiques de manque de contexte des informations qu'ils véhiculent, de manque de structure dans ces données, de trop grand volume de données à traiter par rapport au besoin, ou encore d'inadéquation des données pour l'analyse d'une activité.

C'est pourquoi toute analyse à base de *logs* doit s'accompagner d'un effort de restructuration et de remise en contexte des informations dans l'activité, par exemple par le biais de la visualisation d'une vidéo de l'activité loguée (Avouris *et al.*, 2005). De plus, les fichiers *logs* sont bien souvent des données accessibles depuis le serveur, ce qui ne permet pas de les réutiliser en local et en temps réel comme nous le souhaitons dans le cas de la visualisation interactive de traces pour la réflexivité.

Notons qu'un fichier log est un objet créé par le concepteur pour être utilisé à des fins d'information technique, pour le débogage ou le dépannage par exemple. C'est la raison pour laquelle il est inapproprié de le réutiliser pour des analyses de haut niveau sémantique comme l'interprétation d'une activité.

Les traces, au sens où nous l'entendons dans cet article, sont des objets spécifiquement réalisés pour la modélisation et la réutilisation de l'expérience d'un utilisateur. La trace est le plus souvent *trace d'interaction*, c'est-à-dire que la donnée source qui permet de la construire est l'interaction humain / machine. La trace s'enrichit à chaque nouvelle interaction au fur et à mesure que l'activité se déroule, en prenant en compte le contexte de chaque action réalisée. C'est donc un objet dynamique, qui peut être disponible en temps réel et qui peut être modifié, requêté ou visualisé.

2.4. Visualisation de traces et de données s'apparentant à des traces

M. Beldame dans (Ollagnier-Beldame, 2007) distingue entre autres deux catégories de systèmes utilisant des traces : les systèmes présentant l'histoire interactionnelle à l'utilisateur avec des possibilités de simple navigation, et les systèmes présentant l'histoire interactionnelle avec des possibilités d'interactions sur les entités constitutives de la trace et sur la trace elle-même. Les systèmes appartenant à chacune de ces deux catégories mettent en place une visualisation.

Dans la première catégorie, on trouve la représentation *LifeLine* de (Plaisant *et al.*, 1996) qui permet facilement au lecteur de remettre en contexte des éléments ponctuels d'une histoire ou de corréler certains événements grâce à des lignes de vie superposées sur un axe temporel linéaire horizontal. D'autres formats de l'expérience d'utilisation peuvent être mis à disposition de l'utilisateur. Dans l'EIAH *Simple*, les apprenants échangent des segments vidéo de leurs actions permettant de partager plus facilement leur expérience (Plaisant *et al.*, 1999). Avec *PadPrints* (Hightower *et al.*, 1998), une carte de navigation représente cette histoire. Parfois, c'est l'expérience d'utilisation de plusieurs utilisateurs qui est visualisée. Le système *FootPrints* (Wexelblat et Maes, 1999) permet aux utilisateurs de laisser des annotations en format texte sur les éléments significatifs de l'environnement pour les utilisateurs futurs. La visualisation des traces d'une activité pédagogique proposée par (Marty *et al.*, 2007) permet de mettre en avant des périodes significatives de l'activité où l'apprenant est en difficulté grâce à des zones d'ombre.

Dans le cas de l'EIAH *PIXED* (Heraud *et al.*, 2004), l'apprenant peut voir l'état de son parcours pédagogique grâce à un *réseau notionnel annoté* permettant de construire un "chemin d'expérience" pour le guider dans ses choix de ressources pédagogiques. Ce chemin d'expérience est une représentation transformée de la trace d'apprentissage selon un objectif d'orientation de l'activité d'apprentissage. Cette

représentation explicite et structurée du passé de l'activité favorise l'auto évaluation, l'auto interrogation sur certains concepts précédemment abordés, et la révision si nécessaire.

Enfin, les études faites avec l'environnement DREW (*Dialogical Reasoning Educational Web tool*) (Séjourné *et al.*, 2004) montrent que les apprenants exploitent les traces d'activité (*chat* de DREW en particulier) au profit des processus réflexifs de l'apprentissage. C'est en situation collaborative que les élèves sont capables de revenir sur leurs traces, et de co-construire un diagramme qui organise et hiérarchise les arguments élaborés pendant l'activité pédagogique. Il est intéressant dans le cas de cette étude de voir à quel point les auteurs de la trace deviennent alors acteurs d'un certain nombre de transformations de celle-ci : sélection, suppression, réduction, construction.

2.5. Synthèse : les particularités liées au "temps réel"

Il existe des théories et des classifications générales de la visualisation de données, et notamment sur le sens que la structure d'une représentation est capable de transmettre à son lecteur (Lohse *et al.*, 1994 ; Novick et Hurley, 2001). Cependant il n'est pas facile d'en déduire comment construire une visualisation de traces d'interaction personnelles pour la réflexivité. En pratique, ce choix dépend du contexte d'application des traces. Ce qu'il y a de commun à toutes les visualisations de données s'apparentant à des traces, c'est la composante temporelle et historique forte à faire valoir lors de la représentation. Les expérimentations menées sur les systèmes présentés en section 2.4 montrent globalement que les utilisateurs sont disposés à faire l'effort de consulter leur expérience d'utilisation pour tenter de la mettre à profit dans leur propre activité.

L'approche que nous adoptons dans cet article reprend les conclusions de (Séjourné *et al.*, 2004), mais nous souhaitons que la trace d'activité soit expressément affichée à l'utilisateur pour qu'il existe une conscience de trace chez l'apprenant. L'analyse de l'activité faite à l'aide de l'instrumentation de DREW montre bien que la visualisation et la manipulation par le sujet des traces "spontanées" de son activité sont un moyen d'encourager les processus métacognitifs qui en permettent l'appropriation.

Deux nouvelles contraintes sont apportées par le caractère "temps réel" de la visualisation. Premièrement, la visualisation ne doit pas créer de surcharge cognitive chez l'apprenant, car l'exploitation de ses traces ne constitue pas son activité principale, mais enrichit simplement les possibilités offertes. Pour cela, les fonctions de la visualisation doivent être simples et intuitives ; les opérations possibles sur la trace doivent être faciles d'appropriation. La deuxième contrainte est plus matérielle : l'espace de représentation de la trace est restreint, car l'environnement doit consacrer

l'essentiel de la surface de l'écran à l'activité pédagogique. En conséquence, les possibilités en terme d'espaces graphiques sont assez réduites.

Dans eMédiathèque, nous avons choisi de mettre en place des fonctions simples pour l'utilisateur : trier des éléments contenus dans la trace, filtrer certains éléments de la trace, regrouper des éléments, remettre un élément de la trace dans son contexte d'utilisation, segmenter la trace en plusieurs segments ou épisodes, afficher simultanément deux traces différentes pour les comparer, supprimer certains éléments, choisir l'apparence visuelle de certains éléments, etc. D'autres fonctions choisies par un enseignant par exemple pourraient compléter la palette disponible selon une intention pédagogique ou didactique donnée.

3. Présentation de la plate-forme collaborative synchrone eMédiathèque

3.1. Environnement de classes virtuelles eLycée

Nous désignons par environnement eLycée l'ensemble des logiciels et des services en ligne mis à disposition par eLycée aux étudiants et enseignants. Cet EIAH adhère au concept de classe virtuelle. Il peut être décrit plus généralement comme une plate-forme collaborative synchrone de *e-learning*, mettant en œuvre différents outils collaboratifs à vocation principalement pédagogique.

L'environnement eLycée est composé principalement des éléments suivants :

- un gestionnaire de contenu pédagogique (Course Management System), fournissant essentiellement du contenu Web et *rich media* (clips audio ou vidéo), et quelques services web exploités par eMédiathèque ;
- un certain nombre d'outils ou services en ligne intégrés ou référencés dans les pages Web délivrées par le LMS (par exemple l'éditeur de texte collaboratif writely, un système de blog, des dictionnaires en ligne, etc.) ;
- et enfin la plate-forme collaborative eMédiathèque.

eMédiathèque est le logiciel client, au sens informatique du terme, développé par eLycée, et constitue le point d'accès à l'environnement eLycée. eLycée fait également usage de la plate-forme Marratech, en complément d'eMédiathèque, pour gérer la vidéoconférence. eMédiathèque intègre Marratech de manière à présenter l'ensemble le plus possible comme un seul et même environnement à l'utilisateur.

3.2. Rôles et fonctionnalités transverses d'eMédiathèque

Au sein de l'environnement eLycée, eMédiathèque a principalement deux rôles : d'une part, un rôle fort d'intégration. eMédiathèque gère à la fois la connexion aux différents services de l'environnement eLycée, par un mécanisme commun et unique d'authentification (*single sign on*), et l'intégration graphique et ergonomique des différents outils et services dans un tout cohérent ; et d'autre part, la mise en œuvre

effective de divers outils collaboratifs synchrones originaux, nécessaires aux activités pédagogiques d'eLycée.

En plus des ces deux fonctions premières, eMédiathèque a pour objectif d'assurer un certain nombre de fonctionnalités transverses liées à des considérations pratiques, et aux besoins d'eLycée évoqués en introduction :

- la mise à jour automatique du logiciel, et en particulier le déploiement automatique de nouvelles fonctionnalités sous forme de *plug-ins* ;
- la prise en compte du *rich media* dans les outils collaboratifs (tableau blanc avec *rich media* ; partage et visualisation synchrones de clips vidéo ou audio, etc.) ;
- une interface utilisateur conviviale et très versatile, permettant l'intégration visuelle aisée de divers outils hétérogènes, entièrement configurable par l'utilisateur ;
- et enfin un système de traçage de l'activité de l'utilisateur, permettant de collecter en temps réel ses interactions avec l'outil, sous forme d'actions cohérentes et contextualisées, et constituant ce que nous nommons la trace première.

3.3. Interface utilisateur configurable

L'interface utilisateur d'eMédiathèque (voir copie d'écran figure 9) est basée sur les concepts de vues et d'éditeurs venant du *framework* Eclipse RCP (*Eclipse Rich Client Platform*). Dans cet environnement, l'utilisateur dispose d'une zone d'éditeurs, encadrée sur la figure 9, dans laquelle chaque éditeur représente un contexte ou un document donné (par exemple un tableau blanc), matérialisé sous la forme d'un onglet. Comme nous pouvons le constater sur la figure, les éditeurs peuvent également être juxtaposés verticalement ou horizontalement, subdivisant ainsi à volonté la zone d'éditeurs ou sous zones.

Cette zone d'éditeur est elle-même entourée des vues périphériques, qui peuvent elle aussi être disposées, empilées, ou juxtaposées les unes par rapport aux autres, selon la volonté de l'utilisateur. A la différence des éditeurs, les instances de vues sont généralement uniques : nous trouverons ainsi une seule vue "*Media Files*", etc.

Les principaux intérêts de cette organisation sont : d'une part une facilité accrue d'intégration visuelle et ergonomique de différents outils collaboratifs hétérogènes, présentés sous la forme de vues ou éditeurs autonomes ; d'autre part une très grande *configurabilité* de l'environnement par l'utilisateur ; et enfin une similarité avec les navigateurs Web modernes à onglets tels que Firefox ou Internet Explorer 7.0. En l'occurrence, eMédiathèque est souvent présenté aux utilisateurs comme un navigateur Web enrichi de capacités de collaboration et de traçage.

3.4. Outils collaboratifs d'eMédiathèque

eMédiathèque fournit actuellement quatre principaux outils collaboratifs.

La **navigation Web partagée** (co-navigation) permet de naviguer sur des pages Web de manière collaborative, en effectuant des *push* Web (envoi d'une page vers les autres participants de la classe). Les enseignants peuvent alors utiliser cet outil comme mécanisme de présentation collective. Les plates-formes de vidéoconférence citée dans l'état de l'art fournissent généralement cette fonction, toutefois elles ne permettent l'affichage que d'une seule page à la fois, et le type de contenu Web pouvant être affiché est souvent très limité. EMédiathèque autorise l'ouverture de plusieurs onglets de navigation partagés simultanément, ce qui permet non seulement d'organiser le cours de façon plus élaborée (par exemple, mettre en vis-à-vis deux séries pages, l'une d'un exercice et l'autre de son corrigé), mais aussi facilite l'usage par les élèves de cet outil, car ils peuvent ainsi intervenir sur leur propre sessions de navigations, autonomes, sans pour autant être intrusifs sur la session de co-navigation de l'enseignant.

La **visualisation synchrone de ressources multimédia** est une fonctionnalité unique d'eMédiathèque qui permet de diffuser dans le cadre d'une classe des fichiers multimédia, de type image, vidéo, audio ou flash, par le biais d'eMédiathèque. Bien qu'à première vue redondante avec l'affichage de contenu Web, elle a deux intérêts majeurs : d'une part, un programme résident (comparable au mode résident ou iconisé des logiciels de messagerie instantanée tels que MSN ou Skype) permet de pré télécharger ces ressources multimédia volumineuses avant la classe, ce qui évite les délais et les problèmes de bande passante ; d'autre part, les ressources ainsi gérées par eMédiathèque peuvent être lues de façon synchrone : un participant à la classe peut "pousser" une ressource particulière (comparable aux *push* Web), puis démarrer, arrêter la lecture, etc., de manière partagée. Les ressources peuvent bien entendu être également lues de façon autonome par les utilisateurs. Un autre avantage pour nous est que la navigation (au sens de lecture) du clip multimédia est tracée.

Le tableau blanc partagé. Similaire aux tableaux blancs partagés présents dans des plates-formes telles que Marratech ou Elluminate, il offre toutefois la possibilité d'ouvrir plusieurs tableaux blancs simultanément, et permet donc la juxtaposition de deux tableaux blancs, ou bien d'un tableau blanc avec une page web ou une ressource multimédia. Cette possibilité de juxtaposition facilite la mise en œuvre de nombreux scénarii pédagogiques, tels que les commentaires de clips vidéo, d'images, de chansons, ou autre. Enfin, le tableau blanc d'eMédiathèque est entièrement tracé, et, en résonance avec la visualisation interactive de la trace, est l'objet d'un certain nombre d'applications auxiliaires de la traces telles que : défaire / refaire ; revenir à un état particulier du tableau blanc ; recréer des objets effacés ou hors contexte.

Enfin, la **messagerie instantanée** est comparable aux messageries instantanées présentes dans la plupart des plates-formes collaboratives synchrones, et est tracée.

3.5. Mise en œuvre des traces dans eMédiathèque

3.5.1. Architecture centrée sur les actions tracées

La plate-forme eMédiathèque a été conçue dès l'origine avec l'idée d'une part de tracer les actions significatives de l'utilisateur, et d'autre part de permettre le partage réseau de ces actions. En conséquence, son architecture s'articule autour des notions d'*action* utilisateur et de *commande* utilisateur, une commande étant une action ré exécutable, et dans certains cas annulable. Dans le cadre de cet article, la différence entre action et commande n'est toutefois pas significative. Une caractéristique importante des actions est que, même à ce niveau "proche de l'outil", elles doivent être obligatoirement perceptibles par l'utilisateur dans l'interface, c'est-à-dire donner lieu à une modification perceptible par l'utilisateur.

Les actions manipulent un modèle (ou représentent la manipulation d'un modèle), comprenant des entités structurées, représentant l'état courant des différents documents ouverts, et de leur contenu. Ces actions et entités sont tout à fait compatibles avec les actions et entités observables d'un modèle de trace, et constituent donc dans le cadre d'eMédiathèque le modèle de trace première.

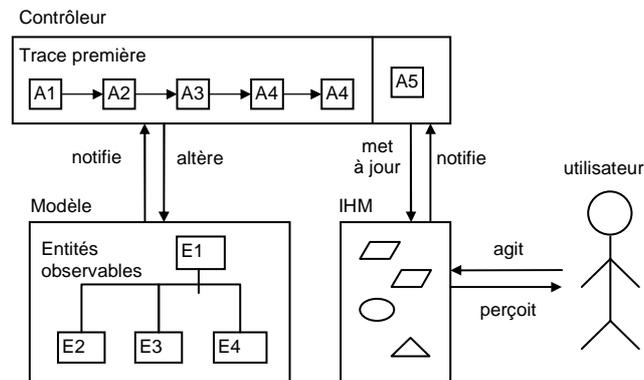


Figure 2. Architecture de type MVC centrée sur les actions tracées

La conception d'eMédiathèque respecte scrupuleusement les principes du modèle MVC (Modèle, Vue, Contrôleur), comme le montre la figure 2, avec une séparation nette entre l'IHM, les entités observables qui constituent le modèle, et l'infrastructure d'exécution des commandes qui constitue le contrôleur. La mémorisation par le contrôleur des actions effectuées forme la trace première. Bien qu'elle soit orientée outil, puisque définie par le concepteur, elle ne représente que des actions perceptibles par l'utilisateur, et reste donc, bien qu'orientée outil, assez proche de son langage.

La figure 2 montre notamment que toute interaction utilisateur / système modifiant potentiellement le modèle passe par le contrôleur, puis par le modèle. Les commandes jouent à la fois le rôle de "requêtes utilisateur", lorsqu'elles n'ont pas encore été exécutées, et le rôle d'actions observées, lorsqu'elles ont été exécutées et sont mémorisées dans la trace première. Les commandes contiennent toutes les informations en contexte nécessaires à leur ré exécution : elles représente en quelque sorte le delta entre deux états du modèle, de manière déclarative. A noter que certaines actions ne modifient pas le modèle, tout en étant perceptibles par l'utilisateur.

3.5.2. Lien entre traçage et partage des actions

La réification des actions utilisateur n'a pas pour seule vocation le traçage des actions dans la trace première, mais également le partage collaboratif du modèle. En effet, un moyen élégant de parvenir à du collaboratif synchrone, est de faire en sorte que toute action sur une entité partagée soit sérialisée et propagée par le réseau, et réinterprétée sur les postes des différents participants à la classe.

Il faut remarquer que, à la différence d'approches de "type VNC", où seuls des événements de très bas niveau (clics de souris, touches de clavier), sans sémantique, circulent sur le réseau, ici des actions déjà structurées et associées à une sémantique de "niveau relativement haut" sont communiquées : cela augmente considérablement les possibilités d'interprétation et de raisonnement sur ces actions.

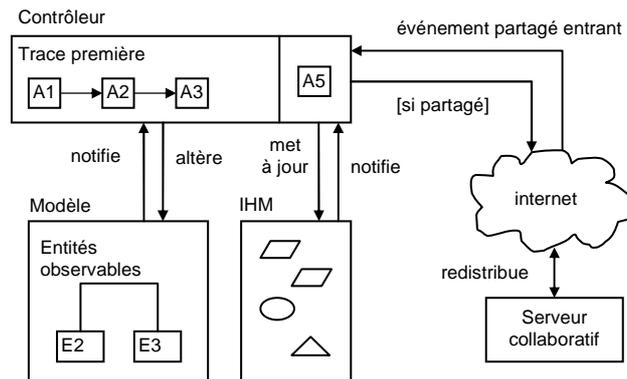


Figure 3. Architecture de type MVC centrée sur les actions tracées et partagées

La figure 3 reprend le schéma de la figure 2, en y ajoutant une boucle des actions ou commandes partagées vers le réseau Internet : le serveur collaboratif a pour fonction de redistribuer les événements, représentés par les actions sérialisées, aux différents participants concernés, et bien sur de gérer la session globale (connexion et déconnexion) associée à la classe.

Ce principe particulièrement simple de conception permet d'affirmer que dans ce contexte, "tout ce qui est partagé peut être tracé, et tout ce qui est tracé est *a priori* partageable", moyennant relativement peu d'efforts. C'est en partie autour de ce principe qu'a été conçu eMédiathèque.

3.5.3. Exemple de trace première produite

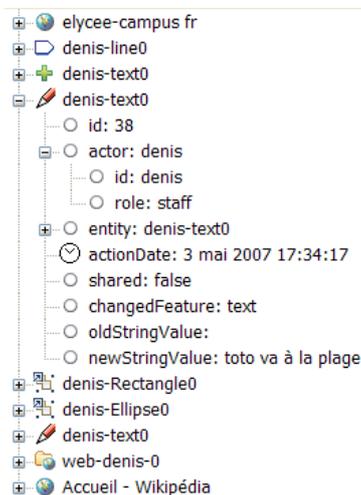


Figure 4. Exemple de trace première produite

La figure 4 présente un exemple d'un très court épisode de trace première produite par eMédiathèque, et visualisé à l'aide d'une vue rudimentaire de la trace première, sans aucune transformation. Cette vue n'est pas destinée à être présentée à l'utilisateur, car trop verbeuse et technique, mais donne un bon aperçu des informations présentes dans la trace première. Les icônes à gauche correspondent aux types d'action, et l'arborescence permet d'accéder à toutes les informations tracées.

4. Visualisation interactive de traces

Dans cette section, nous développons une des possibilités offertes par un système collaboratif tracé en temps réel tel qu'eMédiathèque. Il s'agit de la réutilisation de la trace produite pour l'afficher à l'utilisateur et lui permettre d'interagir avec elle.

4.1. Définitions

Pour la suite, nous donnons quelques définitions :

- **Trace** : Ensemble structuré qui représente l'histoire d'interaction de l'utilisateur du système et son expérience d'utilisation. Une définition formelle de la

trace est donnée dans (Laflaquière *et al.*, 2006). Dans cet article on définit une trace comme une séquence d'observés (cf. *section 4.5*).

- Un **observé** est une unité interactionnelle qui compose la trace. Il contient tous les éléments de contexte de l'action effectuée qu'il représente : l'acteur qui la réalise, le type d'action réalisée, le ou les entités impactées, etc.

- Le **modèle de trace** est l'ensemble des concepts et relations types qui décrit les éléments (acteurs, entités et actions) qui peuvent être contenus dans la trace, et comment ils s'organisent dans la trace.

- La **trace première** est la trace directement produite par le système de collecte et décrite dans le langage du concepteur. Toutes les informations sur l'expérience tracée utilisées dans notre système de visualisation proviennent de cette trace première ou bien sont déduites des informations de la trace première.

- Enfin nous reprenons le terme de **trace métier** utilisé par (Georgeon *et al.*, 2006) pour définir une trace qui représente l'expérience d'une activité donnée et qui est décrite dans le contexte de cette activité. Elle contient donc un vocabulaire, et une sémantique compréhensible par l'utilisateur qui verra cette trace.

4.2. Traces centrées utilisateur liées à une activité

Pour parvenir à une trace métier qui fait sens pour l'utilisateur à partir de la trace première, il faut réaliser un certain nombre d'opérations, car la trace première présente deux inconvénients principaux et ne peut être présentée telle quelle à l'utilisateur : elle est tout d'abord trop verbeuse car elle trace toute l'utilisation de la plate-forme de manière exhaustive. Deuxièmement, elle est décrite dans le langage de conception, qui n'est pas facilement compréhensible et inadapté à l'activité que mène l'utilisateur. Nous supposons en effet une plate-forme tracée relativement neutre par rapport à l'activité, dans le sens où elle ne prescrit pas de réaliser une activité plutôt qu'une autre. En conséquence, la trace première contient des éléments d'un niveau sémantique proche de l'outil. Pour obtenir une *trace métier*, il faut que son *modèle de trace* soit plus précis et prenne en compte le cadre et la sémantique de l'activité.

Plus précisément, pour obtenir une trace qui fait sens dans la cadre d'une activité *activité1*, il faut que son modèle de trace (MT_1) décrive le contexte de cette activité, et qu'une transformation *transformation1* construise la *trace métier 1* conforme à MT_1 à partir de la *trace première* conforme au *modèle de trace première* (MT_p). Ainsi, la *trace métier 1* représente l'histoire de l'*activité 1* (cf. figure 5). Pour n activités différentes à tracer, il faudra définir n modèles de trace métier et n transformations d'abstraction sémantique. Ces transformations mettent en jeu un certain nombre d'opérations : des suppressions d'observés, des ajouts d'éléments, des substitutions d'observés, etc., autant de types de transformations actuellement en cours de formalisation dans le cadre de travaux sur les SBT (Settouti *et al.*, 2006).

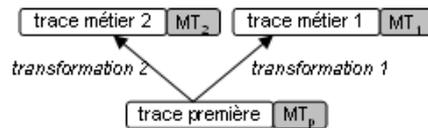


Figure 5. Obtention d'une trace métier

4.3. Transformations de la trace métier par l'utilisateur

La trace métier que nous construisons n'est pas modifiable directement par l'utilisateur. En réalité, pour transformer sa trace métier, l'utilisateur configure un certain nombre de transformations liées à la visualisation. Un *visualiseur* calcule la *trace vue* par l'utilisateur à partir de la trace métier et de la configuration des transformations (cf. figure 6).

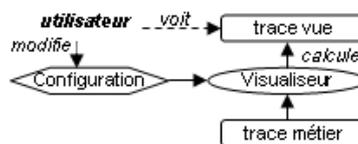


Figure 6. Mécanisme d'interaction avec la trace métier

L'objet *configuration de visualisation* contient les règles de transformation supplémentaires de la trace métier que le *visualiseur* applique. On y trouve notamment : une liste des règles de filtrage, une liste des règles de tri, des masques visuels qui définissent quelles propriétés des actions, acteurs et entités sont visibles sur la trace. Chaque configuration représente le "delta" entre la trace métier et la trace vue.

Finalement, la trace vue par l'utilisateur dépend entièrement de la trace métier et de l'objet configuration. Si l'un des deux est modifié alors la trace vue est modifiée. Cette approche présente l'avantage de permettre à l'utilisateur de pouvoir visualiser la même trace métier selon des angles différents, correspondant mieux à la singularité de son activité en contexte.

4.4. Architecture de la visualisation interactive de trace en temps réel

La figure 7 montre l'architecture globale du système de visualisation. A chaque interaction entre l'utilisateur et la plate-forme observée par le système de collecte, une action est ajoutée à la trace première. A chaque activité qui est tracée est attaché un transformateur qui permet de construire la trace métier correspondante à partir de la trace première. Lorsqu'une action est ajoutée à la trace première, tous les transformateurs sont notifiés, interprètent la nouvelle action et modifient les traces métier. L'utilisateur de la plate-forme choisit la trace métier qu'il souhaite visualiser (plu-

sieurs traces métier peuvent être visualisées en même temps). A chaque ajout d'action dans la trace métier par le transformateur, le *visualiseur* recalcule la trace vue, ainsi que lorsque l'utilisateur modifie la configuration de la trace vue.

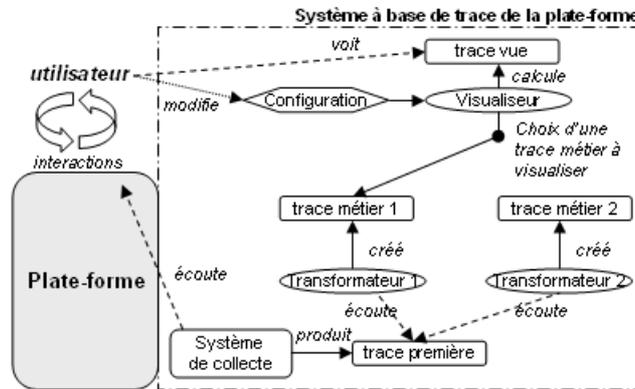


Figure 7. Schéma d'architecture globale de la visualisation interactive de traces

Nous pouvons distinguer deux phases dans le processus de transformation de la trace première en trace vue par l'utilisateur. La première phase consiste à abstraire la sémantique de la trace première pour décrire l'activité à partir des outils et ressources, et non plus l'utilisation de la plate-forme. Nous appelons cette phase *transformation statique*, car elle ne peut pas changer pendant l'exécution. C'est avant le lancement de la plate-forme que les transformations qui permettent d'obtenir les traces métier sont décrites. A ce stade du processus de transformation, la trace est toujours un objet informatique, mais les données qu'elle contient ont été sélectionnées et éventuellement créées pour une activité métier donnée.

La deuxième phase, celle qui permet à l'utilisateur une interaction avec la trace, est appelée *transformation dynamique*, car configurable en temps réel, à l'exécution du système. Cette phase de transformation dynamique regroupe des transformations structurelles de la trace (suppression d'éléments, tri, et autres opérations paramétrées par l'utilisateur) puis une transcription graphique de la trace obtenue. La vue de cette trace est donc singulière à l'utilisateur tout en étant relative au modèle métier.

4.5. Mise en œuvre

Le système de collecte, qui permet d'obtenir la trace première, repose sur un mécanisme de réification des actions, décrit section 3.5. Toutes les traces du système à base de traces, y compris la trace première, sont implémentées conformément au modèle de trace de la figure 8. La sémantique associée à ce modèle est la suivante : une trace est composée de plusieurs actions observables, qui peuvent chacune être

locale à l'environnement de l'utilisateur ou partagée par tous les utilisateurs. Chaque action est réalisée par un acteur et impacte (au moins) une entité du système.

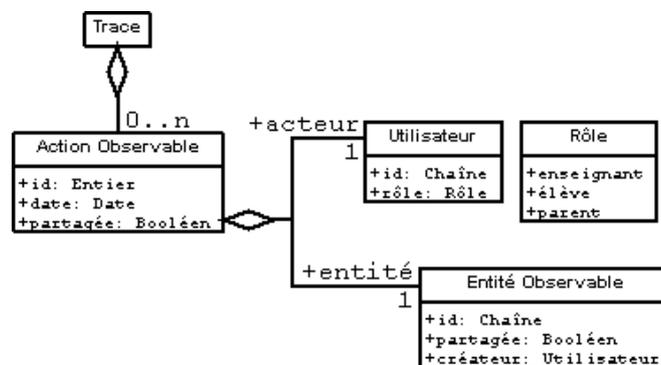


Figure 8. Modèle de trace commun à toutes les traces

Le système de transformation statique comporte des opérations relativement complexes. Pour l'heure, elles sont implémentées en langage Java dans des classes spécifiques. Le système de transformation dynamique qui permet la visualisation graphique interactive est implémenté dans une classe Java générique qui applique les transformations paramétrées par l'objet *configuration*. Les transformations implémentées par ce *visualiseur* sont : le tri, le filtrage, la suppression, le regroupement ou la fusion d'éléments similaires, le masque visuel. Cette étape de transformation dynamique est ne souffre pas d'une dépendance à l'activité comme la transformation statique.

5. Exemple et scénario d'application

L'activité pédagogique qui illustre notre système de visualisation interactive de trace est une version très simplifiée d'un activité qui est couramment réalisée en situation réelle avec les élèves d'eLycée, à la différence près que ceux-ci ne disposent pas encore du module de visualisation de traces que nous exposons ici, et que pour maximiser le traçage nous ignorerons la possibilité de converser oralement.

5.1. Description de l'activité de co-translation d'une planche de bande dessinée

Les élèves sont répartis en binôme. Chaque binôme doit traduire une planche de la bande dessinée "Astérix" de l'anglais vers le français. Ils partagent donc la version originale de cette planche sous forme d'image. Un tableau blanc partagé contient des zones de texte qui représentent les bulles que les élèves remplissent de leurs traductions. Ils peuvent communiquer via le *chat*, c'est par ce biais qu'ils doivent échanger, discuter et négocier la traduction commune qu'ils affecteront à chaque bulle.

5.2. Scénario illustré pour deux bulles

5.2.1. Aperçu de l'environnement tracé

Deux acteurs (*Denis* et *Damien*) traduisent deux bulles de cette planche. La figure 9 montre l'état de l'environnement de *Denis* au bout de quelques minutes.

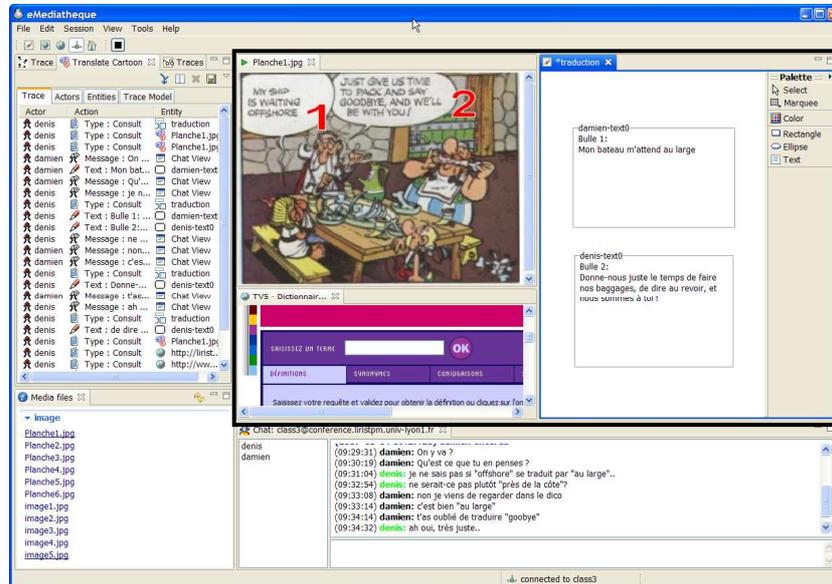


Figure 9. Aperçu de l'environnement au bout de quelques minutes de l'activité

La vue en bas à droite est le *chat*. Le cadre noir contient les éléments partagés par les deux élèves : l'image représentant l'original à traduire, le dictionnaire, et le tableau blanc contenant les zones de texte correspondant aux traductions. En bas à gauche on trouve toutes les ressources média disponibles, et enfin en haut à gauche, la vue sur la trace de l'activité de co-translation.

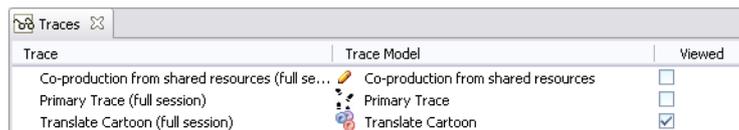


Figure 10. Aperçu de la vue "Traces"

Une autre vue est disponible dans l'environnement mais n'est pas affichée sur cette capture, il s'agit de la vue "Traces" (cf. figure 10). Cette vue affiche toutes les

traces disponibles dans l'environnement, indique le modèle de trace de chacune et précise celles qui sont actuellement vues par l'utilisateur. Sur la figure 10, trois traces sont disponibles : la trace première, la trace d'une activité de co-exploitation de ressources, et la trace d'une activité de "co-traduction de bande dessinée", qui est actuellement visualisée par l'utilisateur comme indiqué sur la vue.

5.2.2. Aperçu de la trace

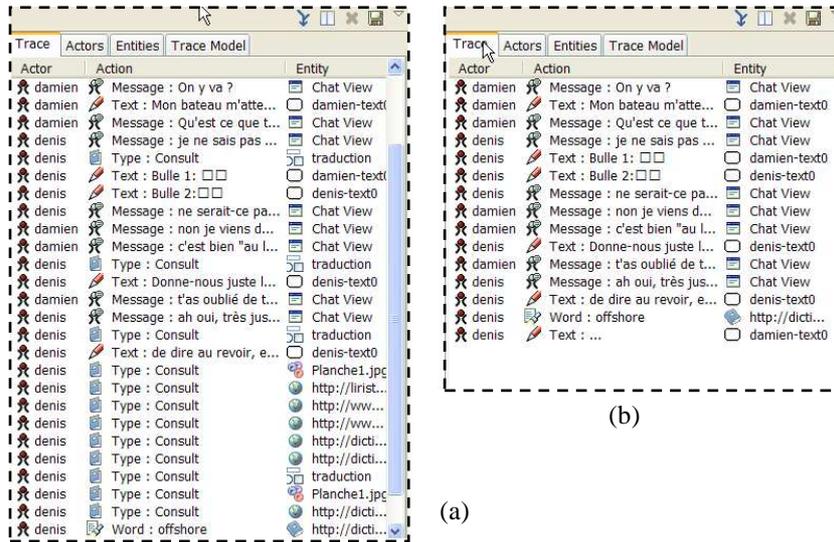


Figure 11. Aperçu de la trace métier de co-traduction de bandes dessinées en version non-filtrée (a) et en version filtrée (b)

Le cadre (a) de la figure 11 montre la trace non filtrée. Chaque ligne représente une action observée de la trace métier. Pour chaque action, nous pouvons voir l'acteur de l'action, le type de l'action réalisée (envoi de message, édition, consultation de ressources ou recherches de mots) et l'entité impactée. Chacun de ces trois éléments peut optionnellement être accompagné d'une icône et d'une couleur. Sur la Figure 12, d'autres onglets sont disponibles. Deux d'entre eux fournissent la liste des acteurs (cadre (a)) qui ont contribué à l'activité et la liste des entités impactées (cadre (b)) avec toutes leurs propriétés. Enfin, un onglet permet de visualiser le modèle de trace de l'activité sous forme d'arbre (cadre (c)). L'apprenant peut utiliser cet onglet pour connaître le descriptif de l'activité (type d'action possibles, types d'entités possible et types d'acteurs possible) et la légende correspondante.

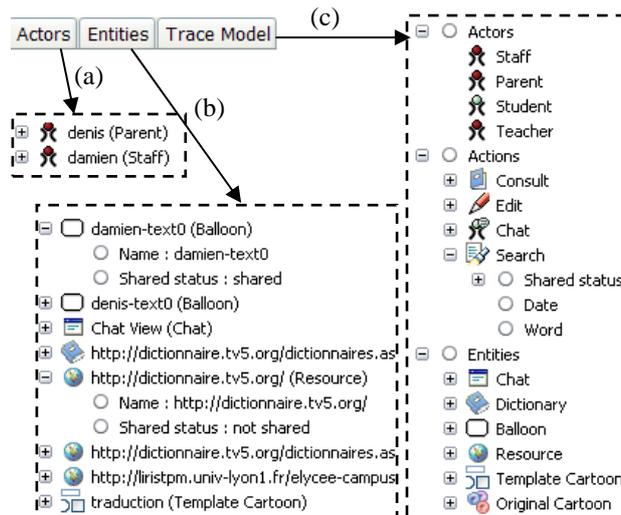


Figure 12 Aperçu des onglets de la vue "trace"

5.2.3. Aperçu des services d'interaction avec la trace

Les menus et la barre d'outils permettent d'effectuer les actions suivantes :

- activation du regroupement de deux actions successives de même type, effectuées par le même acteur et sur la même entité ;
- séparation de la trace en n traces qui représentent chacune la contribution de chaque utilisateur, les fragments de trace générés étant accessibles à la visualisation par la vue "Traces" (cf. figure 10) ; cette fonctionnalité permet notamment la comparaison graphique des contributions de chacun à l'activité ;
- suppression d'une action observée si l'utilisateur estime qu'elle n'est pas significative ;
- ajout et suppression des règles de filtrage sur les acteurs, actions ou entités ;
- ajout ou suppression de règles de tri des actions ;
- modification du masque visuel des actions, permettant de choisir quels éléments du modèle de trace sont affichés dans l'onglet "Trace" ; l'utilisateur peut par exemple choisir de ne pas afficher les entités s'il juge la vue trop chargée, ou de ne pas afficher d'icône pour représenter les types d'acteur, etc. ;
- enregistrement de la configuration au format XML.

Dans notre scénario, nous supposons que l'utilisateur estime que la trace est trop polluée par les actions de type *Consult* (consultation d'une ressource), et qu'il ne souhaite plus les voir dans la trace. Il peut installer une règle de filtrage sur les actions de type *Consult* comme le montre la figure 13.

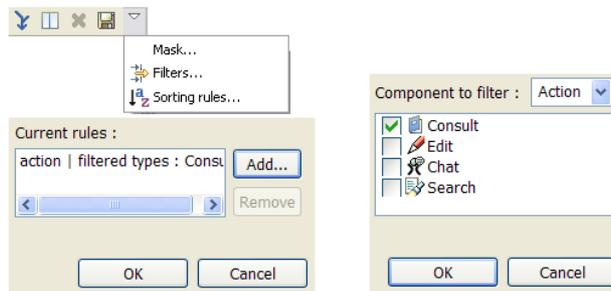


Figure 13. Mise en place d'un filtre sur les actions de type *Consult*

Le cadre (b) de la figure 11 résulte de cette opération de filtrage. Les actions de type *Consult* (consultation des ressources) sont cette fois-ci absentes de la vue. En conséquence la trace est plus légère en actions ; nous pouvons plus facilement y distinguer les éléments clés de l'activité.

6. Extensibilité et généricité de l'approche

6.1. Architecture modulaire en *plug-ins*

L'architecture logicielle mis en place pour réaliser eMédiathèque s'appuie sur une infrastructure orientée composants permettant de définir l'application comme un assemblage de *plug-ins* qui apportent chacun une contribution au fonctionnement du système. EMédiathèque est ainsi composé : de quatre *plug-ins* (*Cobrowser*, *Media*, *Whiteboard*, *Chat*) implémentant chacun un des outils collaboratifs présentés en section 3.4 ; d'un *plug-in* central "Client eMédiathèque" qui gère la session de l'élève et l'interopérabilité de tous ces services au sein du même environnement, ainsi que le traçage primitif ; et du *plug-in* "SBT" qui écoute la trace première créée par "Client eMédiathèque" et construit les traces métiers liées aux activités en cours et affichées aux utilisateurs.

Dans une application Eclipse RCP, un mécanisme de contribution déclarative des *plug-ins* permet de définir des points d'extension auxquels les *plug-ins* peuvent contribuer. Nous avons ainsi défini un point d'extension "activité / trace métier".

Le premier avantage de cette approche, par rapport à notre problématique de traces visualisées spécifiques aux activités, est que les fonctions de traçage de chaque activité peuvent être fournis par des *plug-ins* séparés (Activité 1, ..., Activité n), indépendants. Chacun de ces *plug-ins* apporte les éléments de modélisation de l'activité et de transformation de la trace première nécessaires à sa visualisation. La section 6.2 détaille la constitution d'un tel *plug-in*. Au final, le *plug-in* "SBT" collecte toutes les activités disponibles et les rend visualisables.

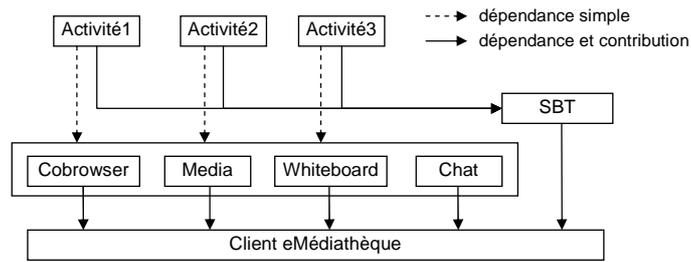


Figure 14. Schéma de contribution et dépendance des *plug-ins* d'eMédiathèque

Le deuxième bénéfice est la possibilité d'ajouter de nouvelles activités, sans nécessité de réinstallation ou de redémarrage d'eMédiathèque : une nouvelle activité rendue disponible sur le serveur sera automatiquement téléchargée et installée ou mise à jour dans eMédiathèque, de façon quasi transparente pour l'utilisateur. Cet effort de généricité et de modularité dynamique dans l'implémentation de la plate-forme permet donc l'introduction et la mise à jour fréquentes d'activités tracées, indispensables à toute exploitation et déploiement dans un environnement réel.

6.2. Ajout d'une nouvelle activité tracée

6.2.1. Étape 1 : conception du modèle de trace

L'ajout d'une nouvelle activité tracée, sous forme de *plug-in*, nécessite trois étapes. La première consiste à réaliser le modèle de trace métier de l'activité à tracer, c'est à dire définir les entités et les actions qui composent la trace.

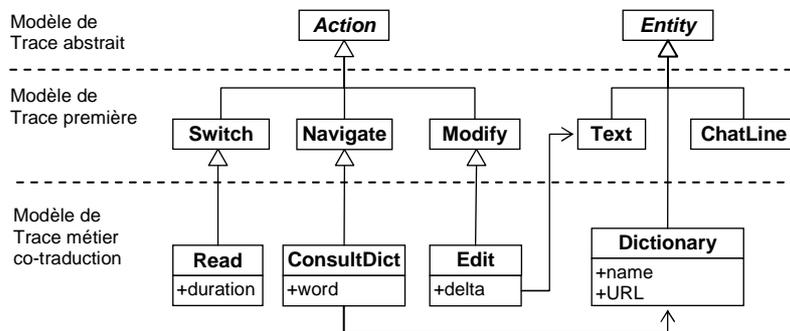


Figure 15. Modèle de trace étendu pour la co-translation de bandes dessinées (sous forme de diagramme de classes UML)

La figure 15 représente le modèle de trace (très simplifié) pour l'activité de co-translation de bande dessinée. Ce modèle étend le modèle de trace générique, et réuti-

lise certains éléments du modèle de trace première. Un nouveau type d'entité a été créé : le dictionnaire (*Dictionary* sur la figure). Trois nouvelles actions ont été créées : l'édition (*Edit*), la consultation d'un dictionnaire (*ConsultDict*), et la lecture d'une ressource (*Read*).

6.2.2. Étape 2 : réalisation du transformateur

Le rôle du transformateur de trace est de construire au fil de l'eau la trace métier en fonction de la trace première. En pratique, le transformateur interprète chaque nouvelle action de la trace première et construit éventuellement, en fonction de cette nouvelle action, des actions précédentes et d'informations de contexte, une action métier significative dans le cadre de l'activité.

Par exemple, lorsque la trace première contient une action de type "modifier" (*Modify*) et que l'entité concernée est une zone de texte (entité *Text*), alors le transformateur de l'activité co-traduction crée une action *Edit* dont le paramètre *delta* représente la différence entre l'ancienne chaîne de caractère et la nouvelle. Similairement, l'action de lecture (*Read*) correspond à la mise au premier plan d'une page ou d'une ressource pendant une durée supérieure à un certain seuil.

Cette étape est la plus technique des trois. Elle nécessite pour l'instant d'écrire le code des transformations dans le langage Java, mais nous envisageons comme perspective une modélisation et édition graphiques de ces transformations.

6.2.3. Étape 3 : définition des méta données de visualisation

Cette étape consiste à affecter à chaque élément du modèle de trace des méta données de visualisation qui définissent la correspondance entre les éléments du modèle de trace et des propriétés visuelles (nom, couleur, image). Concrètement, nous associons à chaque élément (actions, acteurs, entités, et leurs attributs) un descripteur de visualisation. Par exemple, à chaque élément de type *Action* est associé, entre autre, un descripteur (*ComponentTypeInfo*) qui représente le type d'action. Ce descripteur fournit pour ce type d'élément une image, une couleur et un nom. Les méta données fournissent également au mécanisme de visualisation une liste exhaustive de tous les types d'actions, d'entités et d'acteurs possibles dans cette activité, ainsi que leurs attributs. A terme, nous envisageons d'utiliser un mécanisme d'annotation du modèle de trace pour représenter ces méta données de visualisation.

6.3. Utilisation d'EMF pour modéliser la trace

La conception des modèles de trace a été réalisée avec le *framework* EMF d'Eclipse (*Eclipse Modelling Framework*). En quelques mots, ce *framework* permet la génération, l'opérationnalisation et l'exploitation d'un modèle de données structuré, et ouvre des perspectives intéressantes, comme par exemple l'édition graphique des

modèles de traces au sein même d'eMédiathèque. En outre, EMF facilite la sérialisation en XML/XMI des instances du modèle utilisé dans l'application (traces, documents, méta donnée de traces, configuration de visualisation).

Enfin, EMF est de plus en plus utilisé, et fait déjà l'objet d'outils génériques de requêtage (EMF Query), de visualisation et d'édition (Eclipse GMF), de persistance en bases de données (EMF SDO, ou encore Teneo), ce qui ouvre des perspectives particulièrement enthousiasmantes pour l'analyse de traces.

6.4. Documentarisation d'épisodes de la trace

Nous entendons par *documentarisation* d'épisodes de la trace le fait de donner à un épisode de trace (généralement métier), défini et visualisé par un utilisateur, le statut de document à part entière, au même titre qu'une autre ressource mise à disposition de l'utilisateur par la plate-forme (tableau blanc, vidéo, etc.). Un tel épisode de trace peut alors être visualisé, partagé, annoté, et faire l'objet de requêtes de recherche dans une base d'épisodes de traces.

EMédiathèque permet d'ores et déjà de sauvegarder un épisode de trace. Cet épisode peut ensuite être lu et visualisé de la même manière que la trace vue construite en temps réel. Il nous reste à ajouter des possibilités d'annotation et de recherche, qui feront l'objet de recherches futures.

7. Conclusion

L'EIAH eMédiathèque a été conçu pour être tracé en temps réel. La trace première que fournit son système de collecte décrit exhaustivement l'utilisation de la plate-forme grâce à un mécanisme de réification des actions. Elle contient tous les éléments nécessaires à l'analyse de l'activité mais ne peut être visualisée telle quelle par l'utilisateur en vue d'apporter une dimension réflexive à son activité, car les éléments de description qu'elle contient sont exprimés dans le langage du concepteur.

Pour que l'utilisateur puisse voir son expérience d'utilisation dans sa trace et encourager la réflexivité, deux types d'opérations sont effectués. Premièrement, la trace première est interprétée et transformée en une trace métier qui décrit une activité ciblée, c'est l'étape de transformation statique. Deuxièmement, la visualisation de la trace métier créé est configurable par l'utilisateur en temps réel pendant son activité, pour qu'il puisse lui-même effectuer quelques transformations sur celles-ci et mieux l'adapter à ses besoins, c'est l'étape de transformation dynamique. La visualisation interactive de trace ainsi créée permet à l'apprenant de disposer de l'histoire de son activité en temps réel et d'en suivre l'évolution, ce qui favorise la réflexivité dans son activité.

La mise en œuvre du traçage d'une nouvelle activité se matérialise par l'ajout d'un *plug-in* qui se greffe au système de visualisation en apportant trois éléments : le modèle de trace métier de l'activité, les règles de transformation à appliquer à la trace première pour obtenir une trace de ce modèle, et les méta données qui permettent d'afficher graphiquement les propriétés de la trace métier (noms, images et couleurs).

7.1. Discussion

A l'heure actuelle, la mise en œuvre du concept de visualisation interactive de traces pour la réflexivité de l'activité chez l'apprenant est encore au stade de la conception ; il n'a pas encore été mené d'expérimentation sur ce dispositif. Cependant, les premiers tests techniques effectués montrent que les utilisateurs de la plate-forme sont agréablement surpris de se retrouver tracés dans le langage de leur activité. Avant même d'évaluer si l'utilisateur utilise cette trace à profit dans le cadre de son activité pédagogique, il est tout à fait positif et prometteur.

Les possibilités d'interactions avec la trace offertes à l'utilisateur (tri, filtrage) sont primordiales dans l'optique de la réflexivité, car ce sont elles qui lui permettent de façonner la trace comme miroir de sa propre activité. Cependant il est toujours difficile de rendre ce type d'opérations accessibles et intuitives pour un utilisateur peu habitué à l'informatique.

Le principal obstacle au déploiement du système de visualisation que nous proposons est la mise en œuvre du traçage de chaque nouvelle activité, qui nécessite de mettre en place tous les éléments qui permettent de définir la sémantique de l'activité (cf. section 6.2). Ce qui pose problème, est que la personne ayant les compétences pour décrire l'activité pédagogique à tracer (l'enseignant) doit être assisté d'un informaticien qui traduit sa requête et effectue les étapes nécessaires d'ajout de la trace métier. Une interface d'administration des activités tracées doit maintenant être mise en place pour pouvoir rendre toutes ces étapes accessibles à l'enseignant.

7.2. Perspectives

L'idée d'encourager les processus réflexifs chez l'utilisateur par la visualisation de traces s'applique aussi bien aux EIAH qu'à d'autres environnements, comme par exemple les environnements collaboratifs. En présentant systématiquement un retour à l'utilisateur de ce qu'il fait et de l'impact qu'il a sur son environnement, nous pouvons espérer réduire le hiatus qui existe dans tout système entre la "logique de conception" du système et la "logique d'utilisation" (Mille et Prié, 2006).

Le système proposé est conçu pour la visualisation de trace à des fins d'assistance métacognitive, mais peut facilement s'étendre à la visualisation de traces pour l'analyse *a posteriori* de l'activité pédagogique. Cette analyse *a posteriori* des traces

peut être effectuée soit par l'apprenant lui-même, auquel cas nous sommes dans le cadre de la réflexivité et la mise à distance temporelle, soit par un analyste qui étudie l'activité et le comportement de l'apprenant. La trace métier issue de l'activité constitue un support d'information très intéressant pour cette analyse. L'instrumentation d'une visualisation de la trace un peu plus riche en outils de transformations et en plein écran permettrait de pouvoir instaurer des séances de *feedback* à partir de la trace. L'architecture extensible adoptée par eMédiathèque et son système de visualisation ne représente pas un obstacle à cette perspective.

Enfin, le fait de disposer en temps réel d'une trace dans l'environnement qui décrit l'activité de son utilisateur permet d'envisager d'autres applications que la visualisation. La trace métier, représentant un index chronologique de la session, peut être un support intéressant pour faciliter la navigation dans les enregistrements de sessions, pour accéder à et restaurer certaines entités effacées, pour revenir à un état précédent, etc. Certains travaux visent à recréer en classe virtuelle une possibilité pour l'enseignant de visualiser l'état global de sa classe et de repérer les éventuels élèves en difficultés (France *et al.*, 2006 ; Mazza et Dimitrova, 2003). La trace métier peut servir de support de calcul pour ce type d'indicateurs d'avancement. Une application à plus long terme serait de développer un agent assistant pour l'apprenant, qui analyse sa trace et repère des signatures de tâches expliquées (Champin *et al.*, 2004) dans son histoire d'utilisation et éventuellement celles des autres, de telle sorte que des épisodes potentiellement réutilisables dans la situation courante soit présentés à l'utilisateur et facilite son activité. La mise en œuvre de ce type d'assistance se fait sur la base du raisonnement à partir de l'expérience tracée (Mille, 2006).

BIBLIOGRAPHIE

(Avouris *et al.*, 2005)

AVOURIS N., KOMIS V., FIOTAKIS G., MARGARITIS M., VOYIATZAKI E. (2005). Logging of fingertip actions is not enough for analysis of learning activities. *Usage analysis in learning system AIED'05 Workshop*.

(Champin, 2003)

CHAMPIN P.-A. (2003). ARDECO: an assistant for experience reuse in Computer Aided Design. *Proceedings of WS 5 of ICCBR'03: From structured cases to unstructured problem solving episodes*. Trondheim (NO), NTNU, Trondheim, p. 287-294.

(Champin *et al.*, 2004)

CHAMPIN P.-A., PRIE Y., MILLE A. (2004). .MUSSETTE : a framework for Knowledge from Experience. EGC'04, RNTI-E-2 (article court), Cepadues Edition, Clermont-Ferrand. France, p. 129-134.

(eLycéeMethod, 2007)

eLycée Teaching Method. http://www.elycee.com/elycee-campus/v2/teaching_method.php (consulté le 30 avril 2007).

(France *et al.*, 2006)

L. FRANCE, J.-M. HERAUD, J.-C. MARTY, T. CARRON, J. HEILI (2007). Monitoring Virtual Classroom: Visualization Techniques to Observe Student Activities in an e-Learning

System. *Proceeding of the 6th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. Kerkrade, The Netherlands, p. 716-720.

(Georgeon *et al.*, 2006)

GEORGEON, O., MILLE, A. & BELLET, T. (2006). Abstract: un outil et une méthodologie pour analyser une activité humaine médiée par un artefact technique complexe. *Actes de Ingénierie des Connaissances IC 2006*, Nantes, France.

(Heraud *et al.*, 2004)

HERAUD J.-M., FRANCE L., MILLE A. (2004). Pixed: An ITS that guides students with the help of learners' interaction logs. *7th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (Workshop Analyzing Student-Tutor Interaction Logs to Improve Educational Outcomes)*. Maceio, Brésil., p. 57-64.

(Hightower *et al.*, 1998)

HIGHTOWER, R., RING, L., HELFMAN, J., BEDERSON, B. & HOLLAN, J. (1998). Graphical multiscale web histories: A study of PadPrints. *Proc. of Hypertext '98*, p. 58-65.

(Hilbert et Redmiles, 2000)

HILBERT D.-M., REDMILES D.-F. (2000). Extracting Usability from User Interface Events. *ACM Computing Surveys*. Vol. 32, No 4, p. 384-421.

(Iksal et Choquet, 2005)

IKSAL S., CHOQUET C. (2005). Usage Analysis Driven by Models in a Pedagogical Context. *Workshop Usage analysis in learning systems at AIED2005: 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education*. Amsterdam, Pays-Bas, p. 49-56.

(Laflaquière *et al.*, 2005)

LAFLAQUIERE J., CHAMPIN P.-A., PRIE Y., MILLE A. (2005). Approche de modélisation de l'expérience : utilisation de systèmes complexes pour l'assistance aux tâches de veille informatiquement médiées. *ISKO-France 2005*. Amos David ed. INIST-CNRS, Vandoeuvre-lès-Nancy, France, p. 209-230. Presse Universitaire de Nancy . ISBN 2-86480-817-X.

(Laflaquière *et al.*, 2006)

LAFLAQUIERE J., SETTOUTI L.-S., PRIE Y., MILLE A. (2006). A trace-based System Framework for Experience Management and Engineering. *Second International Workshop on Experience Management and Engineering (EME 2006) in conjunction with KES2006*, Bournemouth Royaume-Uni.

(Lohse *et al.*, 1994)

LOHSE G.-L., BIOLSI K., WALKERS N., RUETER H. (1994). *A classification of visual representations*. Communication of the ACM, Vol. 37, No 12, p 36-49.

(Marty *et al.*, 2007)

MARTY, J., HERAUD, J., CARRON, T. & FRANCE, L. (2007). Matching the Performed Activity on an Educational Platform with a Recommended Pedagogical Scenario: A Multi-Source Approach. *Journal of Interactive Learning Research*. 18 (2), Chesapeake, Etats-Unis, p. 267-283.

(Masciotra, 2005)

MASCIOTRA D. (2005). Réflexivité, métacognition et compétence. *Vie pédagogique* 134. p. 29-31.

(Mazza et Dimitrova, 2003)

R. MAZZA, V. DIMITROVA (2003). CourseVis: Externalising Student Information to Facilitate Instructors in Distance Learning. *Proceedings of the International conference in Artificial Intelligence in Education*. U.Hoppe, F. Verdejo, J., Kay (eds.), Sydney, Australia, p. 279-286.

(Mille, 2006)

MILLE A. (2006). Raisonner à Partir de l'Expérience Tracée. "Le storytelling : concepts, outils et applications", sous la direction de Eddie Soulier. *Traité IC2, Série Informatique et SI*. Hermès Science. (à paraître)

(Mille et Prié, 2006)

MILLE A., PRIÉ Y. (2006). Une théorie de la trace informatique pour faciliter l'adaptation dans la confrontation logique d'utilisation/logique de conception. *13ème Journées de Rochebrune - Traces, Enigmes, Problèmes : Emergence et construction du sens - Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels*. Rochebrune, France, p. 12.

(Mollo, 2002)

MOLLO V. (2002). La construction des procédures par la pratique : le rôle des outils ergonomiques. *Actes du XXXVIIIème Congrès de la SELF, "Les évolutions de la prescription"*. Aix-en-Provence, France, p. 201-208.

(Novick et Hurley, 2001)

NOVICK L.-R., HURLEY S.-M. (2001). To matrix, Network, or Hierarchy : That is the Question. *Cognitive Psychology*. Vol.ume 42, p. 158-216.

(Ollagnier-Beldame, 2006)

OLLAGNIER-BELDAME M. (2006). *Traces d'interactions et processus cognitifs en activité conjointe : Le cas d'une co-rédaction médiée par un artefact numérique*. Rapport de thèse en sciences-cognitives de l'Université Louis Lumière Lyon 2.

(Ollagnier-Beldame, 2007)

OLLAGNIER-BELDAME, M. (2007). Suivre l'apprentissage instrumenté à la trace. Soumis au numéro spécial "Analyses des traces d'utilisation dans les EIAH" de la *revue STICEF, revue francophone de Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*.

(Papert, 1993)

PAPERT S. (1993). *The Children's Machine : Rethinking School in the Age of the Computer*. Basic Books, New York.

(Plaisant et al., 1996)

PLAISANT C., MILASH B., ROSE A., WIDO S., SHNEIDERMAN B. (1996). Lifelines: visualizing personal histories. *CHI'96: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. ACM Press, New York, NY, USA, p. 221-227.

(Plaisant et al., 1999)

PLAISANT C., ROSE A., RUBLOFF G., SALTER R., SHNEIDERMAN B. (1999). The Design of History Mechanism and Their Use in Collaborative Educational Simulations. *Proceedings of the Computer Support for Collaborative Learning*. Palo Alto, CA, p. 348-359.

(Rossi et al., 2005)

ROSSI F., LECHEVALLIER, EL GOLLI A. (2005). *Visualisation de la perception d'un site Web par ses utilisateurs*. Suzanne Pinson and Nicole Vincent editors, Actes EGC 2005, RNTI-E-3, Vol. 2, p 563-574, Cépaduès-Editions, Paris, 2005.

(Roussel et al., 2006)

ROUSSEL N., TABARD A., LETONDAL C. (2006). All you need is log. *WWW 2006 Workshop on Logging Traces of Web Activity: The Mechanics of Data Collection*, 4 pages.

(Sanderson et Fisher, 1994)

SANDERSON P.-M., FISHER C.-A. (1994). *Exploratory sequential data analysis: foundations*. *Human-Computer Interaction*. Vol. 9(3), p 251-317.

(Séjourné et al., 2004)

SÉJOURNÉ A., BAKER M., LUND K., MOLINARI G. (2004). Schématisation argumentative et co-élaboration de connaissances: le cas des interactions médiatisées par ordinateur. *Actes*

du colloque international "Faut-il parler pour apprendre?". E. A. Théodile Lille 3 (Ed.), Arras, France.

(Settouti *et al.*, 2006)

SETTOUTI L.-S., PRIE Y., MILLE A., MARTY J.-C. (2006). Système à base de trace pour l'apprentissage humain. *Colloque international TICE 2006 "Technologies de l'Information et de la Communication dans l'Enseignement Supérieur et l'Entreprise"*. INP Toulouse.

(Settouti *et al.*, 2007)

SETTOUTI L.-S., PRIE Y., MILLE A., MARTY J.-C. (2007). Vers des Systèmes à Base de Traces modélisées pour les EIAH. Soumis au numéro spécial "Analyses des traces d'utilisation dans les EIAH" de la revue *STICEF, revue francophone de Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*.

(Wexelblat et Maes, 1999)

WEXELBLAT A., MAES P. (1999). Footprints: History-rich tools for information foraging. *Proceedings of ACM CHI 99 Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 270-277.