
Un Système à Base de Traces pour la modélisation et l'élaboration d'indicateurs d'activités éducatives individuelles et collectives. Mise à l'épreuve sur Moodle.

Tarek Djouad* — Lotfi Sofiane Settouti* — Yannick Prié* —
Christophe Reffay** — Alain Mille*

*Université de Lyon, CNRS

Université Lyon 1, LIRIS, UMR5205, F-69622, France

{tarek.djouad, lotfiosofiane.settouti, alain.mille, yannick.prie}@liris.cnrs.fr

** Laboratoire d'informatique de l'université de Franche-Comté

16 route de Gray, 25030 BESANCON cedex

{christophe.reffay}@univ-fcomte.fr

RÉSUMÉ. Nous présentons dans ce travail un Système à Base de Trace implémenté pour le calcul des Indicateurs dans la plateforme d'apprentissage Moodle (SBT-IM). Nous présentons d'abord un cadre conceptuel permettant de penser tout système exploitant des traces modélisées en définissant les notions de trace, de modèle de trace et de transformation. Nous décrivons ensuite la mise en œuvre de ce cadre conceptuel dans le cas d'un système à base de trace dédié au calcul des indicateurs dans les situations d'apprentissage collaboratif.

ABSTRACT. We present in this paper an implementation of a Trace Based System used to calculate Indicators in the Moodle learning platform (TBS-IM). First we present a conceptual framework supporting any trace-based systems by defining the notions of trace, trace model and trace transformation. Afterwards we describe the implementation of this conceptual framework in the case of a trace-based system dedicated to the computation of indicators in collaborative situations.

MOTS-CLÉS. Systèmes à base de trace, calcul des indicateurs, modèle de trace, transformations de traces.

KEYWORDS. trace-based systems, indicator computation, trace model, traces transformations.

1. Usage des *traces en EIAH* : introduction et état de l'art

Les EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humains) fournissent des supports d'activités d'apprentissage et possèdent des capacités d'évaluation et de personnalisation du processus d'apprentissage pour un apprenant individuel et/ou pour un groupe d'apprenants. Il est techniquement relativement facile de « garder trace » de l'activité pour l'analyser de façon à élaborer des indicateurs d'activité d'apprentissage permettant une adaptation de l'EIAH par l'enseignant ou/et par l'EIAH lui-même selon des règles de personnalisation. L'état de l'art des EIAH exploitant les traces d'activité pour des objectifs très variés met en évidence la nécessité de collecter des traces d'activité et de les analyser pour produire des indicateurs permettant la personnalisation. Selon les indicateurs à produire, il s'agit de disposer d'observations de l'activité de granularités très variables décrivant des éléments hétérogènes liés aux interactions. Cette variabilité et cette hétérogénéité des sources entraînent de grandes difficultés à utiliser les techniques d'élaboration d'indicateurs pour des EIAH évolutifs par nature et déployés dans des contextes très variés. Pour surmonter cette difficulté, nous proposons de considérer les traces numériques d'interaction comme des « objets informatiques » à part entière possédant des modèles explicites et associés à des modèles de transformation. Une telle modélisation facilite la réalisation de « systèmes à base de traces modélisées » permettant de concevoir et de calculer les transformations nécessaires à différents types d'usage, en particulier le calcul d'indicateurs. Une ingénierie des traces autorise une conception guidée par les modèles et facilite la réutilisation dans la conception des EIAH exploitant des traces d'activité. Le bénéfice d'une telle approche est illustré par le système SBT-IM (Système à Base de Traces- Indicateurs Moodle) dans le cadre d'un usage des traces pour la conception et l'exploitation d'indicateurs d'activité d'apprentissage collaboratif. L'ingénierie des indicateurs s'en trouve considérablement simplifiée et explicitée. Pour illustrer notre approche, nous proposons quelques exemples de calcul d'indicateurs à partir des traces modélisées. Les indicateurs choisis sont issus de la littérature EIAH, et nous utilisons pour les illustrer des données issues d'une expérimentation¹ écologique que nous réalisons avec la plateforme Moodle. L'activité pédagogique de l'expérimentation s'insère dans le cadre d'un cours de bases de données en 2^{ième} année de l'école d'ingénieur en informatique à l'université de Skikda (Algérie). Cette expérimentation est présentée dans (Djouad, 2008). Nous évoquons dans la conclusion d'autres usages de l'approche SBT pour faciliter de nombreuses activités de l'assistance à l'apprentissage.

1.1. : *La trace comme « histoire interactionnelle »*

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 variables de généralité. Il existe naturellement plusieurs points de vue sur ce

1. <http://lirispn.univ-lyon1.fr/moodle>

que pourrait être la définition d'une trace. Au-delà des divergences entre définitions, les objets considérés comme étant des traces sont souvent différents. Cet article s'intéresse à la notion de *trace numérique* : une trace numérique est une trace – inscrite sur un support numérique – de l'activité d'un utilisateur qui utilise un environnement informatique pour mener à bien cette activité. 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 qu'il a laissées lors de son apprentissage. Nous nous plaçons 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 (production documentaire par exemple) n'est pas considérée comme trace à cause de sa capacité à « retracer » l'interaction mais parce qu'elle est considérée comme un élément passé issu de cette activité. La propriété essentiellement temporelle et séquentielle des traces d'activités y étant perdue, ce deuxième cas ne permet pas de considérer la dynamique de l'apprentissage.

Avec des traces « histoires interactionnelles », 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 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 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. Un *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 d'un EIAH donnent une vue très partielle des potentialités d'utilisation qu'elles offrent pour des participants pouvant avoir des besoins très différents. Il serait difficile de décrire exhaustivement l'ensemble des usages possibles. Dans la suite de cet article nous appellerons « trace première » une trace telle que collectée au fil de l'activité et « trace transformée » toute interprétation de cette trace première dans une intention d'analyse particulière.

1.2. Visualisation, supervision, régulation et réingénierie à partir des traces

Traces et visualisation. Différents travaux se sont intéressés à la visualisation des traces issues des plateformes de téléformation collaboratives. Nous pouvons citer le travail de (Cram, 2007) issu du projet eLycée où la trace première est transformée en trace transformée pour une activité de co-production dans une dyade (visualisation de traces réflexives). « GISMO » (Graphical Interactive Student Monitoring System for Moodle) (Mazza *et al.*, 2005) trace les activités des apprenants sur la plateforme Moodle. Il affiche les traces sous forme d'un graphe en représentant le nombre d'accès aux différentes ressources Moodle par les différents apprenants. Cette trace est de type « trace brute », sans intention explicite pour celui

qui l'exploitera. « CourseVis » (Mazza *et al.*, 2004) est utilisé pour la visualisation 3D des traces issues de la plateforme WebCT. Le but est de faire des visualisations à partir de calcul d'indicateurs et des mesures statistiques. La visualisation nécessite quelques transformations : extraction et sélection des données à partir des sources de traçage ; transformations pour les mettre dans le format désiré ; transformations sous forme de primitives graphiques qui seront les briques pour la visualisation des données aux utilisateurs ; génération de la visualisation graphique à partir des primitives. CourseVis permet aux tuteurs de disposer d'une sorte de tableau de bord d'une activité d'apprentissage (*suivi d'un groupe*).

Traces et supervision de la classe. Les outils de supervision tels que « REFLET » (Després *et al.*, 2004) et « FORMID » (Guéraud *et al.*, 2004) affichent l'évolution du travail de chaque apprenant. Le tuteur peut voir le détail des activités des apprenants.

Utilisation des traces pour la régulation d'une activité en temps réel. Les travaux de (France *et al.*, 2007) montrent comment une visualisation de trace en temps réel permet au tuteur d'observer l'activité d'un groupe d'apprenants et d'adapter l'activité en interagissant directement avec l'interface de visualisation.

Utilisation des traces pour la réingénierie d'un EIAH. La conception d'une nouvelle version d'un EIAH à partir d'une version existante se base sur l'observation d'indicateurs soit préalablement définis et instrumentés (souvent en collaboration avec l'enseignant), soit conçus à la volée en cas de nouveaux besoins, lors du déroulement d'un scénario pédagogique. Il s'agit de tenir compte des écarts observés entre le scénario tel qu'il a été conçu pour fonctionner (scénario prédictif) et tel qu'il s'est réellement déroulé (scénario descriptif), l'idée étant d'identifier comment la réingénierie de tel ou tel aspect pourrait faire mieux atteindre les objectifs pédagogiques. Le langage UTL proposé par (Choquet & Iksal, 2007) permet de décrire les traces d'un scénario joué pour le comparer au modèle du scénario prédictif. Le langage DCL4UTL (Pham Thi Ngoc *et al.*, 2009) permet quant à lui de réaliser des requêtes sur des traces décrites en UTL pour calculer des indicateurs ou vérifier certaines propriétés dans le scénario joué.

1.3. Traces et indicateurs dans les EIAH

Tel qu'il a été défini par (Dimitracopoulou, 2004), « un indicateur est une variable au sens mathématique à laquelle est attribuée une série de caractéristiques ». Les valeurs de l'indicateur peuvent prendre des formes numériques, alphanumériques ou même graphiques. La valeur possède un statut, c'est-à-dire qu'elle peut être brute (sans unité définie), calibrée ou interprétée. Le statut identifie une caractéristique bien précise : celle du type d'assistance offert par l'indicateur aux utilisateurs. Chaque indicateur peut être ou non dépendant d'autres variables comme le temps, ou même d'autres indicateurs. Pour calculer un indicateur nous utilisons les traces brutes, les traces premières, ou même les traces transformées à un niveau supérieur de la trace première. Chaque indicateur respecte une méthode de calcul, et il est soit visualisé, soit utilisé dans d'autres calculs.

Parmi les travaux sur des indicateurs calculés à partir des données quantitatives figurent ceux de (Reffay *et al.*, 2006) sur le calcul de la cohésion et la centralité dans les réseaux sociaux et à partir des forums de discussion ou encore la plateforme ACOLAD (Jaillet, 2005) sur laquelle le tuteur dispose d'un outil qui lui fournit des informations sur le triplet d'activité (Assiduité, Disponibilité, Implication). (Santos *et al.*, 2003) proposent un outil qui calcule à partir des interactions, le degré d'implication de chaque apprenant dans la formation. (George & Leroux, 2002) construisent un profil de comportements sociaux guidé par les introducteurs (d'actes de langage) dans l'environnement de discussions semi structuré de SPLASH (George, 2001). D'autres indicateurs sont interprétés qualitativement comme dans (Martinez *et al.*, 2003) où l'indicateur de la densité du réseau social est interprété à l'aide des histogrammes. Dans (Tedesco, 2003), on calcule l'accord et le désaccord entre les apprenants. On trouve également dans (Dimitracopoulou, 2004), une revue de la littérature sur les différents indicateurs permettant de calculer par exemple la division des tâches, le niveau des activités, etc.

De nombreux travaux s'intéressent à l'analyse des interactions dans les situations collaboratives asynchrones (typiquement les forums) comme (Bratitsis *et al.*, 2006) ou d'autres déjà cités plus haut, mais on ne trouve que peu de travaux qui s'intéressent au calcul d'indicateurs dans le cas collaboratif et dans les situations synchrones. D'après (Baker, 2002), la collaboration est basée sur deux concepts : symétrie et alignement. On dit qu'une séquence d'interactions est symétrique si les participants adoptent, dans le processus d'interaction, des rôles d'égaux à égaux. Une asymétrie signifie au contraire que les participants adoptent des rôles qui les placent à des niveaux différents dans une certaine hiérarchie. L'alignement par rapport aux actions faites par les apprenants signifie une certaine ressemblance dans la façon dont ceux-ci agissent : ils sont en phase. Dans un alignement négatif, on a au contraire un déphasage. Une collaboration est alors une séquence d'actions symétriques et alignées. Ce type de séquence peut être repéré, étiqueté et donner lieu à une statistique fournissant un indicateur synthétique sur la collaboration en cours.

Nous pouvons citer aussi le travail de (Barros *et al.*, 2000) où l'on trouve une relation entre la coordination, la coopération et l'argumentation, pour arriver à la collaboration. Le calcul de ces trois facteurs dépend du calcul d'autres variables et indicateurs calculés par l'outil DEGREE (Barros *et al.*, 2000).

1.3. Traces et interactions

L'analyse des interactions entre acteurs d'une situation d'apprentissage est largement utilisée pour analyser les dynamiques en place et proposer des évolutions dans la manière de concevoir, réaliser, suivre, ou animer une situation d'apprentissage médiée par un EIAH. La littérature EIAH propose des dizaines d'expérimentations liées à des situations synchrones et asynchrones tel le projet CoPEAS² (Betbeder *et al.*, 2006) décrivant une expérimentation d'apprentissage

collaboratif à distance médiatisée par l'environnement Lyceum³. Les traces audio et vidéo de l'expérimentation sont transcrites pour l'étude et l'analyse du comportement collaboratif des étudiants. (Greffier *et al.*, 2006) décrit une expérimentation d'environnements asynchrones de type forum. Les traces résultantes sont utilisées pour une étude statistique et une classification des apprenants (ex : un étudiant occasionnel est un étudiant qui envoie de 1 à 8 messages dans un forum). L'expérimentation synchrone de (Beldame, 2006) avec deux groupes d'apprenants qui travaillent par paires pour construire un origami a permis de mettre en évidence les effets métacognitifs de traces réflexives en situation de tâche collaborative.

Nous reprenons les éléments présentés dans (Lund *et al.*, 2008) pour situer la question des traces et des interactions à des fins de supervision d'activité d'apprentissage. Selon (Baker, 1997), une interaction est une suite d'actions verbales ou non-verbales interdépendantes et s'influçant mutuellement. Deux types d'interactions sont considérées : soit un humain interagit avec un ordinateur, on parle alors d'une suite d'événements prenant la forme d'une action-réaction ; soit plusieurs humains interagissent au travers d'un ordinateur, on parle alors d'une interaction humaine médiatisées et médiées par ordinateur. On peut distinguer plusieurs modes d'utilisation des traces dans les interactions médiatisées et médiées.

Utilisation des traces pour les études empiriques sur les caractéristiques de l'interaction humaine. Les études empiriques se focalisent sur une description des caractéristiques, voire de la qualité de l'interaction humaine, médiatisée et médiée par ordinateur. L'objectif de cette description est souvent de différencier les interactions humaines produites dans deux scénarii pédagogiques différents. Les scénarii diffèrent par exemple, dans la succession des tâches demandées aux apprenants, dans les instructions précises qui leur sont données ou encore dans les outils mis à leurs dispositions. Cette différenciation entre interactions humaines produites est donc utilisée pour évaluer lequel des deux scénarii favorise davantage l'apprentissage en question. Nous pouvons citer le travail de (Dyke *et al.*, 2007) où a été mis en évidence comment les caractéristiques d'un éditeur de texte influencent les formes de l'écriture collective effectuée avec cet outil.

Les travaux de (May *et al.*, 2007) sont similaires, mais se focalisent sur une activité d'utilisation d'un forum. L'acteur produisant la trace est l'apprenant lecteur. L'acteur manipulant la trace est l'EIAH. Le destinataire de la trace est multiple pour ces auteurs – l'apprenant, l'enseignant ou le chercheur. La manipulation de la trace est faite en temps réel et il s'agit de calculer de manière automatique différents indicateurs caractérisant la lecture d'un message.

1.4. Quelques exemples d'indicateurs en EIAH

Une trace présentée de manière synthétique sous forme de bilan peut permettre de fournir à l'enseignant une analyse « objective » du travail d'un apprenant (Renie,

3. <http://lyceum.open.ac.uk/>

2000). Utilisés pendant ou après l'activité d'apprentissage, des indicateurs simples peuvent décrire des informations précises et ponctuelles, comme 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 lors d'une activité,... Pour être pertinent, dans le contexte des EIAH collaboratifs, l'indicateur doit permettre de synthétiser des statistiques sur les traces de l'espace de travail commun des apprenants (du groupe) et les traces individuelles. La définition des indicateurs dans ce contexte tente de décrire le comportement des apprenants dans la collaboration. Toutefois, sans interface permettant d'y accéder, l'analyse des traces reste difficile. Comme exemple de cette difficulté, on peut citer (Rezeau, 2007) qui présente une analyse d'un corpus Moodle de productions de 106 apprenants utilisant des forums de discussion pour apprendre l'anglais : cette analyse est rendue fastidieuse par l'absence de module d'exportation de trace depuis la plateforme Moodle. Les messages postés par les étudiants dans 4 cours concernés ont été exportés au format texte, nettoyés des éventuelles balises HTML, étiquetés (nom abrégé du cours et nom de l'étudiant) et enfin concaténés en un seul fichier au format texte pur. Le plus souvent, les travaux (cités dans cet état de l'art) sur les indicateurs en EIAH ont été implémentés de façon ad-hoc comme un module greffé à un EIAH existant. (ex : GISMO à Moodle, CourseVis à WebCT, TACSI à Moodle, etc) pour répondre aux besoins concrets des utilisateurs (GISMO, CourseVis) ou à cause de la complexité de leur implémentation. Nous présentons ci-après quelques exemples d'indicateurs implémentés sur des plateformes variées.

L'indicateur *proportion entre deux types d'actions*, implémenté dans la plateforme COTRAS (Jerman, 2004), compare deux types d'actions différents. Nous pouvons donner comme comparaison significative le calcul de l'équilibre entre les actions qui servent à la production dans la résolution d'un problème donné, et les actions classées comme actions de dialogue entre les utilisateurs de la plateforme.

L'indicateur *taux de participation* implémenté dans la plateforme FREESTYLER (Gassner, 2003) calcule le taux de participation des acteurs par rapport à un type d'action donné. Cet indicateur permet par exemple aux enseignants de repérer les apprenants actifs par rapport au nombre d'actions faites par chaque apprenant. Il permet aussi aux apprenants d'évaluer leur propre participation par rapport à celle des autres membres du groupe.

Les travaux cités exploitent de manière explicite ou implicite des traces d'interaction sans définir formellement la notion de trace et encore moins les opérateurs qui permettent de les utiliser pour l'analyse d'activité. Cette question d'une trace *modélisée* et des *transformations* permettant de réaliser les analyses au niveau convenable de modélisation est au cœur du travail présenté dans cet article.

2. Systèmes à Base de Traces Modélisées (SBT)

La notion de *Systèmes à Base de Traces Modélisées* se présente comme une solution générique au problème de la modélisation et de la manipulation des traces numériques. Afin de définir de tels systèmes, nous définissons et formalisons tout d'abord les concepts de trace et de modèle de trace (section 2.1). Nous présentons ensuite la notion de SBT (section 2.2), 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 2.3).

2.1. Trace : modélisation et formalisation

2.1.1. Observé et Trace

Dans sa définition la plus générale⁴, « 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 ». Dans notre contexte, une trace numérique est issue de l'observation d'une activité, elle représente une marque rémanente 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 (Figure1). L'arrangement peut être séquentiel explicite (chaque observé est suivi et/ou précédé par un autre) ou découler du caractère temporalisé des objets de la trace. Pour donner notre définition de la notion de trace, nous définissons une représentation du temps de l'activité tracée que nous appelons extension temporelle. Différentes traces peuvent utiliser différentes représentations de temps, cependant, formellement, toutes les traces partagent cette propriété. Nous nommons cette représentation du temps un domaine temporel.

Définition 1 (Domaine Temporel). *Un domaine Temporel T est un ensemble dénombrable d'instants. Une fonction bijective $SuccT : T \rightarrow T$ associe à chaque instant son successeur, définissant un ordre total \leq_r dans T .*

À l'intérieur d'un domaine temporel donné, une trace décrit seulement un intervalle fini de temps. Nous appelons un tel intervalle *l'extension temporelle* de la trace.

Définition 2 (Extension Temporelle). *Étant donné un domaine temporel T , une extension temporelle ξ_T est un élément quelconque de $I(T)$ (avec $I(T)$ l'ensemble de tous les intervalles finis sur T).*

4. Dictionnaire Petit Robert. Version électronique du nouveau petit robert, dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française, 2005. En ligne ; Page disponible le 22-décembre-2005.

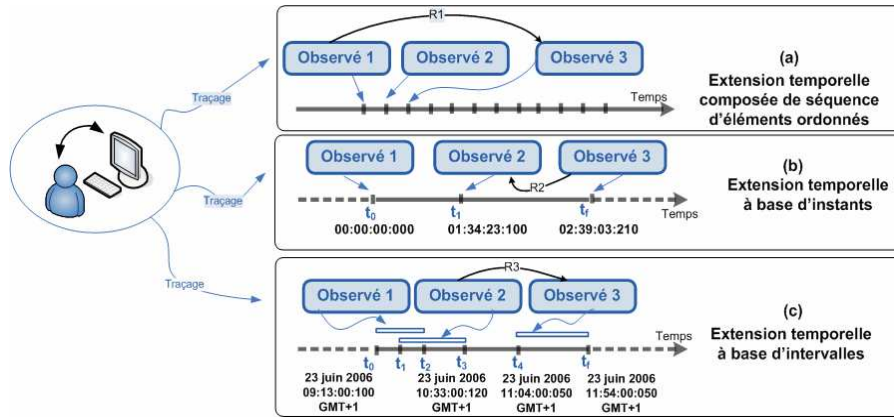


Figure 1. Trace, observés et extension temporelle de l'activité

On appelle *trace* une collection d'observés temporellement situés. On dénote par *observé* toute information structurée issue de l'observation d'une interaction. Un observé est dit « temporellement situé » dès le moment où il est associé à une partie de l'extension temporelle de la trace à laquelle il appartient.

2.1.2. Trace modélisée

Une trace numérique obéit à un modèle de trace, qui décrit les objets qui en font partie. Quel que 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.

On appelle modèle de trace le vocabulaire de la trace. Le modèle de trace permet la compréhension de la trace en décrivant abstraitement ses éléments.

Définition 3 (Modèle de Trace). Un modèle de trace est défini comme un tuple

$$M_{TR} = (T, C, R, A, dom_R, range_R, dom_A, Range_A)$$

Il est constitué de :

- un domaine temporel T ,
- un ensemble fini C de types d'observé (ou classes) et un ordre partiel \leq_C défini sur C ,
- un ensemble fini R de types de relations disjoint de C et un ordre partiel \leq_R défini sur R ,
- un ensemble A fini d'attributs disjoint de C et R ,

– deux fonctions $dom_R : R \rightarrow C$ et $range_R : R \rightarrow C$ définissant le domaine et le codomaine des types de relation,

– deux fonctions $dom_A : A \rightarrow C$ and $range_A : A \rightarrow D$ définissant le domaine et le codomaine des attributs,

Pour tout couple de relations $r1$ et $r2$ d'un modèle de trace, on doit garantir la propriété suivante:

$$r1 \leq_R r2 \Rightarrow dom_R(r1) \leq_C dom_R(r2) \wedge range_R(r1) \leq_C range_R(r2)$$

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 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).

Définition 4 (M-Trace). Une M-Trace est un tuple

$$TR = (MTR, \xi_T, O, \lambda_C, \lambda_R, \lambda_A, \lambda_T)$$

Constitué de

- un modèle de trace $MTR = (T, C, R, A, dom_R, range_R, dom_A, range_A)$,
- une extension temporelle ξ_T définit dans T ,
- un ensemble fini O d'observés, disjoint de C, R et A ,
- une fonction totale⁵ $\lambda_C : O \rightarrow C$ décrivant l'instanciation des observés,
- une relation $\lambda_R \subseteq O \times O \times R$ décrivant l'instanciation des relations,
- une fonction partielle⁶ $\lambda_A : O \times A \rightarrow V$ décrivant l'instanciation des attributs,
- une fonction totale $\lambda_A : O \rightarrow I(\xi_T)$ décrivant la temporalisation des observés.

Une trace doit respecter son modèle, i.e. vérifier les contraintes suivantes :

- $\lambda_C(o)$ (respect des types d'observés),
- $\forall (o1, o2, r) \in \lambda_R, \lambda_C(o1) \leq_C dom_R(r) \wedge \lambda_C(o2) \leq_C range_R(r)$,
- $\forall (o, a, v) \in \lambda_A, \lambda_C(o) \leq_C dom_A(a) \wedge v \in range_A(a)$.

5. λ_C est défini sur chaque $o \in O$

6. $\lambda_{A(o, a)}$ peut être indéfini pour un certain $(o, a) \in O \times A$

2.2. Principe général des SBT : collecte et transformation des m-traces.

Les concepts de trace et de modèle de traces définis dans la section précédente sont le noyau du cadre conceptuel que nous proposons (Settouti *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. Un *système à base de traces modélisées* (Figure2) est tout système informatique dont le fonctionnement implique à des degrés divers la gestion, la transformation et la visualisation de *traces modélisées explicitement*.

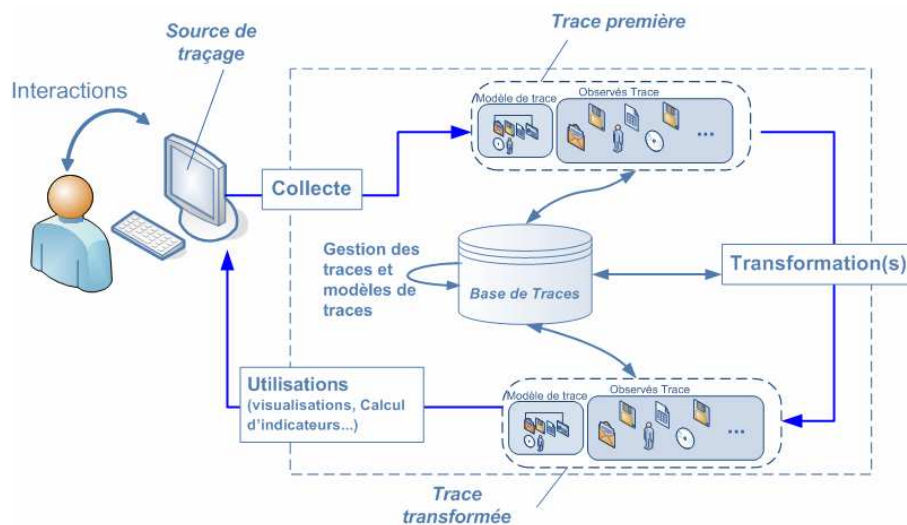


Figure 2. Principe général d'un système à base de traces modélisées

La collecte assure l'observation de l'utilisation d'un système à partir de *sources de traçage*. Elle consiste à élaborer de façon automatique ou semi-automatique, pendant l'activité ou *a posteriori*, des informations⁷ générées par l'interaction utilisateur/système en une *m-trace première* du SBT. 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 SBT. La *collecte de m-traces* est 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 SBT. La construction d'une telle m-trace nécessite la 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

7. Ces informations correspondent par exemple aux logs avec le système lui-même comme source de traçage

du processus initial de collecte. Une *base de m-traces* d'un SBT est l'ensemble des m-traces qui sont manipulées par le système à base de m-traces. La trace première n'est pas toujours exploitable directement, et une ou plusieurs transformation(s) sont nécessaires pour atteindre une trace d'un niveau cohérent avec l'activité, *i.e.* signifiant dans le contexte pour l'utilisateur.

Une *transformation de m-traces* est tout processus qui transforme une ou plusieurs m-trace gérée(s) par un système à base de m-traces en une autre m-trace. 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 de 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 création directe par l'utilisateur d'une m-trace à partir d'une m-trace existante. Le SBT permet de garder la cohérence entre les traces et leurs modèles lors d'une transformation manuelle. Les transformations automatiques sont appliquées dans le SBT selon des *modèles de transformation*. Un modèle de transformation est un ensemble de règles exprimant des filtres de sélection ou de réécriture de motifs⁸. Les transformations automatiques peuvent être combinées.

On peut distinguer trois types de transformations automatiques : a)- Les transformations de type *sélection* permettent la création d'une nouvelle trace contenant tous les observés selon un filtre donné. Ces transformations permettent de séparer les observés pertinents de la trace et le *bruit*. Les filtres sont des contraintes sur les objets de la trace, le domaine temporel, et les relations structurelles. b)- Les transformations de type *réécriture de motifs* permettent de remplacer un motif d'observés en un autre observé. Ces motifs peuvent être constitués d'observés qui ne se suivent pas directement. L'expression d'un motif (pattern) représente la séquence à réécrire. c)- Les transformations par *fusion temporelle* consistent à fusionner en une seule trace les observés de plusieurs traces en respectant la temporalité. Le modèle de la trace fusionnée assemble les modèles des traces fusionnées. Cette transformation est possible si les traces sont d'extensions temporelles homogènes⁹.

Les principes d'un SBT ainsi posés, la partie 3 en présente l'exploitation pour l'ingénierie guidée par les modèles pour le calcul des indicateurs.

3. SBT-IM : un SBT implémenté exploité pour le calcul des Indicateurs dans Moodle.

Nous présentons une architecture en trois niveaux : collecte, transformation des m-traces et calcul des indicateurs à partir de ces transformations. Nous donnons par la suite des exemples précis sur l'utilisation de SBT-IM pour le calcul d'indicateurs

8. Une représentation d'une séquence ou d'un sous ensemble d'observés de la trace.

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

concrets. Pour introduire ce travail, nous présentons dans la section suivante, quelques exemples issus de la littérature EIAH qui ont été implémentés. L'effort de modélisation de la trace proposé dans le SBT nous permet d'envisager un système plus générique qui puisse accueillir des traces premières modélisées issues de différentes sources de traçage. La partie 3.1 montre comment nous avons implémenté notre SBT et construit les modèles de traces permettant de gérer des traces premières issues de Moodle.

3.1. Architecture globale du SBT-IM

Moodle¹⁰ (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) est une plateforme d'apprentissage en ligne (open source) qui permet la création de cours en ligne. Moodle fonctionne sur tout système d'exploitation supportant un serveur web et le SGBD Mysql. **SBT-IM (Fig 3)** comporte trois sous-systèmes : le premier permettant la collecte des données à partir des plateformes d'apprentissages en une trace première ; le second gère la transformation des m-traces ; tandis que le troisième permet le calcul des indicateurs à partir des m-traces transformées.

L'objectif du *sous-système de collecte* est de récupérer à partir des sources de traçage Moodle les données pour générer en temps réel la m-trace première Moodle. Dans un travail précédent, nous proposons une trace première basée sur une ontologie pour une expérimentation réalisée dans Moodle (Djouad, 2008). Nous avons décomposé ce sous-système en deux modules : le *module de collecte intégré du côté serveur* génère la m-trace première selon deux formats OWL et HTML. HTML permet de visualiser directement la m-trace première mais pas de la réutiliser, alors que OWL représente la m-trace première pour la réutiliser ; le *module de collecte intégré du côté client* permet aux utilisateurs de faire une collecte paramétrée, et de générer des m-traces premières selon leur besoin. Dans ce cas, la m-trace première ne contient que les données dont l'utilisateur estime avoir besoin.

Le *sous-système de transformation* met en œuvre les opérateurs qui transforment les m-traces. Nous proposons trois classes d'opérateurs : une classe d'opérateurs de transformation de trace qui ne modifient pas le modèle de la m-trace, une classe d'opérateurs de transformation de trace qui le modifient, et des opérateurs spécifiques pour le calcul d'indicateur. La base de m-trace, qui permet de stocker les traces d'autres systèmes, permet également de conserver (de façon réflexive) des traces particulières que sont les transformations utilisées dans le SBT. Toute trace est ainsi associée aux transformations qui ont permis de la construire. L'un des avantages décisifs de cette association entre la m-trace et sa transformation, est la possibilité de réutiliser, simplement et en contexte, la séquence de transformations pour créer d'autres m-traces équivalentes.

Le *sous-système qui calcule l'indicateur* associe à chaque indicateur à calculer une ou plusieurs m-traces et une règle de calcul. La m-trace utilisée pour calculer la

10. <http://moodle.org/>

valeur de l'indicateur est le résultat d'une séquence de transformations de la m-trace première. Pour obtenir la valeur de l'indicateur, on applique une statistique sur les observés utilisés par la règle de calcul, et enfin on calcule la valeur de l'indicateur.

3.2. Interface graphique

L'interface graphique fournit l'accès aux services de collecte des données, de transformation des m-traces, et du calcul de l'indicateur. Il communique avec le sous-système de collecte des données côté serveur. Chaque module possède son interface graphique accessible par onglet. Le SBT-IM se connecte automatiquement à la plateforme Moodle grâce à un paramétrage accessible par menus graphiques et interactifs. Nous proposons pour la collecte côté Client un atelier qui permet de collecter les données selon les cinq classes par défaut décrites dans le modèle de la m-trace première (Djouad, 2008) et qui sont : Course, User, Time, Tools et Observed. Le module de filtrage (FM) propose plusieurs fenêtres de filtrage : il y a au total cinq boîtes de configurations, une pour chaque classe.

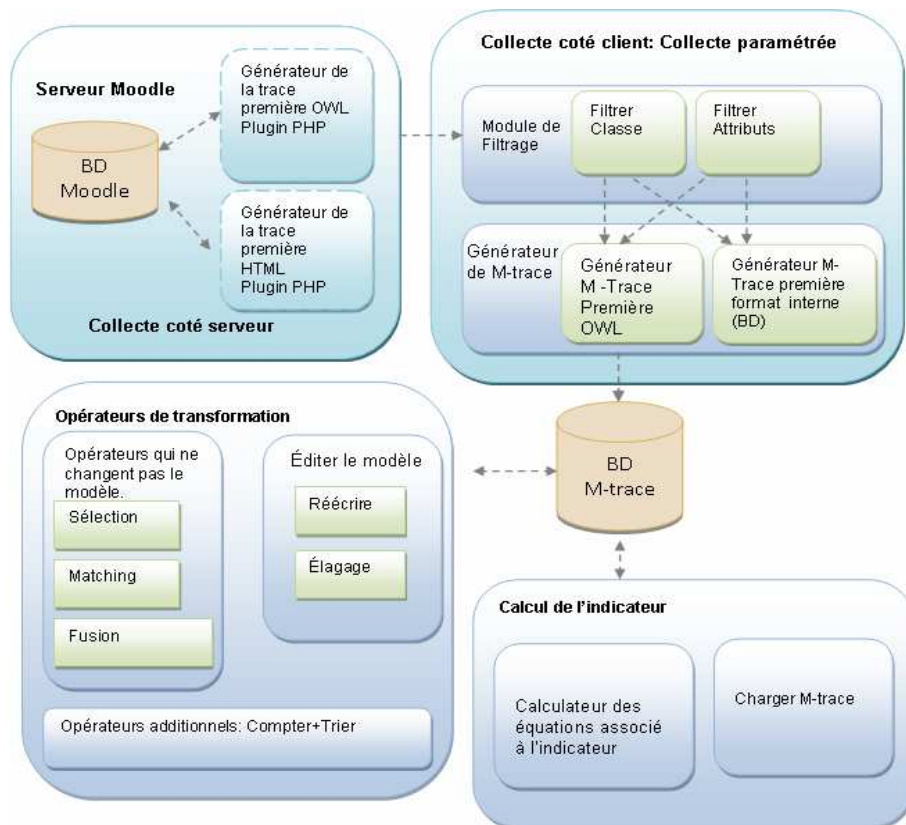


Figure 3. Architecture du SBT-IM

La figure 4 présente un atelier de transformation de m-traces et illustre l'utilisation de l'opérateur *Matching*. Une boîte à outil (en haut à gauche de la fenêtre) permet de sélectionner le type d'opérateur à utiliser (ici *Matching*). Trois zones permettent d'afficher : la m-trace à transformer (à gauche), la signature de tâche (la signature des tâches est un motif décrivant une séquence significative dans la trace, motif qui sera utilisé par le matching), et la m-trace résultat de la transformation (à droite). Les deux grilles en bas affichent les observés : la première donne un extrait de séquence d'observés de la m-trace actuelle, et la seconde tous les observés de la m-trace actuelle (regroupant et dénombrant des observés consécutifs du même type).

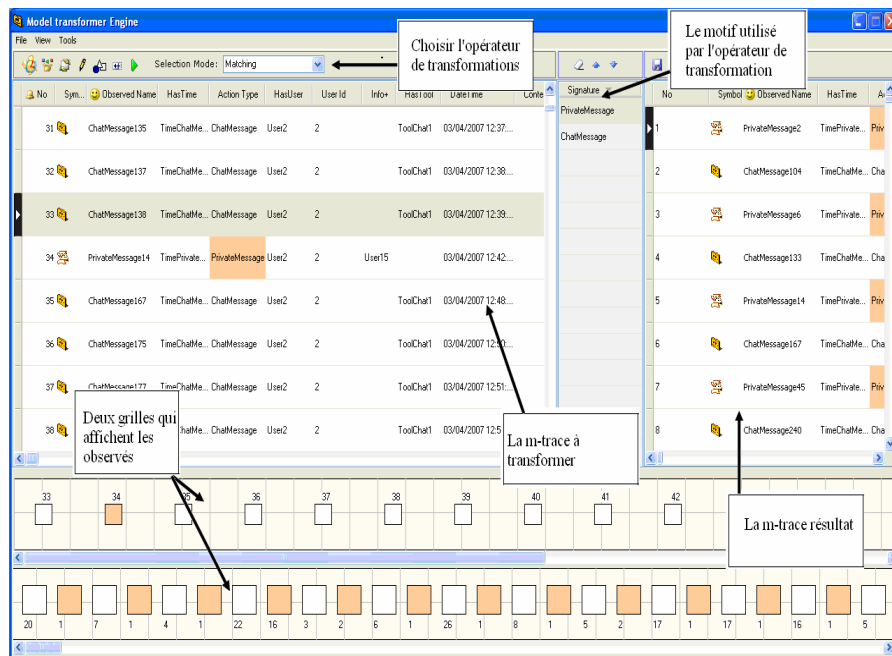


Figure 4. Le sous-système de transformation, fenêtre principale. La trace à transformer est une trace réelle issue d'une expérimentation que nous avons réalisé (Djouad, 2008), elle contient toutes les action de type « message privé » et « message chat » de l'apprenant « User2 ». Dans cet exemple, l'opérateur *Matching* permet de garder toutes les successions des instances de type « message privé, message chat »

3.3. Illustration des transformations dans le SBT-IM

Nous montrons dans cette partie comment utiliser les opérateurs sur les m-traces pour construire les séquences de transformations, et générer par la suite des m-traces

évoluées nécessaires aux indicateurs collaboratifs. Pour ce faire, nous donnons ici un exemple concret de calcul d'indicateurs issus du domaine des EIAH.

Rappelons que la Règle de calcul de la proportion entre deux types d'actions A et B, est : $Proportion(A,B) = (NAMTA - NAMTB) / (NAMTA + NAMTB)$, où NAMT est le Nombre des Actions de Même Type. Dans notre cas : une action devient un type d'observé, et le nombre des actions faites par un acteur devient le nombre des instances pour un type d'observé liés à un acteur. Ainsi, les valeurs extrêmes et pivot pour $Proportion(A,B)$ sont +1 s'il n'y a que des actions de type A, -1 s'il n'y que des actions de type B et 0 s'il y a autant d'actions de type A que d'actions de type B.

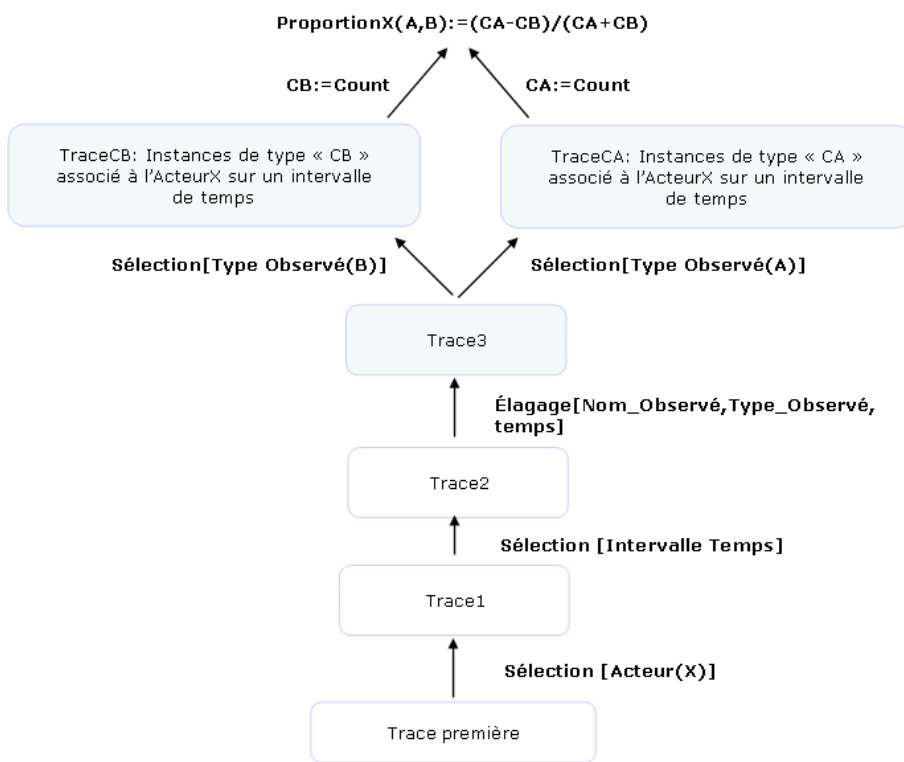


Figure 4. Séquence de transformations générique pour calculer l'indicateur « Proportion entre deux types d'observés A et B »

La séquence de transformations de la trace première vers l'indicateur est expliquée sur la figure 5 où l'on propose de faire une sélection sur tous les observés liés à un ActeurX, ensuite de ne sélectionner que les observés associés à un intervalle de temps, puis d'élaguer le modèle pour ne garder que le nom des observés et leur type. On extrait alors (par 2 sélections) les observés de type « A » et les

observés de type « B » ; qui constituent les données d'entrée de la fonction de calcul utilisant les opérateurs « Compter » et « Proportion ». Cette séquence de transformations génériques n'est pas la seule possible. On peut définir d'autres séquences en faisant par exemple une sélection sur l'intervalle de temps, ensuite une sélection sur les type d'observés « A » et « B », etc. Nous fournissons alors non pas la séquence de transformations pour cet indicateur, mais les outils (les opérateurs de transformations) permettant de construire cette séquence.

4. Conclusion

Nous avons présenté dans cet article un système à base de trace pour modéliser et transformer les traces d'interactions. Le cadre théorique comporte les notions de trace modélisée (m-trace), de transformation d'une m-trace, ainsi que le principe de fonctionnement d'un système à base de trace. Nous avons implémenté un système à base de trace spécialisé dans le calcul des indicateurs en EIAH SBT-IM, et nous avons choisi comme étude de cas le calcul des indicateurs de collaboration à partir des m-traces dans la plateforme Moodle. Enfin nous avons illustré avec quelques exemples concrets la facilité de calculer les indicateurs dans notre SBT-IM grâce aux transformations des m-traces. L'architecture du SBT-IM implémenté que nous proposons est ouverte, et indépendante des plateformes d'apprentissage ainsi que du calcul spécial d'un indicateur. Le système implémenté offre un calcul d'indicateur à un niveau abstrait sans passer par un calcul spécial d'un indicateur et dans une plateforme d'apprentissage ciblée. Cette abstraction dans le calcul des indicateurs est possible grâce aux opérateurs de transformations qui transforment toute m-trace première venant de toute plateforme d'apprentissage. La séquence de transformation générée est orientée vers le calcul d'un indicateur. Notons qu'elle est réutilisable par parties, comme briques dans la transformation elle-même, ou dans d'autres transformations. On peut bien sûr trouver des équivalences entre séquences de transformations différentes, aboutissant au calcul du même indicateur. Les principales contributions concernent la proposition d'un cadre théorique pour le traitement des traces d'interactions à des fins de compréhension d'une activité, la proposition d'une architecture logicielle permettant de sous-traiter les traitements de traces à un système à base de traces modélisées et enfin, un environnement concret développé pour les EIAH basés sur Moodle et orienté vers l'élaboration d'indicateurs d'activités collaboratives d'apprentissage. La manière d'exploiter l'indicateur dans un EIAH (visualisation, utilisation pour l'adaptation, etc.) sort du cadre du travail de recherche actuel bien qu'il s'agisse d'une question ouverte et importante. Notre travail se focalise sur l'ingénierie des indicateurs à partir de traces modélisées. Par la suite, nous comptons tester le SBT-IM avec d'autres plateformes d'apprentissage afin d'en démontrer l'indépendance. Pour élargir et amplifier l'expressivité et la généralité de notre mécanisme de transformation des m-traces, nous souhaitons également ajouter d'autres opérateurs de transformations plus génériques.

5. Bibliographie

- Baker M J., « Forms of cooperation in dyadic problem solving », *Intelligence Artificielle*, vol. 16, 2002, p. 587-620.
- Baker M J., Lund K., « Promoting reflective interactions in a computer-supported collaborative learning environment », *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 13, 1997, p. 175-193.
- Barros B., Verdejo M F., « Analyzing student interaction processes in order to improve collaboration. The DEGREE approach », *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 11, 2000, p. 221-241.
- Beldame M., « Inscribing the user's experience to enact development », *In Proceeding of the third international conference on enactive interfaces*, Montpellier, France, 2006, p. 193-194.
- Betbeder M L., Reffay C., Chanier T., « Environnement audiographique synchrone : recueil et transcription pour l'analyse des interactions multimodales », *Dans les actes de JOCAIR, premières journées communication et apprentissage instrumentés en réseau*, Amiens, France, 2006, p. 406-420.
- Bratitsis T., Dimitracopoulou A., « Indicators for measuring quality in asynchronous discussion forums », *Communication in the International conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Era*, 2006, Barcelona, Spain.
- Choquet C., Iksal S., Modélisation et construction de traces d'utilisation d'une activité d'apprentissage : une approche langage pour la réingénierie d'un EIAH, *Dans STICEF : Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education et la Formation*, Vol. 14, 2007, p. 419-456].
- Cram D., Visualisation de Traces : Application aux Traces Réflexives d'eLycée. Rapport de Master de recherche, Laboratoire Liris, Université Claude Bernard Lyon1, 2007.
- Després C., Coffinet T., « Reflet, un miroir sur la formation », *Communication dans la conférence internationale sur les Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement Supérieur et l'Industrie*, 20-22 octobre 2004, Compiègne, France, p. 19-24.
- Dimitracopoulou A., State of the art on Interaction and Collaboration Analysis (D26.1.1). EU Sixth Framework programme priority 2, Information society technology, Network of Excellence Kaleidoscope, (contract NoE IST-507838), project ICALTS: Interaction and Collaboration Analysis, 2004.
- Djouad T., « Analyser l'activité d'apprentissage collaboratif : Une approche par transformations spécialisées de traces d'interactions », *dans les actes de la 2ième rencontre des jeunes chercheurs RJC-EIAH08*, 15-16 mai 2008, Lille, France, p. 93-98.
- Dyke G., Girardot J J., Lund K., Corbel A., « Analysing face to face computer-mediated interactions. EARLI (European Association for Research, Learning and Instruction) », *12th Biennial International Conference, University of Szeged, Eötvös Lorand University, Hungarian Academy of Sciences*, August 28-September 1, 2007, Budapest, Hungary.

- France L., Heraud J M., Marty J C., Carron T., « Visualisation et régulation de l'activité des apprenants dans un EIAH tracé », *dans les Actes de la conférence EIAH 2007*, 27-29 Juin 2007, Lausanne, Suisse.
- Gassner K., Diskussionen als Szenario zur Ko-Konstruktion von Wissen. [Discussion as a scenario of knowledge co-construction]. Dissertation. Faculty of Engineering Sciences, University Duisburg-Essen, 2003.
- George S., Apprentissage collectif à distance. SPLACH : un environnement informatique support d'une pédagogie de projet, Thèse de doctorat en informatique, Université du Maine, 2001. http://liesp.insa-lyon.fr/people/sgeorge/these/these_sebastien_george.pdf
- George S., Leroux P., Documents et espaces de communication numériques dans un environnement support de projets entre apprenants, *Revue Document Numérique* numéro spécial « Création et Gestion Coopératives de Documents Numériques d'Information Communication », Sous la dir. de C. Simone, N. Matta, B. Eymard, Hermès, Vol. 5 , n°3-4 , ISBN 2-7462-0509-2, 2002, p. 65-84.
- Greffier F., Reffay C., « Les échos du forum de discussion en FAD ». *Dans les actes de JOCAIR, premières journées communication et apprentissage instrumentés en réseau*, 2006, p. 130-144. Amiens, France.
- Guéraud V., Adam J M., Pernin J P., Calvary G., David J P., « L'exploitation d'Objets Pédagogiques Interactifs à distance : le projet FORMID », *Revue STICEF*, vol. 11, 2004, p. 109-164.
- Jaillet A., Peut-on repérer les effets de l'apprentissage collaboratif à distance, *Distances et savoirs*, vol. 3, n°1, 2005, p. 49-66.
- Jermann P R., Computer Support for Interaction Regulation in Collaborative Problem-Solving. Thèse de doctorat, Genève, 2004.
- Lund K., Mille A., Traces, traces d'interaction, traces d'apprentissages : définition, modèles informatiques, structurations, traitements et usage, Chapitre 1, Analyse de traces et personnalisation des Environnements Informatiques d'Apprentissage Humain, Hermes, IC2 - Série Informatique et Systèmes d'Information, à paraître
- Martínez A., Dimitriadis Y., Gómez E., Rubia B., de la Fuente P., « Combining qualitative and social network analysis for the study of classroom social interactions », *Computers and Education*, vol. 41, n°4, 2003, p. 353-368.
- Mazza R., Milani C., « Exploring Usage Analysis in Learning Systems: Gaining Insights From Visualisations », *Communication in the Workshop on Usage analysis in learning systems, the twelfth International Conference on Artificial Intelligence in Education. Amsterdam*, 2005, the Netherlands, p. 65-72.
- Mazza R., Dimitrova V., « Visualising Student Tracking Data to Support Instructors in Web-Based Distance Education », *In proceeding of the thirteenth International World Wide Web Conference-Educational Track*, 2004, New York, USA, p. 154-161.
- May M., George S., Prévôt P., « Keeping Tracks of Users' Activities on Discussion Forum: Reflection and Proposal », *National Conference on Learning Through Online Exchanges: Tools, Tasks, Interactions, Multimodality, Corpora (EPAL 2007)*, 7-9 Juin 2007, Grenoble, France.

- Pham Thi Ngoc D., Iksal S., Choquet C., Klinger E., « DCL4UTL : Une proposition de langage de calcul déclaratif pour le processus d'analyse de traces d'apprentissage », dans *les Actes de la conférence EIAH*, 23-26 juin 2009, Le Mans (France), p. 29-36.
- Reffay C., Lancieri L., « Quand l'analyse quantitative fait parler les forums de discussion », *STICEF, numéro spécial forum de discussion en éducation*, 2006, p. 255-288.
- Renie D., « 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. 2000, p. 281-301.
- Rezeau J., « L'apport du concordancier à l'analyse et à la remédiation des erreurs des apprenants dans les forums de discussion en ligne », *Revue Aslic*, vol. 10, n° 2, 2007, p. 27-43.
- Santos O C., Rodríguez A., Gaudio E., Boticario J G., « Helping the tutor to manage a collaborative task in a web-based learning environment », *Communication in the Workshop Towards Intelligent Learning Management Systems*, 2003, Sydney, Australia, p. 72-81.
- Settouti L S., Prié Y., Mille A., Martu J C., « Systèmes à base de traces pour l'apprentissage humain », *Communication in the international TICE, Technologies de l'Information et de la Communication dans l'Enseignement Supérieur et l'Entreprise*, 2006, Toulouse, France.
- Tedesco P A., « MArCo: Building an Artificial Conflict mediator to Support Group Planning Interactions », *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 13, 2003, p. 117-155.

Tarek DJOUAD est doctorant en informatique depuis novembre 2006. Il prépare une thèse en cotutelle entre l'université Claude Bernard Lyon1, laboratoire LIRIS (Laboratoire d'InfoRmatique en Image et Systèmes d'information) et l'université Mentouri Constantine, Algérie, Laboratoire LIRE(Laboratoire en Informatique REpartie). Il s'intéresse au calcul des indicateurs d'activités collaboratives par transformation de modèles de trace d'interaction.

Lotfi sofiane SETTOUTI est doctorant en informatique. Il effectue sa thèse au laboratoire LIRIS (Laboratoire d'InfoRmatique en Image et Systèmes d'information) à l'Université Claude Bernard Lyon1. Son travail de thèse a été financé par la région Rhône-Alpes et le Cluster « informatique, signal et logiciel embarqué » dans le cadre du projet « Personnalisation des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain ». Il s'intéresse aux langages pour la représentation des connaissances, notamment aux sémantiques formelles et mécanismes pour exploiter et raisonner sur les traces d'interactions.

Yannick PRIÉ est Maître de Conférence en informatique à l'Université Claude Bernard Lyon1 au sein de l'équipe SILEX. Sa recherche concerne les systèmes d'interprétation et la réflexivité, et se décline en deux activités principales, l'une sur les systèmes à Base de Traces Modélisées, l'autre sur les systèmes de lecture active audiovisuelle et d'annotation. Les

activités d'apprentissage médiées sont un terrain d'application privilégié pour ses travaux, notamment au sein du projet ANR ITHACA sur l'apprentissage synchrone.

***Christophe REFFAY** est maître de conférence en informatique et chercheur en détachement à l'Institut National de la Recherche Pédagogique, au laboratoire "Sciences Techniques Éducation Formation" de l'ENS de Cachan. Il s'intéresse à l'analyse des interactions dans les situations collaboratives de formations/apprentissage à distance et en ligne et en particulier aux modèles issus des réseaux sociaux. Depuis 2006, il s'intéresse aux problèmes du recueil, de l'indexation et de la structuration et de l'anonymisation des données issues de telles expérimentations, en vue d'en constituer des corpus échangeables avec des chercheurs extérieurs à l'expérimentation.*

***Alain MILLE** est professeur à l'Université Claude Bernard Lyon1. Responsable de l'équipe SILEX (Supporting Interactions and Learning from EXperience), il est un spécialiste du raisonnement à partir de l'expérience tracée. Cette théorie est appliquée avec succès à l'ingénierie des connaissances, à l'assistance aux activités médiées par un environnement informatique, en particulier les activités d'apprentissage médiées par un environnement informatique pour l'apprentissage humain.*