

Vers des Systèmes à Base de Traces modélisées pour les EIAH

► Lotfi-Sofiane SETTOUTI (LIRIS, Lyon), Yannick PRIÉ (LIRIS, Lyon), Jean-Charles MARTY (SYSCOM, Chambéry), Alain MILLE (LIRIS, Lyon)

■ **RÉSUMÉ** • Cet article traite de la notion de systèmes à base de traces modélisées et leurs exploitations dans le cadre des EIAH. Il se penche tout d'abord sur les différentes utilisations des traces dans le contexte des EIAH, en soulignant notamment les besoins pour chaque type d'acteur de l'EIAH (apprenant, enseignant, concepteur et chercheur). Après avoir montré l'importance et la nécessité d'offrir des outils aidant et facilitant la manipulation de traces, nous présenteront un cadre conceptuel permettant de penser tout système exploitant des traces modélisées en définissant la notion de trace, de modèle de trace et de transformation. Par la suite, nous montrerons l'utilisation d'un tel système en présentant deux exemples. Le premier cas concerne une plateforme d'apprentissage en ligne, et a pour visée la réflexivité et la facilitation de l'activité des apprenants. Le second exemple traite de l'utilisation des traces au service de l'enseignant scénarisant une activité qu'il valide moyennant des traces.

■ **MOTS CLÉS** • Traces, Traces modélisées, Modèle de trace, Système à base de traces.

■ **ABSTRACT** • *This article deals with the notion of systems based on modeled traces and their exploitations in context of e-learning systems. First, we describe the various uses of traces in the context of the e-learning systems, notably by underlining needs for every actor of e-learning systems (learner, teacher, designer and researcher). Having shown the importance and the necessity of tools supporting and facilitating the trace manipulations, we will present a conceptual framework supporting any trace-based systems by defining the notion of trace, trace model and trace transformation. Afterward, we shall show the use of such a system by presenting two examples. The first case concerns a platform of on-line learning, and has for aim the reflexivity and the facilitation of the learner activity. The second example deals with the use of trace for teacher validating an educational scenario.*

■ **KEYWORDS** • *traces, modeled trace, trace model, trace-based systems*

1. Introduction

Le travail présenté dans cet article s'insère dans le cadre du projet¹ « Personnalisation des EIAH », plus spécifiquement, dans le cadre de la tâche « Production de traces et représentation ». La diversité de des situations d'apprentissage nécessite en effet une personnalisation de ces environnements afin que les différents utilisateurs puissent se les « approprier ». Par « personnalisation », nous désignons la capacité d'un EIAH à s'adapter par ses services, ses ressources ou ses interfaces aux besoins des utilisateurs. Il existe de nombreuses approches pour la personnalisation : toutes nécessitent une « prise en compte » des « besoins » de l'utilisateur. La prise en compte de ces besoins peut être faite par des méthodes directes qui « demandent » directement à l'utilisateur son avis : il s'agit de systèmes de description de préférences, de configuration, d'édition de profil, etc. Ces méthodes ont l'avantage d'être explicites pour l'utilisateur, mais le gros défaut d'exiger de l'utilisateur qu'il ait une bonne connaissance des effets de ses choix sur la personnalisation. Ces approches sont bien adaptées pour des effets immédiats (aspects d'interface par exemple), mais très mal adaptées pour des effets sur les processus interactionnels (le processus de réalisation d'une activité est spécialisé, certaines possibilités sont filtrées par exemple). Une autre approche, retenue comme base de personnalisation dans cet article, consiste à « observer » l'utilisateur dans son activité afin d'exploiter ces observations pour personnaliser l'environnement. L'observation nécessite l'interception des interactions dans des traces informatiques, qui seront l'objet de visualisation directe, ou/et de calculs pour construire des indicateurs d'activité, qui eux-mêmes peuvent être produits à l'utilisateur. Les traces informatiques sont à la base de nombreuses approches de personnalisation, mais n'ont pas fait l'objet d'étude approfondie en tant qu'objets informatiques possédant des propriétés propres et des méthodes propres.

Nous proposons de mettre en place les bases théoriques et pratiques permettant et facilitant l'utilisation des traces informatiques dans les EIAH. Un tel cadre théorique permettant la modélisation, la représentation et le traitement des traces devra fournir un support générique aux nécessaires interprétations des observations pour en déduire les connaissances nécessaires à la personnalisation.

Nous présentons dans cet article la notion de *Système à Base de Traces (SBT)* dans le contexte des EIAH. Un *Système à Base de Traces* est défini comme étant un système informatique facilitant et supportant la manipulation de traces modélisées en tant que telles. Pour préciser cette notion, nous allons décrire un cadre conceptuel

⁽¹⁾ Projet faisant partie du cluster *Informatique, Signal, logiciels embarqués* financé par la région Rhône-Alpes (<http://cluster-isle-eiah.liris.cnrs.fr/>).

fournissant une terminologie et un vocabulaire communs permettant à différentes communautés disciplinaires de modéliser, de parler et de concevoir des études utilisant des traces mais aussi de développer des systèmes informatiques exploitant des traces numériques.

La suite de notre article va donc s'articuler en trois parties : la première propose un état de l'art en matière d'utilisation des traces informatiques dans les EIAH. Il s'agit d'étudier la notion de *trace* telle qu'elle est actuellement utilisée à des degrés divers et pour des motifs variés dans différents domaines et activités. La deuxième partie décrit d'abord en détail notre notion de systèmes à base de traces modélisées en définissant précisément les notions de trace, de modèle de trace, de transformation, *etc.* Deux exemples d'utilisation de traces dans le cadre d'EIAH sont ensuite présentés au sein du cadre conceptuel des SBT. La troisième et dernière partie est l'occasion de discuter nos propositions et de mettre en évidence le travail en cours ainsi que nos principales perspectives dans le contexte des EIAH.

2. EIAH utilisant des Traces

Il convient pour commencer de préciser quelques notions nécessaires à la considération des travaux à base de traces.

Tout d'abord, nous entendons par *EIAH utilisant les traces* : *tout EIAH dans lequel on peut relever l'utilisation de traces numériques, de quelque manière que ce soit, avec des degrés de généralité variables de manipulation des traces.*

Ensuite, il existe actuellement plusieurs points de vue sur ce que pourrait être cette définition d'une trace. Au-delà des divergences entre définitions, les objets considérés comme étant des traces sont souvent différents. En effet, « *la trace est toujours trace de quelque chose...* » (Serres, 2002). On s'intéresse dans cet article à la notion de *trace numérique*² et on considérera qu'une trace numérique est *trace de l'activité d'un utilisateur qui utilise un outil informatique pour mener à bien cette activité, s'inscrivant sur un support numérique.* Dans le contexte des EIAH, cette notion peut signifier deux choses : (1) *l'histoire interactionnelle d'un apprenant utilisant un EIAH* ou (2) *les productions*³ *qu'il a laissées lors de son apprentissage.* On se place clairement, dans la suite de cet article, dans le premier cas, la trace étant alors une empreinte restante de l'activité (propriété résiduelle) relatant l'historique et la chronologie de l'interaction de l'apprenant (propriété descriptive). Dans le second cas, la trace n'est plus trace à cause de sa capacité de à « retracer » l'interaction (propriété descriptive), mais uniquement parce qu'elle peut être vue et

⁽²⁾ Dans la suite de ce document, le terme « trace » seul dénotera donc le concept de trace numérique.

⁽³⁾ Les productions comme trace de l'activité d'apprentissage.

considérée comme un élément passé restant et résultant de cette activité (propriété résiduelle). Ce deuxième cas nous intéresse moins, car perdant la propriété essentiellement temporelle et séquentielle des traces d'activités.

La Figure 1 montre l'utilisation d'une trace d'interaction dans les EIAH. Elle décrit la boucle générale de personnalisation des EIAH par différents acteurs en utilisant les traces. Les participants à l'activité d'apprentissage interagissent avec un EIAH, individuellement ou en groupes. Suivant leur rôle respectif, les participants ne tireront pas partie des traces de la même manière.

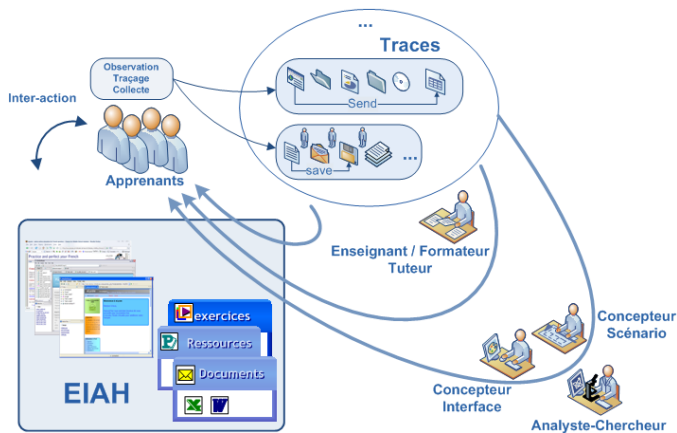


Figure 1 : Utilisation des traces dans les EIAH

Par exemple, un enseignant-tuteur peut guider l'activité individuelle ou collaborative en essayant de comprendre les dysfonctionnements éventuels par rapport au scénario qu'il avait préconisé. Il peut alors adapter la session, introduire des aides personnalisées, fournir des supports pédagogiques adaptés aux différents publics. Un enseignant-concepteur peut exploiter les traces pour personnaliser un scénario pédagogique, permettant ainsi de réguler le déroulement d'une session d'apprentissage en tenant compte de certains aspects qui ne peuvent être mesurés qu'en cours de session, tel le temps de réponse à un exercice. L'apprenant peut visualiser sa trace et se faire une image de son évolution dans l'activité, ce qui lui permettra de comprendre son cheminement dans la construction de sa connaissance. Ces quelques exemples d'utilisation des traces par les différents acteurs donnent une vue très parcellaire de la puissance de l'exploitation des traces car les participants peuvent avoir des besoins très différents. Il serait donc difficile de décrire exhaustivement l'ensemble des fonctionnalités imaginables.

Nous allons dans la suite de cette section décrire les utilisations déjà expérimentées des traces dans des « EIAH utilisant des traces ». Cette présentation se fera en

considérant quatre catégories d'acteurs, elle nous permettra de faire ressortir les éléments et besoins les plus importants pour les Systèmes à Base de Traces.

2.1. Traces pour l'enseignant

Les enseignants-tuteurs animant des activités pédagogiques au sein de certains EIAH sont parfois désorientés par le manque d'éléments perceptibles permettant le suivi des activités des apprenants. Certains travaux ont mis en évidence la problématique du « manque de conscience » de l'enseignant des activités de ces apprenants pendant une situation d'apprentissage médiée (Marty et al., 2007). En effet, dans une situation présentielle classique, l'enseignant a toujours des « feedbacks » visuels et/ou exprimés par les apprenants (questions, commentaires) qui lui permettent de réagir de différentes manières. Pour pallier cette différence de « repère », les traces sont utilisées pour reconstituer des éléments de perception de l'activité. Ces éléments sont obtenus en effectuant un certain nombre de manipulations sur les traces (extraction, filtrage, calculs et visualisation). Il est important de noter que d'un tuteur à un autre les éléments de perception peuvent être très différents, certains étant par exemple préoccupés par les éléments liés à la performance des apprenants, d'autres à la communication qui s'instaure dans l'activité d'apprentissage collaborative. On voit ici que la personnalisation de la perception au sein de l'EIAH est fortement liée à la possibilité d'exploitation des traces d'usage. Les éléments de perception disponibles permettent ensuite à l'enseignant tuteur de réagir en fonction de l'activité effective et de réguler cette activité en fonction de ses objectifs dans la session d'apprentissage. Les indicateurs calculés à base de traces sont les éléments de perception les plus courants dans les EIAH.

- Le calcul d'indicateurs

Une trace présentée de manière très synthétique sous forme de bilan peut permettre de fournir à l'enseignant une analyse « objective » du travail d'un apprenant (Renié, 2000). Utilisés pendant ou après l'activité d'apprentissage, des indicateurs simples peuvent décrire des informations précises et ponctuelles, comme par exemple le nombre d'accès à une ressource en ligne, le nombre d'essais pour chaque réponse, le temps passé dans chaque activité, le taux de réussite.

Dans le contexte des EIAH collaboratifs, le calcul d'indicateurs est d'une autre dimension. En effet, l'indicateur pertinent doit permettre de compiler des statistiques sur les traces de l'espace de travail commun des apprenants (du groupe) et les traces individuelles de chacun. La définition des indicateurs dans ce contexte décrit leur propre comportement dans la collaboration. Le calcul d'indicateurs à partir de traces pour soutenir la collaboration et l'apprentissage collaboratif est un champ de recherche très actif (voir notamment l'état de l'art de (Dimitracopoulou, 2004)).

Beaucoup d'EIAH permettent la visualisation de statistiques calculées à partir des traces. (Després, 2001) a par exemple développé un environnement ESSAIM permettant au tuteur de voir à base de traces d'interactions, le degré d'interaction de l'apprenant ainsi que temps qu'il a passé dans chaque étape. L'application Combien?⁴ (Le Calvez et al., 2003) présente des statistiques pour chaque exercice fait (durée pour trouver la solution, nombre d'erreurs ou d'exercices achevés). Synergo⁵ dans un contexte d'usage collaboratif permet lui aussi de visualiser entre autres le nombre de messages émis et le nombre d'objets manipulés. Le système DIAS (Discussion Interaction Analysis System) (Bratitsis et Dimitracopoulou, 2005) permet la visualisation d'indicateurs (degré d'interaction, taux de contribution) pour mieux soutenir la collaboration. Le système Virtuoso (Stefanov et Stefanova, 2005) envoie automatiquement un courriel au tuteur contenant les statistiques relatant entre autres les scores obtenus et les erreurs commises ainsi que les différentes traces utilisées après une session d'apprentissage.

Certes, les renseignements tirés de la trace sont d'importance pour l'enseignant qui veut s'assurer par exemple que ses étudiants ont parcouru le matériel pédagogique, mais ils ne révèlent rien sur la nature de ce parcours. En fait, l'utilisation des traces comme une source de représentation d'information quantitative⁶ révèle par exemple que l'apprenant a fait quelque chose, mais ne montre pas comment il s'y est pris. Dans la plupart des cas, il est en effet nécessaire pour un enseignant-tuteur voulant intervenir sur une situation de connaître le cheminement effectué par l'apprenant pour accomplir sa tâche. Ceci permettra par exemple de détecter, pendant l'activité, que l'apprenant s'est égaré et éloigné de sa tâche ou bien *a posteriori* d'expliquer à l'apprenant la cause de son succès ou de son échec.

- Les parcours des apprenants

Le parcours de l'apprenant montre d'abord sa progression au sein de la séquence de tâches proposée lors d'une séance d'apprentissage (ressources pédagogique à lire, exercices, etc.). Le niveau de détail des actions disponibles dans la trace permettant de suivre la progression d'un apprenant peut être discuté et en soi un problème complexe. Une trace brute montrant la succession des actions élémentaires opérées sur l'interface (Click_bouton_Ok) n'est pas pertinente. Celle-ci serait en effet inexploitable par le tuteur en situation de suivi car les éléments produits par les apprenants au niveau de l'interface sont trop éloignés de la sémantique de leur activité d'apprenants (Guéraud, 2004). Dans ce sens, (Labat, 2002) argumente que les EIAH doivent four-

⁽⁴⁾ <http://combien.lip6.fr/>

⁽⁵⁾ <http://hci.ece.upatras.gr/synergo/>

⁽⁶⁾ Données sur le nombre de visites d'un site, sur les fréquences d'utilisation de telle ou telle fonction. Ce type d'information est généralement utilisé dans des travaux de profilage utilisateur.

nir des informations d'un plus haut niveau d'abstraction aidant le tuteur à apprécier le travail de manière quantitative et surtout qualitative.

Même si la majorité des EIAH tracent les parcours des apprenants (en inscrivant dans une trace généralement les actions et les objets manipulés), peu d'entre eux permettent une visualisation cohérente de ce parcours synthétisée au bon niveau d'abstraction. Par exemple, le projet FORMID (Guéraud, 2004) offre à l'enseignant une visualisation de l'état d'avancement des apprenants en utilisant un modèle de tâche permettant le traitement et la structuration de la trace au bon niveau de besoin du tuteur. CourseVis (Mazza et Dimitrova, 2003) et VLE (Hardy et al., 2004) permettent de visualiser le parcours d'un apprenant pour cerner son comportement. CollabLogger (Morse et Steves, 2000) permet de voir les parcours d'un groupe d'apprenants collaborant.

D'autres EIAH donnent la possibilité à l'enseignant-tuteur de rejouer les traces d'interaction et de reprendre le parcours d'un apprenant pour comprendre son comportement ou les problèmes survenus lors de sa session d'apprentissage, par exemple DREW⁷ (Dialogical Reasoning Educational Web tool) (Baker et al., 2003), Combien?⁸ (Le Calvez et al., 2003), SimPLE (Simulated Process in a Learning Environment) (Plaisant et al., 1999) ou APLUSIX⁹. ColAT (Avouris et al., 2007) permet quant à lui permet de visualiser les traces de parcours non pas directement dans l'EIAH mais dans une interface dédiée, en synchronisation avec d'autres sources d'observation multimédia (vidéo).

2.2. Traces pour l'apprenant

Bon nombre d'EIAH tracent les interactions entre apprenants et environnement, sous la forme de fichiers souvent non exploitables directement par cet apprenant. Il existe deux grandes utilisations de la trace au service de l'apprenant : (1) la visualisation de sa propre trace et (2) l'assistance à base de traces. La première est concernée par la présentation des traces dans un format qui « fait sens » pour l'apprenant dans le cadre de son activité d'apprentissage (approche *Mirroring*). La seconde concerne le traitement automatique des traces par l'EIAH pour guider l'apprenant dans son activité (approche *Guiding*).

- Trace comme miroir de l'activité de l'apprenant

Les traces d'interaction d'un apprenant donnent une « image fidèle » de son activité. Elles permettent de refléter ce qu'il fait avec un EIAH lui permettant ainsi de

⁽⁷⁾ <http://lead.emse.fr/>

⁽⁸⁾ <http://combien.lip6.fr/>

⁽⁹⁾ <http://aplusix.imag.fr/fr/>

prendre « conscience » de la tâche qu'il effectue (Charlier et al., 2006). L'apprenant peut revenir sur son activité et peut (re)voir les questions et les hypothèses qu'il a formulées tout au long de sa session d'apprentissage (Noblitt et Bland, 1991).

Même si la majorité des EIAH tracent l'apprenant et permettent la visualisation de cette trace, ils ne lui permettent pas toujours d'interagir avec. Quelques systèmes permettent cependant cette interactivité. Par exemple, SIMPLE (Simulated Process in a Learning Environment) (Plaisant et al., 1999) propose aux apprenants une visualisation interactive de leurs actions permettant d'annoter certaines parties et d'en éditer des éléments. APLUSIX¹⁰ (Nicaud, 1987) permet aussi à l'apprenant d'interagir avec sa trace en parcourant les calculs qu'il a effectués. L'apprenant peut ainsi corriger lui-même les exercices qu'il n'a pas résolus correctement en reprenant la résolution et agir donc sur sa trace.

(Carroll et al. 1996) argumente que les traces peuvent être considérées comme des expériences passées pouvant aider les apprenants à comprendre ce qu'ils ont fait, à revoir leurs actions, à sauvegarder ces traces dans l'objectif de les rejouer plus tard, identifier la partie de l'histoire qu'ils ont tracé qui les intéressent. (Gay et Mazur, 1993) considère que les apprenants ont une perception de leur travail qui ne reflète pas toujours la réalité. La trace favorise leur « prise de conscience » de leur activité à un niveau « métacognitif » (Ollagnier-Beldame, 2006) en les aidant notamment à approfondir leur apprentissage (Weerasinghe et Mitrovic, 2006).

- **Trace comme « facilitateur » de l'activité de l'apprenant**

Les traces peuvent être utilisées pour assister l'apprenant dans son activité d'apprentissage. Cette approche a été proposée dans le cadre du système PIXED¹¹ (Héraud, 2002). Ce système propose aux apprenants consultant un cours en ligne de réutiliser le parcours d'apprentissage d'autres apprenants en se fondant sur les principes du Raisonnement à Partir de Cas (Mille, 2006). PIXED permet de renvoyer à l'apprenant une possibilité d'exploiter des traces d'apprentissages comme source de connaissances pour assister son orientation dans la progression d'apprentissage dans un cours. La trace est considérée comme un cas composé d'une séquence d'actions qu'on peut réutiliser (Mille, 2006).

Dans le cas d'utilisation des traces à des fins d'assistance comme MUSERIE (Champin, 2004), l'EIAH utilise les traces mais sans les présenter directement à l'apprenant ou l'enseignant. Des calculs faits sur traces récupérées permettent de modifier les interfaces (Luengo et Vadcard, 2005). En s'aidant du modèle de

⁽¹⁰⁾ <http://aplusix.imag.fr/fr/>

⁽¹¹⁾ Projet d'Intégration de l'eXpérience pour l'Enseignement à Distance.

l'utilisateur ou du profil d'apprenant extrait en partie de la trace d'utilisation, un système conseillé peut guider l'utilisateur dans son activité (Zapata-Rivera et Greer, 2002). Un système conseillé peut même être instancié par des calculs sur les traces pour obtenir l'état de l'utilisateur comme le montre (Dufresne et al., 2003).

2.3. Traces pour l'enseignant-concepteur d'activités pédagogiques

Une des nouvelles évolutions des EIAH offre la possibilité de scénariser l'activité pédagogique de l'apprenant (Koper, 2003) (Ferraris et al., 2007). Les scénarios permettent à l'enseignant de définir et concevoir des parcours destinés aux apprenants, plus ou moins complexes et adaptés à ses objectifs pédagogiques. L'approche par les scénarios permet de bâtir des situations d'apprentissage personnalisées par les tuteurs.

Si dans les systèmes existants, l'utilisation des traces se réduit le plus souvent à fournir aux apprenants et/ou au tuteur une information utile pour réguler l'activité, il est relativement rare de l'utiliser pour fournir un feedback aux concepteurs du scénario et de l'activité pédagogique. En effet, le scénario est l'expression de la tâche prescrite par l'enseignant alors que la trace d'exécution du scénario est l'expression de la tâche effective lors de l'utilisation par les acteurs. Une analyse comparant la tâche prescrite par le scénario et la tâche effective lors de l'utilisation par les apprenants participe à la personnalisation du processus d'apprentissage en étant base d'évolution du scénario pédagogique (Marty et al., 2007). Les traces d'utilisation sont alors un élément d'amélioration continue de la qualité d'un scénario pédagogique (Marty et al., 2004).

La question de la ré-ingénierie des EIAH a été traitée dans le cadre du projet REDIM, où (Choquet et Iksal, 2007) estiment que les traces peuvent être considérées comme des objets pédagogiques, au même titre que les scénarios ou les ressources pédagogiques. Les traces observées sont décrites comme des scénarios descriptifs exprimés dans le langage du scénario prédictif. L'étude des traces permet l'amélioration des scénarios pédagogiques du point de vue conceptuel. (Choquet et Iksal, 2007) proposent un langage de modélisation et de construction de traces baptisé UTL (Usage Tracking Language). Ce langage décrit sous trois facettes les besoins, la manière de collecter et d'utiliser les traces : la première facette « Defining » permet d'assister notamment le concepteur/pédagogue dans la phase de définition des observables dont il aura besoin, la deuxième facette « Getting » permet la description des moyens d'acquisition et de collecte des traces et enfin la troisième facette « Using » permet de définir l'utilisation des traces (réingénierie, régulation de l'activité). De ce point de vue, la démarche présente certains avantages. Elle permet tout d'abord de décrire des observables à partir de la structure du scénario construit par l'équipe des concepteurs. Elle propose ensuite une façon de retranscrire ces obser-

vables dans un langage interprétable en conception, dans le but de pouvoir comparer le scénario conçu *a priori* à celui résultant des usages observés *a posteriori*.

2.4. Traces pour le chercheur

Une des utilisations courante des traces est l'analyse par des chercheurs étudiant une situation d'apprentissage. En effet, les EIAH peuvent être utilisés par un apprenant individuellement et en complète autonomie, et/ou en classe mais médiée par un artefact informatique, à distance et/ou en collaboration avec d'autres apprenants. Cette transformation du contexte d'apprentissage amène les chercheurs à s'interroger sur la nature même de l'apprentissage (Reniè, 2000). Les traces fournissent une matière première permettant d'étudier les caractéristiques du processus d'apprentissage, les interactions et aidant à modéliser l'apprenant. De nombreux outils d'analyse existent permettant notamment l'annotation de traces, des transcriptions de vidéos et des visualisations sophistiqués comme ColAT (Avouris et al., 2007), Observer XT¹², MacShapa¹³ (Sanderson, 1994), TRANSANA¹⁴.

Ce besoin est d'autant plus important dans le contexte d'apprentissage collaboratif. Beaucoup de travaux de recherche à base de traces ont en effet été menés, généralement pour déduire les caractéristiques et la dynamique d'un groupe et pouvoir en extraire les indicateurs pertinents, les stratégies et modèles computationnels influençant l'apprentissage. Pour (Jermann et al., 2001) un apprentissage collaboratif satisfaisant est un apprentissage permettant à un apprenant de collaborer et à apprendre à collaborer. Les environnements doivent donc guider, soutenir et assister l'apprentissage collaboratif en régulant, modérant et conseillant l'apprenant aussi bien dans sa tâche d'apprentissage que dans sa tâche de collaboration.

2.5. Discussion

Les traces numériques peuvent être utilisées comme « objet de soutien » pour l'activité de l'apprenant, de l'enseignant, du concepteur et de l'analyste-chercheur. Nous avons vu dans les exemples d'EIAH utilisant les traces quatre utilisations principales :

2.5.1. Utilisation des traces permettant la prise de conscience de l'activité par l'enseignant et l'apprenant (awareness)

Le calcul d'indicateurs à base de traces permet de donner une information précise et adéquate sur une séance d'apprentissage. Or, certains indicateurs comme par

⁽¹²⁾ Un outil commercial développé par Noldus. www.noldus.com

⁽¹³⁾ <http://www.aviation.uiuc.edu/institute/acadprog/epip/macshapa.html>, un Outil d'analyse exploratoire de données séquentielles

⁽¹⁴⁾ Un outil Open source pour analyser et transcrire des vidéos, etc. <http://www.transana.org/>

exemple les fréquences d'accès à telle ou telle ressource ou les taux de répétitions des actions effectuées ne sont pas, dans tout les cas, informatifs sur la façon d'apprendre (Lomicka, 1998). Si chaque élément tracé est associé à une interprétation simple (comme l'action « rechercher » signifie un accès à la définition d'un mot) alors calculer le taux de fréquence de cette action est pertinent (Greenberg et Witten, 1988). En revanche, lorsqu'une interprétation à partir d'une trace se décompose sur plusieurs actions, chacune de ces informations n'est plus forcément pertinente. Par exemple, une action « éditer » liée à un objet n'est significative que si elle est précédée par une action « rechercher ». Dans ce cas, l'interprétation est liée à la séquence d'actions (rechercher-éditer) et donc il est plus approprié de calculer le taux de fréquences de la séquence, en transformant cette trace.

2.5.2. Utilisation des traces pour refléter l'activité (Mirroring)

La trace permet de rendre l'activité d'apprentissage réflexive : soit par des calculs statistiques permettant de qualifier l'activité de l'utilisateur, soit par confrontation de l'apprenant à sa propre activité en s'appuyant sur un traçage minutieux *in situ*, appuyé par une visualisation adéquate. Une visualisation de trace (inter)active et faisant partie à part entière d'un EIAH change considérablement le rapport de l'apprenant avec cet EIAH (Hatcher, 1997). Certains environnements, en donnant toutes les possibilités instrumentales d'édition, de manipulation des traces, permettent à l'apprenant de conserver volontairement une trace pour pouvoir la réutiliser dans d'autres activités. La trace devient donc un « objet frontière » au sens de (Star, 1989) lorsque par exemple un apprenant doit expliquer sa démarche à un autre (tuteur ou apprenant).

2.5.3. Utilisation des traces pour « faciliter » l'activité (Guiding)

Les traces destinées à l'apprenant peuvent également être plus ou moins interprétées par l'environnement en fonction de l'approche théorique d'assistance que l'on choisit. Si un profil d'utilisateur ou un modèle de tâche existe, l'EIAH pourra prédire ce que l'utilisateur fera en fonction de ce qu'il a fait auparavant, ou en réutilisant des parties de traces qu'on a jugé « similaires » pour lui faire des suggestions ou proposer des conseils.

2.5.4. Utilisation des traces pour analyser et comprendre une situation d'apprentissage

Les traces présentées à l'analyste de la situation d'apprentissage doivent être interprétées, mises en forme dans le bon niveau d'abstraction et visualisées de manière détaillée. Si l'analyste a des hypothèses de recherche, il peut modéliser la trace en fonction de ses besoins et chercher à implémenter l'EIAH de telle sorte qu'il enregistre ce qui l'intéresse (les éléments qu'il a besoin d'observer) dans la forme qu'il souhaite (les mises en relation qu'il veut obtenir).

2.5.5. Bilan

Dans les différentes utilisations que nous avons vues, la trace est un « objet commun » soutenant des apprenants, enseignants et chercheurs dans leurs tâches, pendant ou après l'activité. Les EIAH doivent alors recourir à différents outils et services associés aux traces d'interactions, mettant la trace comme « objet » à disposition de ces différents acteurs (apprenants et enseignants) pour faciliter leurs activités.

Les travaux à base de traces que nous avons présentés montrent qu'il ne suffit pas de tracer des informations, même après une modélisation de ce qu'on trace, pour que les traces résultantes soient exploitables directement dans les EIAH. La littérature et les travaux montrent bien le grand potentiel d'exploitation des traces, mais soulignent aussi les difficultés à offrir des solutions « adéquates » permettant leurs exploitations directes.

La trace numérique est en effet un objet difficile à manipuler et à exploiter. La diversification des utilisations des traces, pour aller de l'assistance à l'apprenant jusqu'à leur utilisation comme information explicite et objet de réflexion pour l'enseignant ou l'apprenant, pose explicitement le problème de leurs exploitations, et de leurs représentations de façon intelligible et normalisée. La diversification des utilisations de la trace n'est pas la seule difficulté ; l'hétérogénéité (sémantique) des traces obtenues contribue aussi à la complexité du domaine. Les traces se présentent en effet de plus en plus sous des formes variées (texte structuré, flux vidéo, etc.), incluant des relations riches (composition, liens hypertexte, dépendances temporelles, etc.), des possibilités de navigation poussées et des niveaux d'abstraction variés. Le traçage d'un environnement informatique produit des informations proches ou éloignées de l'activité, des événements informatiques issus de l'interface à des éléments proches de l'activité (tâches, sessions, exercices, etc.)¹⁵. Dans ce contexte, il est nécessaire de traiter, de transformer les traces pour pouvoir les interpréter. Au-delà de la problématique du traçage et de l'instrumentation des systèmes informatiques, le besoin de gérer et de traiter des traces de plus en plus complexes n'a donc cessé de s'accroître. L'existence des traces et la diversité de leurs usages pose donc la question de leur ingénierie.

L'exploitation des traces numériques dans les EIAH par l'apprenant ou l'enseignant est éminemment dépendante des possibilités logicielles permettant

¹⁵ Le traçage de systèmes informatiques peut fournir des traces allant d'un contenu trop riche en informations très détaillées à un autre trop général ne couvrant pas complètement l'activité étudiée. Trouver le juste compromis entre les deux est souvent difficile à atteindre.

l'ingénierie des traces. Afin de mettre en œuvre des systèmes informatiques d'exploitation des traces facilitant cette ingénierie, nous considérons l'objet « trace » en tant qu'objet informatique ayant des caractéristiques particulières pouvant être modélisées. Nous proposons dans la suite un cadre conceptuel permettant de décrire de tels systèmes informatiques baptisés *Systèmes à Base de Traces modélisées*.

3. Systèmes à base de traces Modélisées

Nous présentons dans cette section la notion de *Systèmes à Base de Traces Modélisées (SBT)* comme une solution générique au problème de la modélisation et de la manipulation des traces. Afin de définir de tels systèmes, nous définissons et formalisons tout d'abord les concepts de trace et de modèle de traces (section 3.1). Nous présentons ensuite la notion de SBT (section 3.2), et précisons les étapes de collecte et de transformation. Une vue d'ensemble des utilisations générales des SBT dans le contexte des EIAH permettra d'en définir les fonctionnalités (section 3.4), en montrant concrètement au travers de deux exemples de modélisation et d'exploitation de traces son application (section 3.5).

3.1. Trace : modélisation et formalisation

Nous allons dans cette partie aborder notre définition de la notion de *trace* et de *modèle de traces*.

3.1.1. Observé et Trace

Dans sa définition la plus générale, « une trace est une chose ou une suite de choses laissées par une action quelconque et relatives à un être ou un objet ; une suite d'empreintes ou de marques que laisse le passage d'un être ou d'un objet ; ce à quoi on reconnaît que quelque chose a existé ; ce qui subsiste d'une chose passée »¹⁶. Dans notre contexte, une trace numérique est issue de l'observation d'une activité, elle représente une signature d'un processus interactionnel.

Une trace numérique est composée d'objets qui sont situées les uns par rapport aux autres parce qu'on les observe et qu'on les inscrit sur un support. Cela signifie qu'une trace est explicitement composée d'objets arrangés et inscrits par rapport à une représentation du temps de l'activité tracée (Figure 2). L'arrangement peut être séquentiel explicite (chaque observé est suivi et/ou précédé par une autre) ou découler du caractère temporel des objets de la trace. Pour donner notre définition de la notion de *trace*, nous définissons la représentation du temps de l'activité tracée que nous appelons *extension temporelle*.

⁽¹⁶⁾ Entrée trace dans la version électronique du nouveau petit robert, dictionnaire, En ligne ; Page disponible le 22-décembre-2005

Extension temporelle : On appelle *extension temporelle* associée à une trace : (1) soit un intervalle temporel déterminé par deux dates, appelées date de début et de fin de l'observation ; (2) soit une séquence d'éléments quelconques (par exemple une sous-partie de l'ensemble des entiers naturels).

Trace : On appelle *trace* une collection d'observés temporellement situés. On dénote par *observé* toute information structurée issue de l'observation d'une interaction.

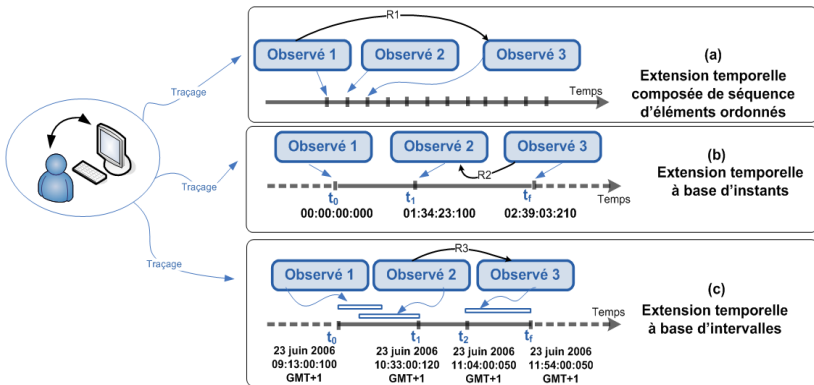


Figure 2 : Trace, observés et extension temporelle de l'activité

Un observé est temporellement situé dès le moment où il est associé à une partie de l'extension temporelle de la trace à laquelle il appartient. Dans le cas où l'extension temporelle est un intervalle, l'observé pourra être associé à un instant ou à un intervalle de temps. Dans ce cas, on pourra s'intéresser aux relations chronologiques entre observés (Figure 2b et 2c) ; Dans le cas où l'extension temporelle est une séquence, l'accent sera mis sur la succession ou la précédence des observés, il n'y a pas temps chronologique (Figure 2a). La structure d'un observé peut renvoyer à d'autres observés via des relations (exemple de R1, R2 et R3 dans la Figure 2).

3.1.2. Trace modélisée

Une trace numérique obéit à un modèle de trace, qui décrit les objets qui en font partie. Quelque soit le niveau d'abstraction des éléments de la trace (i.e. leur proximité aux événements informatiques), le modèle de trace vient préciser comment il est possible de les comprendre et de les utiliser. Un modèle de trace peut se limiter à une description des classes d'objets, mais peut aussi prendre en compte les types de relations.

Modèle de trace : On appelle *modèle de trace* le vocabulaire de la trace. Le modèle de trace permet la compréhension de la trace en décrivant abstraitement les éléments.

Trace modélisées : On appelle *trace modélisée (m-trace dans la suite)* l'association d'une collection d'observés temporellement situés et d'un modèle explicite de cette collection d'observés.

Une *m-trace* donc est toujours associée à un modèle de trace définissant les éléments qui la composent : observés et relations. Un modèle de trace peut être *implicite* – c'est-à-dire uniquement présent implicitement dans le code de l'outil l'utilisant – par exemple le Common Log Format est le modèle des traces du serveur Apache. Il peut au contraire être *explicite* – c'est-à-dire formalisé suffisamment pour permettre l'échange et la réutilisation de traces (e.g. un schéma XML décrivant et contraignant le contenu d'une trace XML).

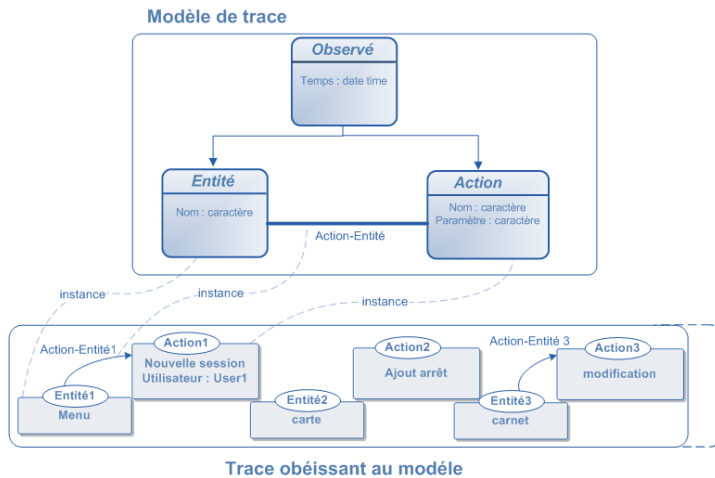


Figure 3 : Exemple d'une m-trace et de son modèle

La Figure 3 montre un exemple de modèle simple représentant les traces issues de Géonote¹⁷. Géonote est un EIAH destiné à l'enseignement des sciences de la Terre dans l'enseignement secondaire. Il permet d'accéder à des données géo-référencées sur une carte. L'élève peut superposer différents types de cartes, réaliser des mesures, zoomer sur un détail, rechercher des données indexées, annoter ces données, prendre des notes, accéder à de la documentation. Le modèle de traces décrit simplement les observés de la trace qui peuvent être *action* ou *entité*. Les actions sont par exemple :

⁽¹⁷⁾ <http://praxis.inrp.fr/praxis/projets/geonote/>

ajout arrêt, modification, nouvelle session et les entités : *menu, carnet, carte, etc.* La trace montre que l'utilisateur a utilisé le menu en cliquant sur l'action *nouvelle session*, puis l'entité *carte* et a effectué l'action *ajout arrêt*. Le modèle de la trace de l'exemple présenté est simple mais des modèles plus complexes et plus spécifiques (proche de l'activité) peuvent être élaborés pour décrire d'autres traces.

3.1.3. Modèle formel

Nous proposons ci-dessous une formalisation des notions de trace et de modèle de trace.

Formellement, un modèle de trace est une structure $\Theta = (\Theta_c, \Theta_r)$ avec :

- Θ_c un ensemble fini de classes d'objets $\theta_{ci} = (A, T, \sigma_A)$ décrivant et typant les observés de la trace.
 - A est un ensemble fini d'attributs a_i ($0 \leq i \leq n$). $A = \{a_0, \dots, a_n\}$
 - T est un ensemble fini de types de données représentant le domaine de définition des attributs a_i .
 - σ_A est une application $\sigma_A : \theta_{ci} \rightarrow A \times T$ associant les classes d'objets θ_{ci} un couple d'attribut a_i et de type.
- Θ_r est un ensemble fini de types de relations θ_{ri} avec $\theta_{ri} \subset (\theta_{ci})^k$ et qui est noté $\theta_{ri}(\theta_{c1}, \theta_{c2}, \dots, \theta_{ck})$ ($k > 1$ étant l'arité de la relation θ_{ri}).

Une trace, qui est donc toujours associée à un modèle, est formellement définie comme un 4-uplet $\text{Trace} = (D_p, O_{tr}, R_t, R_s)$ associée à un modèle Θ_{trace} où :

- D_p est un domaine temporel. $D_p = \{I_0, \dots, I_n\}$ où :
 - un ensemble d'intervalles. $I = \{I_0, \dots, I_m\}$ est un ensemble d'instant de temps.
 - $D_p \subseteq I \times I$. $I_i \in D_p$ est un couple noté $[I_d, I_f]$ où $I_d < I_f \in I$ représentent l'intervalle de début et fin de l'observation.
- O_{tr} est un ensemble fini des éléments (données) de la trace représentant l'ensemble des observés (instances des θ_{ci} de Θ_{trace}).
- R_t est une relation représentant les liens temporels $D_p \times O_{tr}$ ($R_t \subseteq D_p \times O_{tr}$). Avec $\forall O_i \in O_{tr}, \exists! R_t(I_i, O_i) \in R_t$.
- R_s est une relation représentant les liens structurels dans $(O_{tr})^k$ représentant l'ensemble des instances de θ_{ri} de relations type de Θ_{trace} .

Ce modèle nous donne une base formelle permettant d'une part d'étudier théoriquement les transformations, les requêtes et les calculs d'indicateurs, d'autre part d'implanter informatiquement notre SBT.

3.2. Principe général

Les concepts de trace et de modèle de traces définis dans la section précédente sont le noyau du cadre conceptuel que nous proposons (Settoui et al., 2006). Un système informatique implémentant ces deux notions est *un système à base de traces*

modélisées qui offrira divers services de manipulation de traces que nous décrivons dans la suite.

Système à Base de Traces modélisées : On appelle *système à base de traces modélisées* tout système informatique dont le fonctionnement implique à des degrés divers la gestion, la transformation et la visualisation de *traces modélisées explicitement* en tant que telles.

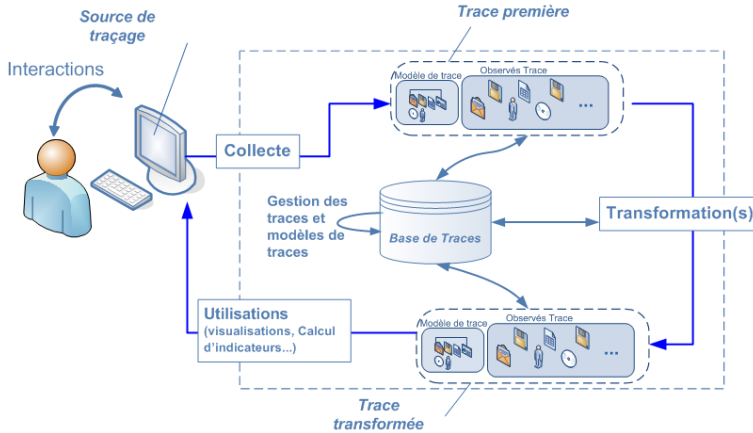


Figure 4 : Principe général d'un système à base de traces modélisées

Le cadre conceptuel que nous proposons définit la notion de système à base de m-trace indépendamment de toute implémentation. On peut ainsi construire un ou plusieurs systèmes informatiques à base de traces qui permettent de gérer, transformer, visualiser des m-traces ayant des modèles explicites différents (Figure 4). Nous allons à présent décrire les processus de collecte et de transformation et les définitions associées.

3.2.1. Collecte de traces modélisées

La collecte permet de mettre en place l'observation de l'utilisation d'un système à partir de *sources de traçage*. Elle consiste à transformer de façon automatique ou semi-automatique des informations¹⁸ générées par l'interaction utilisateur/système pendant l'activité ou *a posteriori* en une m-trace première du SBT (Figure 5).

Source de Traçage : On appelle *source de traçage* tout flux d'information structuré à partir duquel il est possible de mettre en place un processus de collecte de traces pour un système à base de traces.

⁽¹⁸⁾ Ces informations correspondent aux logs si seul le système lui-même est source de traçage.

Collecte de m-traces : On appelle collecte de m-traces le processus qui consiste à exploiter de façon automatique, semi-automatique ou manuelle un ensemble de sources de traçage pour construire une m-trace du système à base de m-traces. La construction d'une telle m-trace nécessite la construction d'une collection d'observés temporellement situés associée à un modèle de m-traces. Une m-trace issue de la collecte est appelée *m-trace première* du SBT, car c'est la première à être manipulable dans ce système à l'issue du processus de collecte.

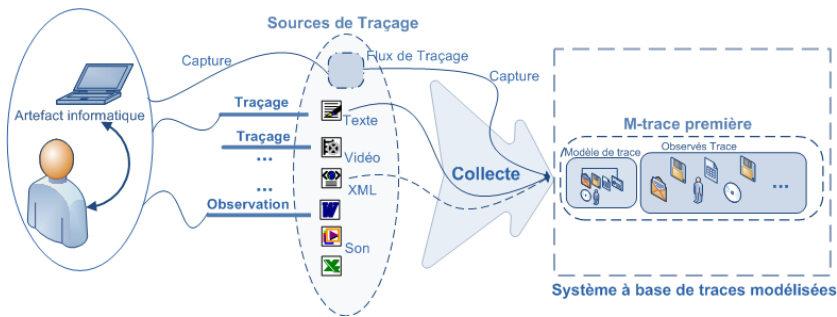


Figure 5 : collecte de m-trace première

Il existe deux techniques de traçage dans les EIAH. La première concerne les traces générées en interne par l'EIAH lui-même, qui embarque un module de traçage¹⁹, lequel peut être paramétrable. Ce module pensé par les concepteurs de l'EIAH donne des traces plus ou moins pertinentes au regard des fonctionnalités de l'EIAH (par exemple des éléments proches du scénario). La deuxième technique consiste à instrumenter l'EIAH par des logiciels de traçage externes scrutant et espionnant tout de ce qui se passe (espions informatiques, *Keylogger*²⁰, etc.). Les traces générées par cette technique sont, la plupart du temps, inexploitable dans leur état brut initial. Une des raisons vient du fait qu'elles retiennent les informations²¹ sans intention explicite, et sont trop/pas assez riches en détails, trop/pas assez proches des événements informatiques et ne permettent presque jamais et sans ambiguïté²² de comprendre l'activité observée.

⁽¹⁹⁾ Si l'EIAH est une application Web, on pourra récupérer, en plus de ce que le module de traçage capture, les traces laissées traditionnellement par le navigateur client et le serveur web.

⁽²⁰⁾ Applications installées sur des ordinateurs enregistrant toute frappe clavier dans un fichier trace.

⁽²¹⁾ Conséquence du syndrome des informations manquantes, on trace et on garde toutes les informations possibles.

⁽²²⁾ Déterminer la sémantique d'une trace brute est d'une part difficile à faire manuellement par un humain et d'autre part impossible à faire de manière directe et automatique puisque nécessitant des algorithmes spécifiques.

Le processus de collecte réduit en partie cette ambiguïté en prenant en compte différents sources de traçage issues de différentes techniques de traçage afin d'obtenir une trace première conforme à un modèle.

3.2.2. Base de m-traces et transformation de m- traces

Base de m-traces : On appelle *base de m-traces* d'un SBT l'ensemble des m-traces qui sont manipulées par le système à base de m-traces.

La trace obtenue à l'issue de la collecte est qualifiée de *m-trace première*. Celle-ci n'est cependant pas toujours exploitable directement, et il faut parfois passer par une ou plusieurs transformation(s) pour atteindre une trace d'un niveau d'abstraction cohérent avec l'activité, *i.e.* significatif pour l'utilisateur.

Transformation de m-traces : On appelle *transformation de m-traces* tout processus qui transforme une m-trace gérée par un système à base de m-traces en une autre m-trace gérée par le même système. Les *m-traces premières* d'une base de m-traces d'un SBT sont les seules m-traces non transformées de ce SBT.

L'exploitation de la trace consiste en partie en sa transformation. Deux catégories transformations sont prises en charge par le SBT : les transformations manuelles et les transformations automatiques utilisant un modèle de transformation.

Une transformation manuelle désigne toute modification impliquant un changement dans la composition des éléments de la trace, due à un ajout, une suppression ou une modification de ses observés. Ce type de transformation est réalisé par un utilisateur interagissant avec sa trace pour la mettre à jour ainsi que son modèle. Un SBT permet de garder la cohérence entre les traces et leurs modèles lors d'une transformation manuelle.

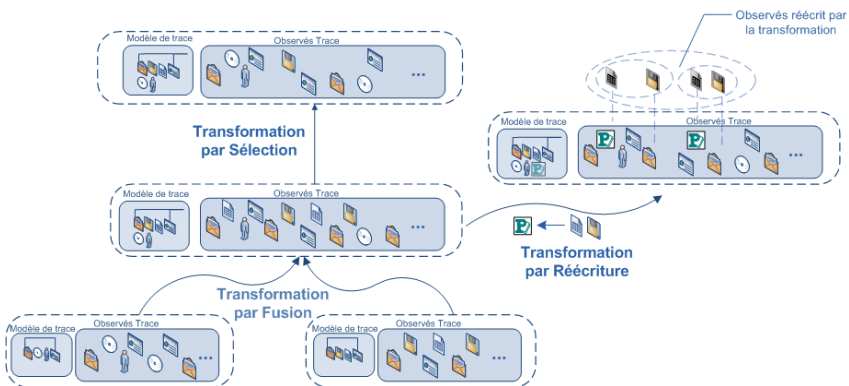


Figure 6 : exemple des transformations possibles dans le SBT

Les transformations automatiques sont appliquées dans un SBT moyennant des

modèles de transformations. Un modèle de transformation est un ensemble de règles exprimant des filtres de sélection ou des réécritures de motifs²³. Les transformations automatiques peuvent être combinées.

On peut distinguer trois types de transformations automatiques (Figure 6) :

- La transformation de type *sélection* permet la création d'une nouvelle trace contenant tous les observés respectant un filtre de sélection donné. Cette transformation permet entre autres de séparer les observés pertinents de la trace du *bruit*. Le but est d'extraire un sous-ensemble d'observés de la trace approprié en exprimant le filtre adéquat qui donne les conditions de sélections sur les composants de la trace. Les filtres sont des contraintes sur les objets de la trace, le domaine temporel, et les relations structurelles.
- La transformation de type *réécriture de motifs* permet de remplacer un ou plusieurs observés par un autre observé. La transformation peut toucher une séquence d'observés ou des observés qui ne se suivent pas directement. L'expression d'une succession d'observés représentant un motif (pattern) exprimant la séquence qu'on veut réécrire.
- La transformation par *fusion temporelle* consiste à fusionner, assembler et grouper les observés de ces traces en tenant compte de la temporalité de leurs éléments afin d'obtenir une nouvelle trace. La trace transformée par fusion suit un modèle de trace regroupant les modèles des traces fusionnées. Cette transformation est possible si les traces fusionnées sont à des extensions temporelles homogènes²⁴.

3.3. EIAH et Systèmes à Base de Traces Modélisées

Les nombreuses utilisations des traces que nous avons mises en évidence dans la première partie de cet article nous permettent de mettre en évidence deux dimensions importantes : l'utilisation des traces dans le temps de leur collecte pendant une session (temps réel), ou bien leur utilisation différée ; l'utilisation des traces par l'utilisateur qui les a générées (réflexivité), ou bien par un autre utilisateur (analyste, enseignant).

La Figure 7 illustre ces différentes utilisations des SBT. Les étapes 1 et 2 montrent un EIAH traçant l'interaction de ses utilisateurs et fournissant des sources à collecter pour le SBT. Alimenté par ces sources, le SBT permet de gérer et de traiter ainsi que de visualiser les traces (étape 3). Il permet aussi d'effectuer des calculs d'indicateurs (étape 4), des exportations de traces interprétées et adaptées aux besoins

⁽²³⁾ Une représentation d'une séquence ou d'un sous ensemble d'observés de la trace.

⁽²⁴⁾ Permettant des translations et conversions de temps (intervalles vs instants)

d'un autre système (étape 5). Les étapes 3, 4 et 5 peuvent se succéder dans un ordre quelconque, se chevaucher ou être menées parallèlement.

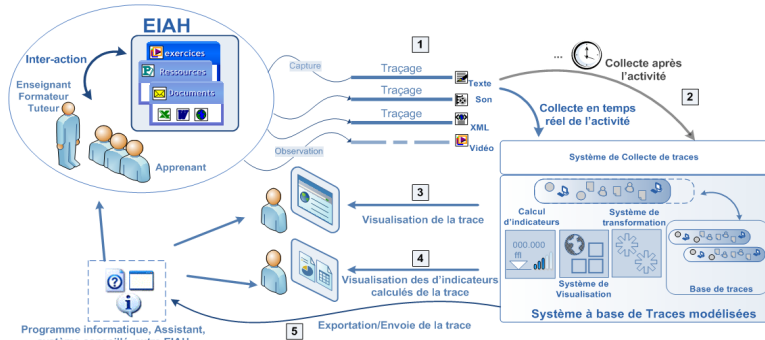


Figure 7 : Différentes utilisations d'un SBT au service d'un EIAH.

On distingue donc trois types d'utilisation principaux des SBT dans les EIAH, qui correspondent aux étapes 3, 4 et 5 de la Figure 7.

- La *visualisation des traces* consiste pour un utilisateur à explorer une trace ou une base de traces, de façon plus ou moins interactive.
- Le *calcul d'indicateurs sur les traces* vise à fournir à l'utilisateur des indicateurs résumés d'une ou plusieurs traces (nombres, tableaux, etc.).
- La *gestion et le traitement des traces au service d'un autre système* visent, dans le cadre d'une utilisation non directe des traces par un utilisateur humain, à fournir des traces ou des indicateurs à un autre système informatique, qui à son tour les utilisera pour mener d'autres calculs. Le SBT s'intègre alors dans une chaîne d'outils, en y jouant le rôle d'outil de gestion et de traitements de traces.

3.4. Exemples d'utilisation de traces

Afin d'illustrer les concepts que nous avons définis précédemment, nous utiliserons deux exemples tirés de nos travaux, l'un concernant une plateforme de classe virtuelle et l'autre un outil de travail collaboratif supportant la scénarisation d'activités pédagogiques. Ces deux exemples d'EIAH utilisant des traces nous permettront de montrer quelles sont les traces premières d'interaction des apprenants, quelles sont les transformations, traces secondaires, visualisations et calculs d'indicateurs utilisés. Plus précisément, le premier exemple concerne la transformation de traces pour la visualisation par un apprenant, le second vise principalement une amélioration de la qualité des scénarios en visualisant des indicateurs calculés à partir des traces.

3.4.1. Visualisation des traces pour l'apprenant dans e-lycée

eMédiathèque est une plateforme d'apprentissage développée par l'entreprise e-Lycée²⁵. Cet outil collaboratif synchrone est notamment composé d'un outil de visio-conférence et d'un outil de « co-navigation ». Il permet de plus aux apprenants de visualiser leurs traces, une visualisation assez neutre par rapport à l'activité tracée puisque la trace présente des éléments de l'interface d'eMédiathèque souvent éloignés de l'activité pédagogique pratiquée. L'objectif est donc d'obtenir une visualisation d'une trace susceptible de rendre l'activité réflexive faisant « sens » par rapport à l'activité de l'apprenant (voir (Cram et., 2007) pour plus de détails).

- *m-trace première et sa visualisation*

La collecte des traces d'eMédiathèque donne un modèle premier de la trace visualisée définissant des éléments, assez proches du modèle de conception d'eMédiathèque (Figure 8). On peut citer l'objet *Document* qui sera instancié dans la trace première à chaque fois qu'un nouvel élément sera créé par un utilisateur, qu'il s'agisse d'une page Web, de l'ouverture d'une ressource ou la création d'un tableau blanc partagé. On peut citer également l'action *ContentAction* qui correspond à une modification d'un objet document réalisée par l'utilisateur. Dans la trace première obtenue, on retrouvera donc des instances de ces objets mis en relation. Une visualisation de la trace première est présentée dans la Figure 8. La visualisation de la trace première montre que l'utilisateur a ouvert un certain nombre de documents.

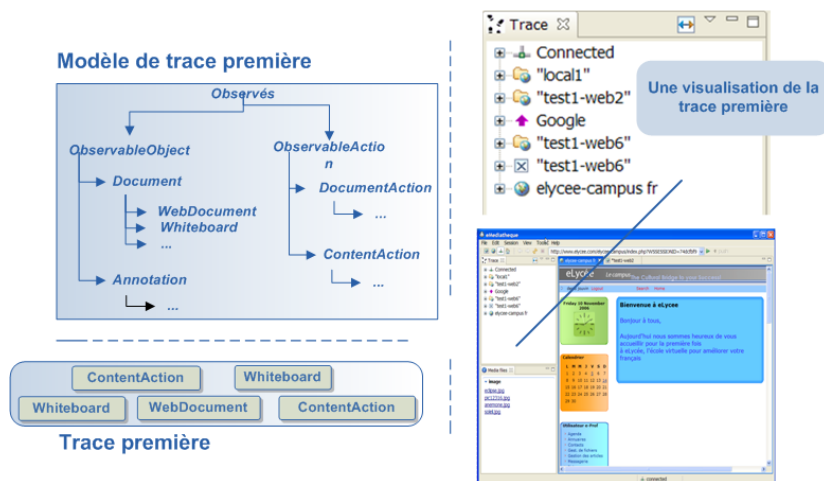


Figure 8 : Trace première et sa visualisation dans eMédiathèque

⁽²⁵⁾ Une jeune entreprise offrant à des élèves francophones scolarisés à l'étranger de travailler la langue et la culture françaises

- *m-trace transformée et sa visualisation*

Pour obtenir une visualisation d'une trace susceptible de rendre l'activité réflexive, une analyse de l'activité de co-navigation a été menée pour mettre en évidence les éléments saillants sous-tendant la co-navigation. Le modèle de trace transformée correspond à ce que le modélisateur souhaite que l'utilisateur visualise réellement.

Dans l'exemple, ce qui nous intéresse est de transformer les observés « documents » du premier modèle (trace première) en « ressources » et « productions » qui correspondent à ce que l'utilisateur manipule réellement du point de vue de son activité. Le modèle de la trace transformée met en évidence que les apprenants (acteurs) manipulent des ressources (pages Web, *etc.*) et créent des productions (tableau blanc), tous seuls ou ensemble (Figure 9). Le passage de la trace première à la trace transformée se fait par une transformation de type réécriture. La trace transformée et son modèle (Figure 9) contient des objets plus « proches » de l'activité permettant une visualisation plus pertinente par rapport à la visualisation de la trace première basée sur le premier modèle (Figure 8).

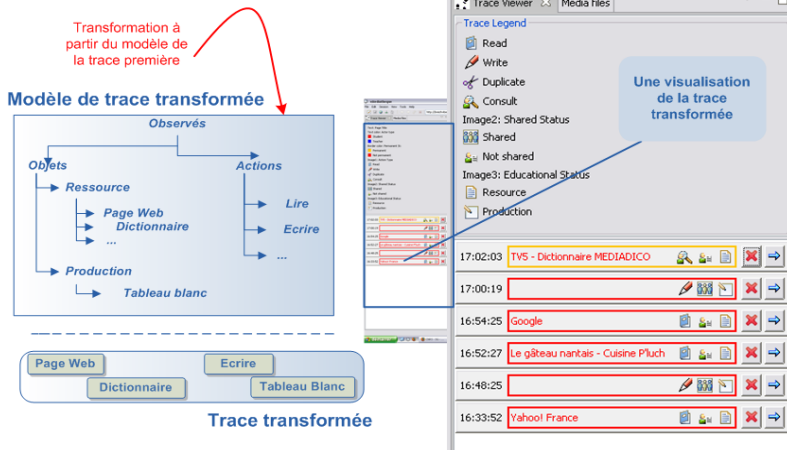


Figure 9 : Trace transformée et sa visualisation dans eMédiathèque

3.4.2. Traces support au scénario pédagogique

Notre second exemple montre l'utilisation des traces pour mesurer dans quelle mesure les utilisateurs ont suivi ou au contraire contourné un scénario pédagogique préconisé. Dans le cadre d'une expérimentation décrite dans (Marty et al., 2007), l'analyste cherche à comprendre de manière fine les actions effectuées par un apprenant en rapport avec l'activité pédagogique proposée. Pour cela, l'utilisation des traces se fait après une expérience d'observation d'une séance de TP au sein de l'ESC

Chambéry. La séquence pédagogique retenue vise à pratiquer la manipulation des calques d'images dans le logiciel Adobe Photoshop. Toutes les ressources nécessaires (supports de cours, images sources) ainsi que les outils de communication (Webmail, forums) sont disponibles sur la plate-forme d'expérimentation.

Dans cette expérimentation, deux sources de traçage sont disponibles : celle liée aux actions du scénario pédagogique réalisées, celle décrivant d'autres activités (non préconisées par le scénario). Le but de l'analyste est de reconstituer les actions de l'apprenant en exploitant ces deux sources de manière interactive.

Un formalisme graphique baptisé « barre d'ombre » permet de représenter graphiquement la « clarté » de l'observation. Cette notion est directement liée au temps et est donc représentée sur un axe temporel. La couleur de chaque zone est déterminée par l'estimation de la clarté : claire pour les zones dans lesquelles l'activité a été identifiée, foncée dans le cas contraire. Ce processus d'interprétation très simplifié dans le cadre de ce papier est défini de manière détaillée dans (Marty et al., 2007).

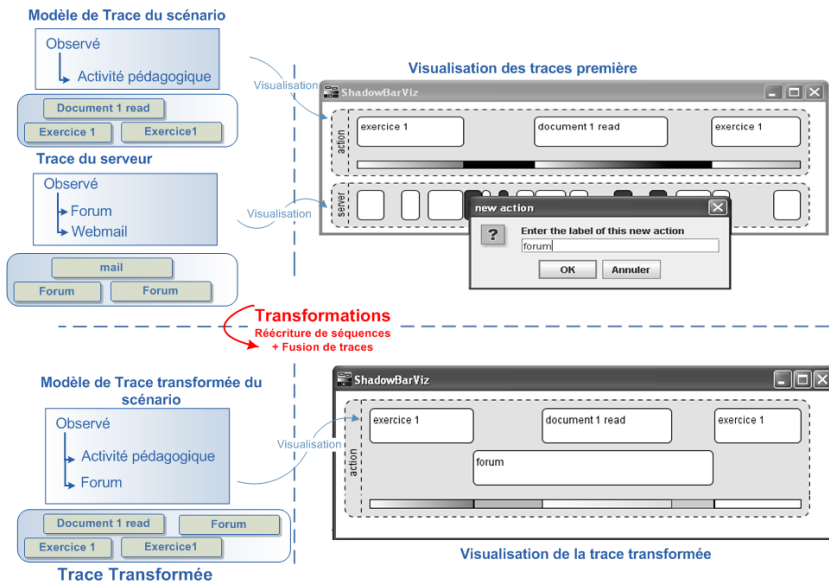


Figure 10 : Visualisation de plusieurs traces avec la barre d'ombre

- **Les m-traces premières et leur visualisation**

Après collecte des traces à l'issue de l'expérimentation, on obtient deux traces premières. La trace issue de l'exécution du scénario pédagogique ayant le modèle comprenant une seule classe d'observé « *activité pédagogique* » ; la trace issue du serveur avec un modèle de trace décrivant entre autres les classes d'observés « *fo-*

rum » et « *webmail* ». La Figure 10 (haut gauche) présente la trace scénario décrivant les éléments de la classe *activité pédagogique* et la trace serveur. En haut à droite, l'interface propose une visualisation des deux traces, ainsi que la barre d'ombre, qui est la visualisation d'un indicateur issu de calculs à partir des traces. Cette barre d'ombre ne fait pas partie du SBT. C'est un élément supplémentaire calculé à partir d'un indicateur fourni par le SBT et permettant à l'analyste de mener sa tâche à bien.

- ***m-trace transformée et sa visualisation***

Comme la trace issue du scénario ne relate pas tout ce qui est passé dans la séance d'apprentissage, l'analyste est à la recherche d'une composition de traces qui reflète, à un bon niveau d'abstraction, l'activité effective de l'apprenant.

La transformation proposée est donc une fusion de traces guidée par l'utilisateur. Grâce à la trace serveur, il est possible de compléter la compréhension de l'activité d'un étudiant lorsque celui-ci ne réalisait pas des tâches liées au scénario pédagogique. On propose donc à l'utilisateur de préciser si la séquence repérée dans la trace serveur a un sens par rapport à l'activité en cours. Si c'est le cas, on réécrit cette séquence dans une nouvelle trace. La Figure 10 (en bas) montre la trace transformée, ainsi que sa visualisation accompagnée la visualisation de l'indicateur barre d'ombre.

3.4.3. Bilan des deux exemples

Les exemples présentés permettent de voir les services qui pourront être offerts par un SBT pour un EIAH utilisant les traces. Ils mettent l'accent sur deux caractéristiques de notre système SBT : tout d'abord la notion de modèle permet la prise en charge de traces ayant des modèles différents dans le cadre d'un même système, elle permet d'interpréter les traces tout en fournissant les éléments et les outils permettant de les transformer et de les visualiser. Par exemple dans eMédiathèque, si l'activité pédagogique change (apprentissage en collaboration sur une représentation graphique commune dans le tableau blanc par exemple), le modèle exprimé de cette nouvelle activité (Objets commun, actions de l'espace conjoint, etc.) permettra de transformer la trace première en une nouvelle trace permettant d'obtenir une visualisation adéquate à cette activité. La seconde caractéristique concerne la réutilisation des modèles, des transformations et des représentations. Dans le deuxième exemple, les modèles de traces permettront de refaire les expérimentations et de collecter de nouvelles traces y compris depuis de nouvelles sources. Dans ce cas, il suffira de décrire les modèles associés pour avoir d'autres m-traces permettant d'améliorer la précision de l'observation (utilisation de *keyloggers* côté client par exemple).

4. Discussion

Le cadre conceptuel que nous avons défini nous semble pertinent pour plusieurs raisons. Il offre tout d'abord un vocabulaire commun permettant à différents utilisateurs de différentes communautés de comparer leurs utilisations respectives des traces dans les EIAH. Partageant ainsi leurs résultats, leurs traces et leurs modèles, il devient possible d'améliorer les modèles de traces ainsi que le traçage dans les systèmes informatiques en définissant des bibliothèques de modèles pour des familles d'activités, pour des types d'analyse prévue ou des types d'utilisation.

Ce cadre conceptuel permet ensuite d'aider à la mise en place d'expérimentations à base de traces en offrant les concepts nécessaires pour définir précisément les sources de traçage, le modèle de la trace première qui pourra être obtenue, les transformations nécessaires pour répondre aux objectifs de l'expérimentation ainsi que les modèles des traces transformées.

Ce cadre est générique car indépendant de toute implémentation informatique et ne fixant aucun modèle de trace spécifique. Différents SBT peuvent être développés, en spécifiant ou pas d'éventuellement des classes de modèles de traces généraux relatifs à un domaine (Apprentissage collaboratifs, etc.) qui pourront être pris en charge par cette implémentation de SBT.

Différents systèmes exploitant les traces existent, permettant l'analyse des traces pour étudier entre autres les usages (voir l'état de l'art de (Hilbert et Redmiles, 1999) (Dimitracopoulou, 2004), TRAILS²⁶). Ces systèmes permettent des analyses quantitatives et qualitatives mais ont en commun le caractère implicite du modèle de trace qu'ils utilisent. En effet, ces systèmes traitant de manière ad hoc un modèle trop général/trop spécifique s'adaptant à différentes situations (prévues à l'avance) sans pour autant pouvoir fournir la possibilité de soutenir convenablement de nouveaux besoins. Peu de ces systèmes sont vraiment génériques, ils contraignent au passage à un modèle propriétaire souvent statique limitant sérieusement les possibilités de traiter la trace comme décrivant une expérience conteneur de connaissance. Dans l'approche SBT, aucun modèle de trace n'est fixé, seul un modèle minimale extensible très générique est imposé. Les systèmes et utilisateurs exploitant le SBT doivent exprimer leur modèle de trace (qui devra être valide par rapport à la formalisation de cette notion) et disposent alors de services de stockage, de transformations et de visualisations.

Le cadre théorique des SBT assure en effet que la variété des systèmes à base de traces développés soit interopérables permettant, ce qu'aucune approche ou système n'offre encore, l'échange, le partage de traces modélisées.

⁽²⁶⁾ Personalized and Collaborative Trails of Digital and Non-Digital Learning Objects. Consulted May, 2006, at <http://www.noe-kaleidoscope.org>

5. Conclusion

Cet article a traité la notion de systèmes à base de traces modélisées et son exploitation dans le cadre des EIAH. Les différents travaux à base dans les EIAH ont souligné la diversification des besoins à base de traces pour chaque type acteur (apprenant, enseignant, concepteur et chercheur) soulignant ainsi l'importance et du besoin de systèmes facilitant l'exploitation des traces. Nous avons ensuite présenté un cadre conceptuel permettant de penser tout système exploitant des traces modélisées en formalisant et définissant la notion de trace, de modèle de trace et de transformation et les services permettant de les exploiter.

Deux exemples d'application de ces concepts ont été présentés qui illustrent les avantages du cadre théorique. Celui-ci permet d'aider à la conception de modules à base de traces dans les EIAH mais aussi à l'implémentation de systèmes informatiques externes à base de traces modélisées au service des EIAH utilisant les traces.

Le cadre conceptuel des SBT donne lieu à de nouvelles avancées. Le travail théorique sur les traces dont nous avons présenté une partie dans cet article est quant à lui toujours en cours d'approfondissement notamment les transformations et le calcul d'indicateur. Plusieurs applications de notre approche fondée sur les SBT sont actuellement en cours de réalisation, autour d'outils d'enseignement individuel et collaboratif (notamment eLycée sur des problématiques d'analyse et réflexivité, Géonote sur des analyses didactiques), ainsi que pour l'utilisation de traces par un SBT au service de l'EIAH AMBRE à des fins de capitalisation de modèles de connaissance et profils d'apprenants. Nous sommes donc concrètement engagés dans la modélisation / réalisation d'un certain nombre de SBT, afin d'assurer la généricité et la réutilisabilité du travail proposé (généricité technique et fonctionnelle). Une implémentation d'un *framework* informatique (en *Open Source*) supportant les concepts de *trace*, de *modèle de traces* et de *modèle de transformation* utilisant les technologies Java, RDF et OWL est en phase de développement. Sur un plan non moins fondamental, des efforts de recherche sont actuellement consentis autour du problème de la visualisation interactive de traces.

BIBLIOGRAPHIE

(Avouris et al., 2007)

AVOURIS N., DIMITRACOPOULOU A., KOMIS V, MARGARITIS M. (2007). Beyond logging of fingertip actions: analysis of collaborative learning using multiple sources of data. *To appear in Journal of Interactive Learning Research JILR*, vol. 18(2).

(Baker et al., 2003)

BAKER M.J., QUIGNARD M., LUND K. SÉJOURNÉ A. (2003). Computer-supported collaborative learning in the space of debate. *In Proceedings of the International Conference on Computer Support for Collaborative Learning 2003*, p. 11-20.

(Bratitsis et Dimitracopoulou, 2005)

BRATITSIS T., DIMITRACOPOULOU A. (2005). Data Recording and Usage Interaction Analysis in Asynchronous Discussions: The D.I.A.S. System. *Workshop on Usage Analysis in Learning Systems, International Conference on Artificial Intelligence in Education AIED*.

(Carroll et al., 1996)

CARROLL S., BEYERLEIN S., FORD M., Apple D. (1996). The Learning Assessment Journal as a tool for structured reflection in process education, *In Proceedings of Frontiers in Education'96*, IEEE, p. 310-313.

(Champin, 2004)

CHAMPIN P.A., PRIÉ Y., MILLE A. (2004). Musette : a framework for knowledge capture from experience. *extraction et gestion des connaissances egc'04*, Clermont Ferrand.

(Charlier et al., 2006)

Charlier B., Deschryver N., Peraya D. (2006). Apprendre en présence et à distance - Une définition des dispositifs hybrides. *Dans Distances et Savoirs*, Vol4, n°4/2006, pp 489-490.

(Choquet et Iksal, 2007)

CHOQUET C., IKCAL S. (2007) Modeling Tracks for the Model Driven Reengineering of a TEL System, In: *Journal of Interactive Learning Research (JILR)*, Vol. 18 n°2, p. 161-184.

(Després, 2001)

DESPRÉS C. (2001). Modélisation et Conception d'un Environnement de Suivi Pédagogique Synchronique d'Activités d'Apprentissage à Distance. *Thèse Doctorat. Université du Maine*.

(Dimitracopoulou, 2004)

DIMITRACOPOULOU A. (2004). State of the Art on Interaction Analysis: "Interaction analysis indicators", *ICALTS JEIRP Deliverable D.26.1. Kaleidoscope network of excellence*. Disponible sur internet : www.rhodes.aegean.gr/LTEE/kaleidoscope-icalts.

(Dufresne, 2003)

DUFRESNE A., BASQUE J., PAQUETTE G., LÉONARD M., LUNDGREN-CAYROL K., PROM TEP S. (2003). Vers un modèle générique d'assistance aux acteurs du téléapprentissage, *Revue STICEF*, Volume 10, ISSN : 1764-7223, disponible sur internet : <http://sticef.org>.

(Ferraris et al, 2007)

FERRARIS C., MARTEL M., VIGNOLLET L. (2007). Helping teachers in designing CSDL Scenarios: a methodology based on the LDL Language. *International conference (CSCL)*.

(Gay et Mazur, 1993).

GAY G., MAZUR J. (1993). The utility of computer tracking tools for user-centred design. *Educational Technology* 34 (3), p. 45-59.

(Guéraud et al., 2004)

GUÉRAUD V., ADAM J.-M., PERNIN J.-P., CALVARY G. DAVID J.-P. (2004). L'exploitation d'Objets Pédagogiques Interactifs à distance : le projet FORMID. *STICEF*, vol. 11, ISSN: 1764-7223, www.sticef.org.

(Greenberg et Witten, 1988)

GREENBERG S., WITTEN I.H. (1988). How Users Repeat Their Actions on Computers: Principles for Design of History Mechanisms. *In Proceedings of the ACM CHI 88 Human Factors in Computing Systems Conference*. Washington, DC, USA. pp.171-178.

(Hardy et al., 2004)

HARDY J., ANTONIOLETTI M., BATES S. (2004). e-Learner Tracking : Tools for discovering Learner Behavior. *The IASTED International Conference on Web-base Education, Innsbruck, Austria*.

(Hatcher, 1997)

HATCHER J.A., BRINGLE R.G. (1997). Reflections: Bridging the Gap between Service and Learning. *Journal of College Teaching* 45. P. 153-158.

(Héraud, 2002)

HERAUD J.-M. (2002). PIXED : Une approche collaborative de l'expérience et l'expertise pour guider l'adaptation des hypermédias. *Thèse Université Claude Bernard Lyon1*.

(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.

(Jermann et al., 2001)

JERMANN P.R., SOLLER A., MÜHLENBROCK M. (2001). From mirroring to guiding: A review of state of the art technology for supporting collaborative learning. *In Proceedings of European Perspectives on Computer-Supported Collaborative Learning*. pp.324-331.

(Koper, 2003)

KOPER R., OLIVIER B., ANDERSON T. (2003). IMS Learning Design Information Model. *IMS Global Consortium*.

(Labat, 2002).

LABAT J.M. (2002). EIAH : Quel retour d'informations pour le tuteur ? *Colloque Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement supérieur et l'industrie (TICE'02)*, p 81-88.

(Le Calvez, 2003)

LE CALVEZ F., GIROIRE H., DUMA J., TISSEAU G., URTASUN M. (2003). Combien? a Software to Teach Students How to Solve Combinatorics Exercises. *Workshop "Advanced Technologies for Mathematics Education" AIED 2003*, p. 447-454.

(Lomicka , 1998)

LOMICKA L.L. (1998). To gloss or not to gloss: an investigation of reading comprehension online. *Language Learning and Technology*. p. 41-51.

(Luengo et Vadcard, 2005)

LUENGO V., VADCARD L., Design of adaptive feedback in a web educational system. *Workshop on Adaptive Systems for Web-Based Education: Tools and Reusability, In 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education, Amsterdam*.

(Marty et al., 2004)

MARTY J.-C., HERAUD J.-M., CARRON T., FRANCE L. (2004). A quality approach for collaborative learning scenarios, *Learning Technology Newsletter of IEEE Computer Society*, ISSN 1438-0625, Vol. 6, Issue 4, p. 46-48.

(Marty, 2007)

MARTY J.-C., HERAUD J.-M., FRANCE L., CARRON T. (2007). Matching the Performed Activity on an Educational Platform with a Recommended Pedagogical Scenario: a Multi Source Approach. *Journal of Interactive Learning Research (JILR)*. Vol 18, N°2, p 267-283.

(Mazza et Dimitrova, 2003)

MAZZA R., DIMITROVA V. (2003). CourseVis: Externalising Student Information to Facilitate Instructors in Distance Learning. *AIED 2003*. p. 279-286.

(Mille, 2006)

MILLE A. (2006). Raisonner à Partir de l'Expérience Tracée. Le storytelling : concepts, outils et applications». *Eddie Soulier (dir), Traité IC2, Série Informatique et SI, Hermes*.

(Morse et Steves, 2000)

MORSE E., STEVES M. (2000). CollabLogger: A Tool for Visualizing Groups at Work. *Proceedings of WETICE2000, Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (Gaithersburg, MD, June 2000), IEEE Computer Society*, p.104-109.

(Nicaud , 1987)

NICAUD J. (1987). APLUSIX : un système expert en résolution pédagogique d'exercices d'algèbre, *PhD thesis, Thèse de l'Université Paris XI-Orsay*, 1987.

(Noblitt et Bland, 1991).

NOBLITT, J.S. et BLAND, S.K. Tracking the learner in computer aided language learning. *Dans B.F. Freed (dir), Foreign Language Acquisition and the classroom*. p.120-132).

(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. *Thèse en Sciences Cognitives de l'Université Claude Bernard (Lyon 1)*.

(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, *Actes de Computer Support for Collaborative Learning*, Palo Alto, CA, 1999, p.348-359.

(René, 2000)

RENIE D. (2000). Apport d'une trace informatique dans l'analyse du processus d'apprentissage d'une langue seconde ou étrangère. *In Duquette, L. & Laurier, M. (dirs) Apprendre une langue dans un environnement multimédia*. Outremont, Canada. p. 281-301.

(Sanderson et al., 1994)

SANDERSON P. M., SCOTT J., JOHNSTON T., MAINZER J., WATANABE L.M., James J.M. (1994). MacSHAPA and the enterprise of Exploratory Sequential Data Analysis (ESDA). *International Journal of Human-Computer Studies*, 41, 633-68.

(Serres, 2002)

SERRES A. (2002). Quelle(s) problématique(s) de la trace ? *Traces et corpus dans les recherches en SIC*. Texte en ligne : http://archivesic.ccsd.cnrs.fr/sic_00001397.html

(Settouti et al., 2006)

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

(Cram et al., 2007)

CRAM D., JOUVIN D., MILLE A. (2007). Visualisation interactive de traces et réflexivité : application à l'EIAH collaboratif synchrone eMédiathèque. Soumis au numéro spécial "Analyses des traces d'utilisation dans les EIAH". *STICEF, revue francophone de Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*.

(Star, 1989)

STAR S.L. (1989). The structure of ill-structured solutions: Boundary objects and heterogeneous distributed problem solving. *M. Huhns and L. Gasser, eds. Readings in Distributed Artificial Intelligence*. Menlo Park, CA.

(Stefanov et Stefanova, 2005)

Stefanov J., Stefanova E.. (2005). Analysis of the Usage of the Virtuoso System. *Workshop "Usage analysis in learning systems" AIED 05*, p.109-110.

(Weerasinghe et Mitrovic, 2006)

WEERASINGHE A., MITROVIC A. (2006). Facilitating deep learning through self-explanation in an open-ended domain. *International journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering systems*, IOS Press.

(Zapata-Rivera et Greer , 2002)

ZAPATA-RIVERA D., GREER J. (2002). Exploring Various Guidance Mechanisms to Support Interaction with Inspectable Learner Models. *In Proceedings ITS 2002*. pp. 442-452.