



Calcul des indicateurs collaboratifs à partir des transformations spécialisées dans un SBT

► Tarek DJOUAD, Alain MILLE (LIRIS, Lyon), Christophe REFFAY (LIFC, Besançon), Mohamed BENMOHAMED (LIRE, Algérie)

■ **RÉSUMÉ** • Nous présentons dans cet article une méthode pour calculer les indicateurs dans les situations d'apprentissage collaboratif. La méthode que nous proposons est dans le cadre de l'ingénierie dirigée par les modèles, est basée sur les transformations des modèles de trace d'interaction dans un système à base de trace.

■ **MOTS CLÉS** • Trace modélisée, calcul des indicateurs, Apprentissage collaboratif.

■ **ABSTRACT** • *in this paper we present a method to calculate indicators in collaborative learning situations. The method we propose is based on model driven engineering, and it's based on tracks model's transformations made in tracks based system.*

■ **KEYWORDS** • *Modelized tracks, indicators calculus, , collaborative learning,*

1. Introduction

Évaluer les situations d'apprentissage collaboratif pour un apprenant, ou un groupe d'apprenants dans les environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH) est une tâche délicate qui nécessite une adaptation permanente parfois même en cours d'activité. Pour tenter de comprendre la dynamique de l'apprentissage, et évaluer efficacement ces situations d'apprentissage collaboratif, l'analyse des traces d'interaction est exploitée par les chercheurs dans de nombreux systèmes dont un état de l'art avait été proposé dans (Soller et al., 2005). De la même façon, une modélisation adaptée des traces d'interactions devrait permettre aux enseignants de concevoir et d'automatiser le calcul des indicateurs collaboratifs, qui, à leur tour les aideront à comprendre, évaluer, suivre et soutenir l'apprentissage en cours.

Dans cet article, nous nous intéressons plus spécialement aux différentes méthodes et techniques facilitant l'analyse des traces dans les situations d'apprentissage collaboratif en se basant sur l'ingénierie dirigée par les modèles (de traces), afin de concevoir et calculer efficacement les indicateurs collaboratifs indépendamment des plateformes d'apprentissage. Notre problématique de recherche comprend trois facettes : 1) comment récupérer et restructurer les traces brutes issues des sources de traçages pour donner naissance à de nouvelles traces modélisées nommées *traces premières* (Mille et Prié, 06), c'est une phase de collecte des données permettant à travers la trace première, d'identifier et de sélectionner les données issue de l'EIAH, nécessaires au calcul de l'indicateur ; 2) quelles sont les transformations nécessaires au sens de l'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM), et quels sont les opérateurs à définir, pour calculer, à partir de cette trace première, les indicateurs qui fassent sens dans le cadre d'une activité collaborative ; 3) quels sont les modèles de traces à associer pour chaque indicateur collaboratif dans la littérature EIAH, et quelle est la structure de ces modèles pour qu'elle puisse s'adapter à celle de l'indicateur visé. Ces transformations et ces modèles d'indicateurs peuvent être utilisés par le chercheur, le concepteur de l'activité, le formateur ou même l'apprenant en situation d'apprentissage.

Nous proposons dans cet article une méthode pour calculer les indicateurs collaboratifs. Ce choix oriente notre quête vers la conception d'outils de prise de conscience de la collaboration (*collaboration awareness*) pour les différents acteurs en se basant sur le calcul d'indicateurs collaboratifs en EIAH. Ce travail s'inscrit dans le domaine du travail collaboratif assisté par ordinateur (Computer Supported Collaborative Work CSCW), et se base sur l'ingénierie dirigée par les modèles pour transformer les modèles de trace et construire ainsi les indicateurs de la collaboration.

1.1. Les indicateurs dans les EIAH

Selon (Dimitrakopoulou et Bruillard, 2006) un indicateur est une variable au sens mathématique à laquelle est attribuée une série de caractéristiques. C'est une **variable** qui prend des valeurs représentées par une **forme** numérique, alphanumérique ou même graphique.... La valeur possède un **statut** : elle peut être brute (sans unité définie), calibrée ou interprétée. Le statut identifie une caractéristique bien précise : celle du **type d'assistance** offert aux utilisateurs. Chaque indicateur peut dépendre d'autres variables comme le temps, ou même d'autres indicateurs.

Dimitrakopoulou dans (Dimitrakopoulou, 2004) propose de calculer les indicateurs par des outils nommés outils d'analyse. La figure 1 explique le principe de fonctionnement de ces outils d'analyse. Les utilisateurs (formateurs, apprenants, etc.) des environnements d'apprentissage utilisent les différents modules d'activités ou de communication (e.g. : tableau blanc, chat, forums, etc.) La sélection des données permet de récupérer d'une façon automatique ou semi automatique les traces de l'utilisation des modules d'activités par les différents utilisateurs. On peut récupérer ces données à partir par exemple des fichiers logs de la plateforme d'apprentissage étudiée. Le choix des données à sélectionner dépend des entrées de la méthode d'analyse qui calcule l'indicateur.

Les méthodes d'analyse produisent un ou plusieurs indicateurs. L'indicateur peut indiquer le mode ou la qualité de la contribution individuelle (e.g. : « Envoyer un message dans un Chat »), de la collaboration (e.g. : la répartition du travail, la densité ou la cohésion d'un groupe, etc.) ou encore le processus ou la *qualité* du produit final (e.g. : la profondeur d'un fil de discussion dans un forum, etc.).

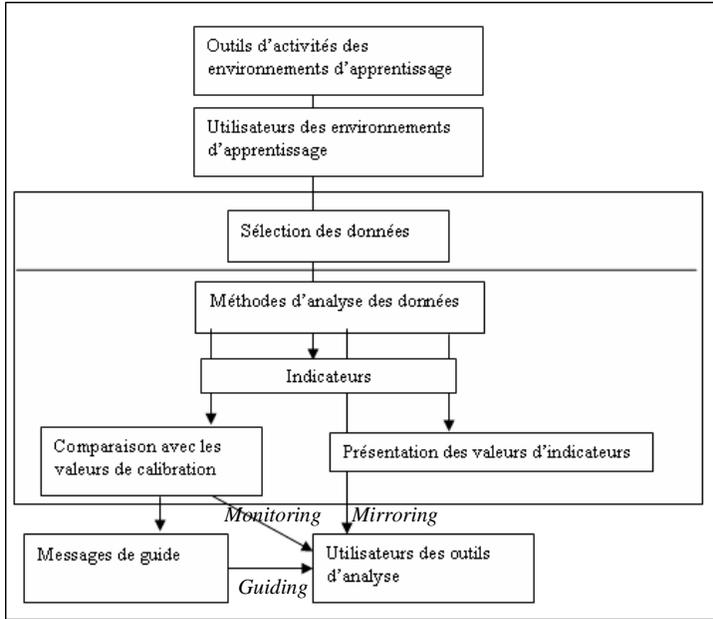


Figure 1 • Le calcul d'un indicateur, positionnement par rapport aux autres tâches

La valeur de l'indicateur permet de construire un retour (*feedback*) plus ou moins élaboré aux utilisateurs. Selon les catégories proposées par (Soller *et al.*, 2005), ce retour peut être une simple visualisation de la valeur de l'indicateur (*mirroring*), ou cette valeur peut être comparée avec une valeur souhaitée (*monitoring*) ou encore servir à la construction d'une réponse plus élaborée pour guider l'apprenant dans son apprentissage (*guiding*).

De nombreux travaux ont été publiés sur les indicateurs respectant en général la définition proposée par (Dimitrakopoulou, 2004). Citons par exemple (Reffay et Lancieri, 2006) pour le calcul de la cohésion et la centralité dans les réseaux sociaux et à partir des forums de discussion. La plateforme ACOLAD (Jaillet, 2005) fournit au tuteur un outil le renseignant 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. Il identifie : l'apprenant participatif, perspicace, utile, non-collaboratif, qui prend des initiatives, et l'apprenant communicatif. D'autres indicateurs sont interprétés qualitativement comme (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.

Nous pouvons aussi citer quelques travaux sur les techniques de calcul et d’affichage les indicateurs.

(May, 2008) propose une visualisation de l’indicateur « lecture d’un message dans un forum » à partir des traces. Le diamètre de la sphère représente la durée du temps passé par un utilisateur pour la lecture d’un message. La distance entre les sphères représente le temps écoulé entre deux lectures, et la couleur de la sphère donne une signification du type d’action faite par l’utilisateur (e.g. : la couleur bleue signifie que l’utilisateur a affiché le message, et qu’il a bougé la « scrollbar » mais sans aller jusqu’en bas, c’est une lecture partielle). Cette visualisation de l’indicateur facilite l’interopération des différentes actions faites par les apprenants (Fig. 2).

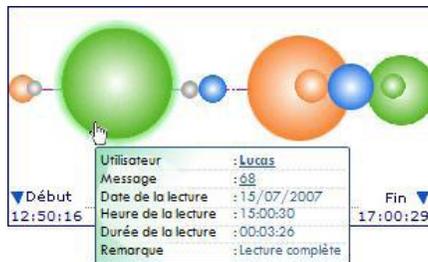


Figure 2 • Visualisation de l’indicateur « Lecture d’un message » dans Travis

(Lavallard, 2008) propose une plateforme d’exploitation d’archives de forums « ForumExplor ». Cet instrument de visualisation et d’aide à la lecture d’archive des forums facilite l’analyse complexe des forums et propose différentes vues globales et thématiques d’archive de forums à la demande des utilisateurs. La vue globale est basée sur un calcul statistique simple. La figure 3 montre une vue globale d’un indicateur qui représente la participation en nombre de messages par jour des différents utilisateurs dans un forum.

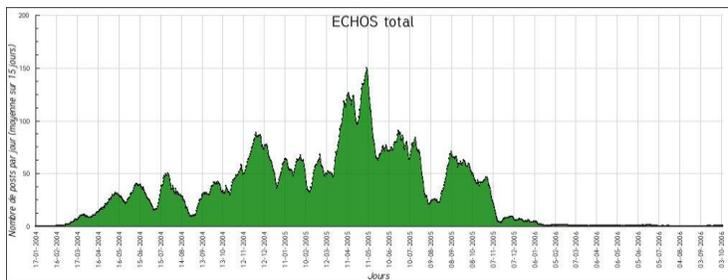


Figure 3 • Vue globale pour un indicateur qui visualise la Participation dans un forum

La représentation thématique associe pour un texte une étiquette et une couleur. Le thème résultat est projeté sur une vue globale. La figure 4 présente une coloration d'un forum.

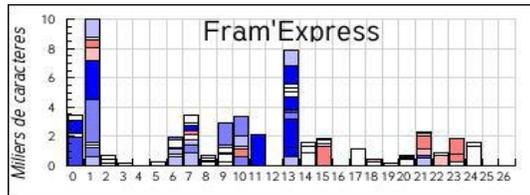


Figure 4 • Vue thématique : Un exemple d'une coloration thématique d'un fil de discussion.

Nous trouvons aussi dans (Diagne, 2008) une architecture multi agent pour réutiliser les indicateurs à partir des nouvelles sources de traçage. C'est une architecture ouverte structurée en plusieurs agents :

Les agents systèmes : Agent requête qui interroge les sources de traçage et identifie les données nécessaires à collecter pour calculer la valeur de l'indicateur ; Agent base des données qui construit la trace utilisée par l'indicateur ; Agent IHM pour afficher la valeur de l'indicateur.

L'agent indicateur utilise la trace envoyée par l'agent base des données, il analyse cette trace pour calculer la valeur de l'indicateur (où l'indicateur est une fonction f), et passe par la suite les résultats à l'agent IHM pour afficher les résultats. La figure 5 explique le principe de cette architecture.

Nous avons dans notre problématique de recherches plusieurs objectifs, un de ces objectifs est de réutiliser des indicateurs dans des nouvelles plateformes et à partir des nouvelles sources de traçages, ce qui est le même objectif traité dans (Diagne 2008). Nous nous basons sur les transformations de m-traces pour atteindre cet objectif.

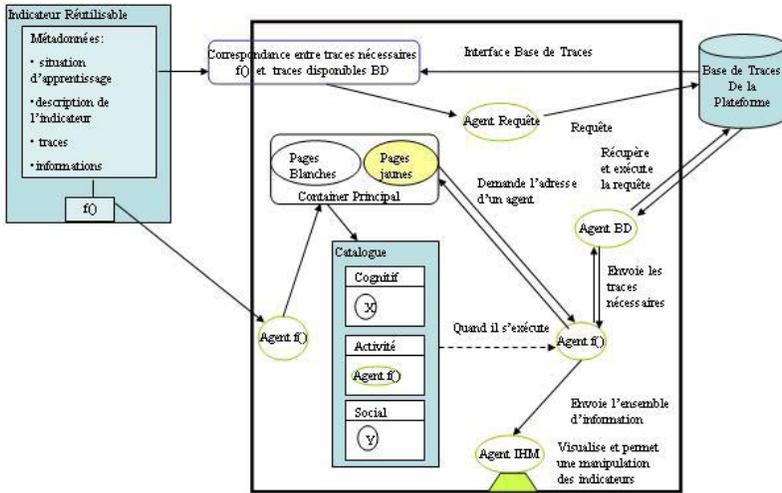


Figure 5 • Architecture du Système Ouvert de Supervision

On utilise aussi dans (Pham Thi Ngoc, 2008) les indicateurs pour améliorer et réutiliser les scénarios pédagogiques à l'aide d'une grammaire formelle pour calculer les indicateurs (LCI). Le modèle de représentation de l'indicateur est basé sur trois facettes : *Defining* qui définit le besoin d'une observation, *Getting* qui définit les moyens de l'observation à mettre en œuvre pour l'acquisition des données et *Using* qui explique comment utiliser ces données (voir la figure 6).

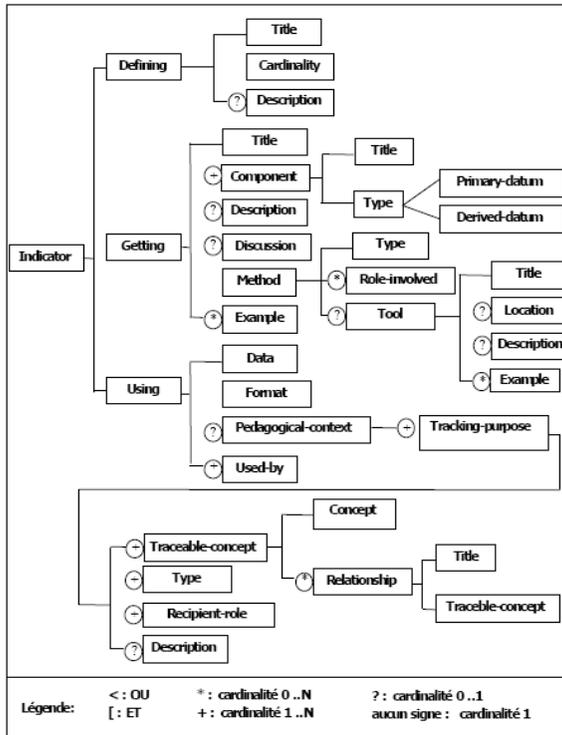


Figure 6 • Modèle de l'indicateur

1.2. Les indicateurs dans les EIAH : quelques exemples typiques

Nous détaillons dans cette section quelques indicateurs issus du domaine des EIAH. Tous ces indicateurs sont cités avec les plateformes où ils ont été implémentés dans (Dimitrakopoulou, 2004).

1.2.1. La division du travail (Division of Labor)

Cet indicateur défini et implémenté dans la plateforme COTRAS « COLlaborative TRAffic Simulator » (Jermann, 2004) identifie la division du travail adoptée par deux utilisateurs qui agissent sur un ensemble de ressources. Cet indicateur destiné précisément aux chercheurs, permet d'identifier le rôle pris par chaque participant dans le processus de collaboration pour l'apprentissage.

On peut distinguer trois types de division du travail : la division basée sur la tâche où chaque acteur agit séparément sur des ressources différentes. Une division basée sur le rôle, où un seul des deux acteurs agit sur toutes les ressources. Une division du travail concourant où les deux acteurs agissent (en même temps) sur l'ensemble des

ressources. La caractérisation de ces trois types de division du travail peut se calculer à partir de la somme des différences (SD) et celle des différences absolues (SAD):

$$SD = \frac{\sum_i (S1Ai - S2Ai)}{S1A + S2A} \quad SAD = \frac{\sum_i |S1Ai - S2Ai|}{S1A + S2A}$$

Avec S1Ai (respectivement pour S2Ai) : le total des actions faites par le sujet S1 (respectivement pour S2) sur la ressource Ai et S1A (respectivement S2A) : le total des actions faites par le sujet S1 (respectivement S2) sur toutes les ressources.

Le SAD indique la symétrie des actions. La valeur 0 signifie que les deux acteurs font les mêmes nombres d'actions, alors que la valeur +1 signifie que toutes les actions sont faites par le même acteur, identifiable grâce au signe de SD.

La figure 7 montre les différentes divisions du travail possibles calculées à partir des valeurs 0, 1 (et -1) des variables SD et SAD.

	Sum of Absolute Differences (SAD)	
Sum of Differences (SD)	0	1
1	N / A	<p>Role</p>
0	<p>Concurrent</p>	<p>Task</p>
-1	N / A	<p>Role</p>

Figure 7 • classification de la division du travail à partir des deux indicateurs SD et SAD. (Jermann, 2004)

1.2.2. Indicateur sur l'interaction

L'indicateur *Interaction* implémenté dans la plateforme MODELLINGSPACE (Avouris *et al.*, 2003) est utilisé par les enseignants pour mesurer le taux d'activité lors de la résolution d'un problème donné. Il calcule le nombre d'actions faites dans un module d'activité, dans un intervalle de temps.

Si on considère l'intervalle $[t_0-t_m]$ associé à une session de collaboration, le temps est quantifié de la façon suivante : $t_i=t_0+i*d$, avec $d=(t_m-t_0)/n$. Soit $Interactions(k,t_i)$ le nombre d'actions effectuées dans un module k durant l'intervalle de temps $[t_{i-1}, t_i]$ avec les valeurs de k $[k, k_{max}]$ correspondant aux outils d'interaction $\{k=1 \Rightarrow \text{chat}, k=2 \Rightarrow \text{forum}, \dots\}$.

Si $Interactions(k,t_i)=0$ alors aucune action n'est faite sur le module d'activité k dans l'intervalle de temps $[t_{i-1}, t_i]$. Alors que si la valeur de $Interactions(k,t_i)$ est grande alors il y a *peut être* plus de collaboration entre les acteurs.

1.2.3. Indicateur Agent Actif (*Active Agent*)

Cet indicateur implémenté dans la plateforme MODELLINGSPACE (Avouris *et al.*, 2003) est utilisé par les enseignants pour mesurer l'activité au cours de la résolution d'un problème donné. Un acteur n'est actif que s'il interagit dans un module d'activités et dans un intervalle de temps.

L'indicateur Agent actif, présente le *nombre* des acteurs qui ont interagi *au moins* une fois dans le module k sur un intervalle de temps donné. Nous pouvons calculer cet indicateur sur chaque module d'activité. Ainsi, $Agent(k, t_i)$ donne le nombre des acteurs qui ont interagi dans le module k , et dans l'intervalle de temps $[t_{i-1}, t_i]$.

1.2.4. Indicateur associé aux actions collaboratives (*Collaborative Action function indicator CA*)

Cet indicateur implémenté dans la plateforme MODELLINGSPACE (Avouris *et al.*, 2003) est utilisé pour représenter à la fois le nombre d'actions et le nombre d'agents actifs au cours de la résolution d'un problème donné.

On calcule cet indicateur à partir de deux indicateurs précédents: $Agent(k, t_i)$ et $Interaction(k, t_i)$, sur un intervalle de temps t_i . L'indicateur CA est une somme sur l'ensemble des modules, dont les termes sont précisés par la formule suivante :

$$CA(t_i) = \sum_{k=1}^{k_{max}} Agents(k, t_i) * Interactions(k, t_i)$$

1.2.5. Indicateur sur les actions non verbales (*Non Verbal Actions NVA*)

L'indicateur NVA implémenté dans la plateforme MODELLINGSPACE (Avouris *et al.*, 2003) est utilisé par les enseignants et les chercheurs durant et après la session de collaboration et représente le pourcentage de toutes les actions non verbales sur les différents outils d'interaction.

L'idée est de calculer d'abord toutes les actions verbales (e.g. : message chat/forum, etc.), et ensuite de considéré le reste des actions comme actions non verbales.

La formule de calcul suivante considère que les seules les actions verbales sont les actions de type chat. Mais nous pouvons élargir la règle pour le reste des actions verbales:

$$NVA(t_i) = \begin{cases} \frac{\sum_{k=1}^{k \max} \text{Interactions}(k, t_i) - \text{Interactions}(\text{"Chat"}, t_i)}{\sum_{k=1}^{k \max} \text{Interactions}(k, t_i)} & \text{si } \sum_{k=1}^{k \max} \text{Interactions}(k, t_i) > 0 \\ 0 & \text{si } \sum_{k=1}^{k \max} \text{Interactions}(k, t_i) = 0 \end{cases}$$

Si $NVA \sim 0$ alors les acteurs n'utilisent que des actions verbales. $NVA \sim 1$ alors aucune action verbale n'est faite dans les outils dans l'intervalle de temps sélectionné.

1.2.6. Indicateur sur la contribution d'un acteur (*Selected Agent Contribution SAC*)

L'indicateur SAC implémenté toujours dans plateforme MODELLINGSPACE (Avouris *et al.*, 2003) est utilisé par les enseignants, les chercheurs et les enseignants pour évaluer la participation d'un acteur donné au cours de la résolution synchrone d'un problème posé.

Il s'agit du taux d'interaction d'un acteur donné (Agent) par rapport à l'ensemble des interactions pour un module d'interaction k , et sur un intervalle de temps $[t_{i-1}, t_i]$. La formule de calcul est la suivante :

$$SAC(\text{agent}, t_i) = \begin{cases} \frac{\sum_{k=1}^{k \max} \text{Interactions}(k, \text{agent}, t_i)}{\sum_{k=1}^{k \max} \text{Interactions}(k, t_i)} & \text{si } \sum_{k=1}^{k \max} \text{Interactions}(k, t_i) > 0 \\ 0 & \text{si } \sum_{k=1}^{k \max} \text{Interactions}(k, t_i) = 0 \end{cases}$$

Avec : $Interaction(k, agent, ti)$ est le nombre des actions faites par un acteur visé ($agent$) dans le module k durant l'intervalle de temps $[t_{i-1}, t_i]$.

SAC appartient à $[0, 1]$. Si $SAC = 0$ alors l'acteur n'a pas agit dans l'intervalle de temps considéré. Si $SAC=1$ alors l'acteur est l'unique intervenant dans l'intervalle de temps considéré.

1.2.7. Indicateur sur le pourcentage de participation (*Participation percentage PART*)

L'indicateur PART implémenté dans plateforme MODELLINGSPACE (Avouris *et al.*, 2003) représente le taux de participation des acteurs dans n'importe quel type d'activité.

Cet indicateur donne le pourcentage des agents qui ont agit dans l'intervalle de temps considéré. La formule de calcul est la suivante:

$$PART(t_i) = \frac{Agents(t_i)}{TotalAgents}$$

Par exemple, si $PART=0,5$ alors la moitié des agents ont interagi dans l'ensemble des modules sur un intervalle de temps. Si $PART = 0$ alors aucun acteur n'a agit dans le groupe.

Nous avons présenté dans cette première partie de l'article quelques indicateurs issus de la littérature EIAH avec leurs formules de calcul. La plupart de ces indicateurs sont implémentés dans la plateforme MODELLINGSPACE (Avouris *et al.*, 2003), et donnent des informations utiles aux chercheurs et aux enseignants. Construire ces indicateurs d'une façon simple, rapide et efficace est un besoin essentiel pour évaluer les situations d'apprentissage. Malheureusement, et comme le montre la figure 1, le calcul des indicateurs nécessite un effort important. D'un coté, la phase de sélection des données nécessite une analyse fine des données dans les sources de traçage. De l'autre, un calcul spécial est associé à chaque indicateur, ce qui oblige à redéfinir ce calcul spécial pour chaque nouvel indicateur, mais aussi pour le même indicateur dans les différentes plateformes d'apprentissage, ce qui multiplie les efforts de construction et d'implémentation.

Pour alléger cette tâche, nous proposons une formalisation des indicateurs intégrant non seulement le mode de calcul, mais surtout le modèle des traces d'activité adapté à ce calcul. Nous présentons dans la section suivante notre méthode pour calculer les indicateurs à partir des transformations des modèles de trace d'interaction.

2. Calcul des indicateurs à partir des traces d'interaction

Nous présentons dans cette deuxième partie de l'article une méthode pour calculer les indicateurs avec un système à base de traces (Settoui *et al.*, 2006) et basée sur l'ingénierie dirigée par les modèles (Nodenot, 2005). Nous expliquons dans la première section, la démarche générale de notre méthode. Nous montrons dans la deuxième section en quoi elle s'appuie sur l'ingénierie dirigée par les modèles et en quoi elle nous est utile dans notre recherche. Nous finissons par présenter dans la troisième section, les trois différents cas possibles pour calculer un exemple d'indicateur avec notre méthode et en s'appuyant sur un SBT et sur l'ingénierie dirigée par les modèles de traces.

2.1. Démarche

Dans la méthode que nous proposons, nous calculons un indicateur collaboratif à partir de transformations de modèles de traces. Cette méthode regroupe trois étapes : une collecte des données, des transformations de trace pour parvenir à la trace nécessaire de l'indicateur, et une étape de calcul. La figure 8 montre l'ordre de ces étapes :

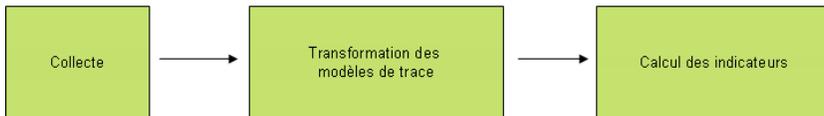


Figure 8 • Démarche globale pour calculer un indicateur/trace

Avant d'explicitier chacune de ces trois étapes, nous présentons tout d'abord le principe d'un système à base de traces (SBT) sur lequel s'appuie notre méthode.

2.1.1. Système à base de trace

Un Système à Base de Traces (SBT) (Settoui *et al.*, 2007) est proposé par l'équipe SILEX pour gérer des traces modélisées. Une trace modélisée dans un SBT est décrite par un modèle de trace et un ensemble d'instances de ce modèle, où chaque instance est située dans l'axe du temps. On appelle *extension temporelle* associée à une trace : soit un intervalle temporel délimité par deux dates, appelées dates de début et de fin de l'observation; soit une séquence d'éléments quelconques (par exemple une sous partie de l'ensemble des entiers naturels). Ainsi, on appelle *trace* une collection d'observés temporellement situés. On dénote par « *observé* » toute information structurée issue de l'observation d'une interaction.

L'architecture du SBT (Settoui *et al.*, 2006) schématisée sur la figure 9, regroupe : une base de traces modélisées (instances et modèle) ; le noyau du système offrant les outils de transformation de la trace ainsi que des modèles d'utilisation, le système de collecte construisant les traces modélisées à partir des sources de traçage, le système

de visualisation des traces modélisées calculant les représentations à partir des traces modélisées selon les besoins des utilisateurs.

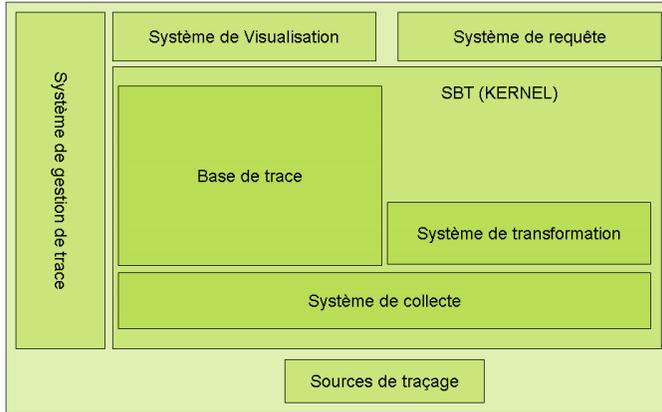


Figure 9 • Architecture du SBT

Le gestionnaire des traces modélisées (M-Traces) ajoute et supprime des traces, définit les droits d'accès, et gère le graphe d'évolution des traces modélisées. Un système de requêtes permet d'interroger la base des M-Traces et de récupérer des informations adaptées aux besoins des utilisateurs. Une *transformation d'une trace modélisée* est 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. La figure 10 montre un exemple d'une transformation de trace. Nous pouvons par exemple fusionner deux traces, le résultat est une trace qui regroupe les instances des deux anciennes traces. Nous pouvons par la suite réécrire le modèle de la trace résultat, faire des sélections sur les instances, etc. Nous détaillons plus loin dans cet article les opérateurs sur les M-Traces que nous proposons pour calculer les indicateurs.

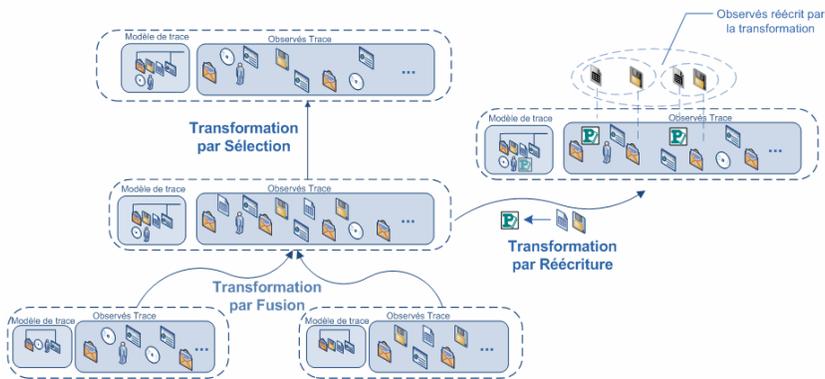


Figure 10 • Exemple de transformation de M-Traces

2.1.2. La collecte

La collecte des données consiste à sélectionner les données pertinentes dans les sources de traçage. La sélection respecte la structure du modèle de la trace première. La collecte dépend des plateformes d'apprentissage, et précisément, du modèle de la trace première qui oriente la collecte. Le modèle de la trace première identifie les différents puzzles à collecter dans les différentes sources de traçage.

Nous proposons dans cette phase des modèles de collecte orientés activité collaborative, et nous collectons tous les observables qui peuvent nous informer sur le comportement collaboratif des apprenants. Nous présenterons dans la section 3, un exemple de modèle de trace première pour des activités collaboratives sur la plateforme Moodle.

2.1.3. Les transformations des modèles de trace

Dans cette phase, nous partons de la trace première, et nous proposons des séquences de transformations grâce à des opérateurs de transformation de modèle (nous détaillons ces opérateurs dans la section 3 de l'article). Ces opérateurs modifient le modèle ou les instances de ce modèle. Dès que l'indicateur est calculé, nous pouvons faire un retour arrière et modifier la séquence de transformations au cas où le modèle change. Nous sommes ici au cœur du SBT. La figure 11 montre un exemple de séquence de transformations à partir de la trace première. L'exemple illustre le passage de la trace première vers la trace associée à l'indicateur que nous voulons calculer. Cet exemple montre l'utilisation de quelques opérateurs simples comme la sélection, la réécriture et la fusion.

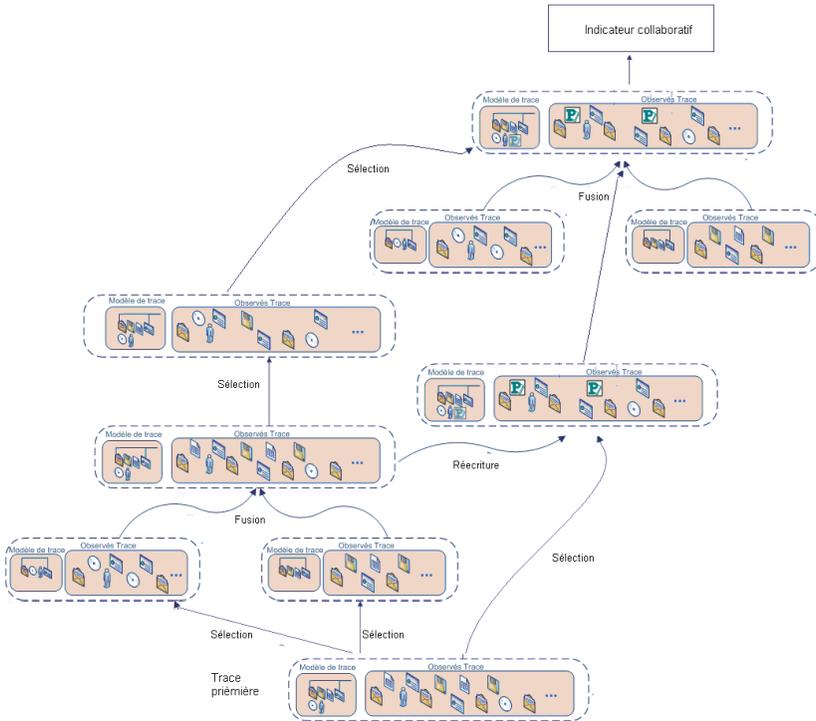


Figure 11 • Transformer la trace première à l'aide d'une séquence de transformations. La transformation est orientée vers le calcul des indicateurs.

Nous n'avons montré dans cet exemple que le fonctionnement et les résultats attendus de ces opérateurs sans viser à calculer un vrai indicateur EIAH. Nous donnons dans la partie trois de l'article des exemples concrets sur les transformations, les opérateurs et les indicateurs à calculer à partir de transformation de traces. Ainsi, nous proposons dans cette phase une bibliothèque de modèles pour les traces transformées, où nous associons à chaque modèle de trace, sa transformation. Nous pouvons alors réutiliser les transformations pour générer d'autres modèles de M-Traces et donc, d'autres indicateurs (M-Traces finales recherchées).

2.1.4. Le calcul des indicateurs

Proposition

Notre proposition est d'associer à chaque indicateur « I » un modèle de trace permettant son calcul direct. Nous définissons un indicateur I par:

$$I = \{R_I, MT_{R_I}\}$$

Avec : R_I : la règle de calcul, MT_{R_I} : le modèle de la trace permettant le calcul.

La figure 12 explique cette proposition, où nous associons à un indicateur collaboratif $Indicateur(I)$, une trace $Trace(I)$. La trace $Trace(I)$ est un modèle de trace MT_{R_I} et ses instances. Le passage de la trace $Trace(I)$ vers la valeur de l'indicateur se fait à l'aide d'une règle de calcul R_I . Par exemple, on peut calculer l'indicateur « *Agent Actif* » à partir d'une règle de calcul qu'on nomme $R_{AgentActif}$. La règle de calcul s'applique sur un modèle de trace pour cet indicateur et qu'on nomme $MT_{AgentActif}$.

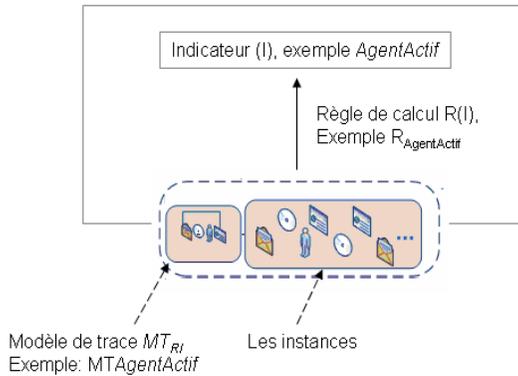


Figure 12 • Associer à chaque indicateur un modèle de trace permettant le calcul

2.2. L'ingénierie dirigée par les modèles

Un modèle dans (Seidwitz, 2003) est défini comme « *A set of statements about some system under study* ». Une autre définition dans (Bézivin et Gerbé, 2001) définit un modèle comme « *A simplification of a system built with an intended goal in mind. The model should be able to answer questions in place of the actual system* ».

Un modèle (Nodenot, 2005) est une *description* ou une *prescription* de tout ou partie d'un système à partir d'un langage clairement défini. Dans le cas de la description, le modèle qui décrit ce système est correct si ses caractéristiques et son comportement évoluent dans le temps de la même manière que le système réel. Alors que dans le cas de la prescription des systèmes à développer, le système est considéré comme valide si aucune caractéristique du modèle n'est contradictoire avec le système résultat. Et pour décrire les modèles, on utilise des méta-modèles. Un méta-modèle est le modèle qui définit le langage qui exprime le modèle visé (OMG, 2002).

Dans les EIAH, on utilise les modèles en particulier pour :

- Etudier le comportement d'un apprenant : l'idée est de construire des modèles cognitifs à partir de l'observation du comportement d'un apprenant qui utilise un

EIAH. Ces modèles sont appelés « modèles de l'apprenant » (Webber, 2003) et (Girard et Johnson, 2007) ;

- Etudier les interactions épistémiques médiées par ordinateur. On nomme alors ces modèles : modèles d'interaction (Becker *et al.*, 2001) ;

- Décrire les traces d'interaction des acteurs dans des environnements d'apprentissages. Ces derniers modèles sont appelés « modèles de trace » (Mille et Prié, 2006) ;

- etc....

L'ingénierie dirigée par les modèles en EIAH, inspirée du génie logiciel, a comme but de se focaliser sur les transformations apportées sur les modèles (selon leurs contexte d'utilisation), et non pas sur le code source du système, ce qui diminue largement l'effort des concepteurs, des enseignants, des chercheurs,... où tout le travail se capitalise sur les transformations des modèles qui prescrivent les systèmes et non pas sur les systèmes eux-mêmes. Outillées par des environnements de construction et de transformation de modèles, ces opérations peuvent être rendues accessibles aux utilisateurs du système à tracer, ce qui leur confère une bien plus grande flexibilité et adaptabilité aux besoins sans cesse renouvelés.

Par exemple, et dans l'ingénierie dirigée par les modèles pour les situations d'apprentissage en EIAH, on donne plus de poids à l'enseignant pour concevoir les EIAH. Plusieurs processus de type ingénieuriste pour définir les objets pédagogiques s'appuyant sur les standards définis en EIAH permettent d'adresser de diverses manières les plateformes de formation. À ce stade, on distingue deux grandes approches pour définir les objets pédagogiques : l'approche *documentaire* qui repose sur les standards LOM (LOM, 2001) et SCORM (ADL, 2004), et l'approche par *scénario* qui repose sur le standard IMS-LD (Laforcade, 2004), et peut être abordée par exemple via une méthode d'ingénierie pédagogique cognitiviste comme la méthode MISA qui est une méthodologie de conception pédagogique basée sur l'ingénierie des connaissances (Paquette, 2004).

Nous considérons que notre travail est directement lié à l'ingénierie dirigée par les modèles. En effet, la méthode de calcul de l'indicateur que nous proposons suppose d'une part la conception d'un modèle (de M-Trace) et d'autre part une séquence de transformations permettant de passer du modèle de la trace première au modèle de l'indicateur. Les différents opérateurs de comparaison et de transformation disponibles dans le SBT nous dispense ainsi d'un passage fastidieux et *ad hoc* par les détails de codage. C'est ce qui constitue l'essentiel de la contribution de cet article dans le calcul des indicateurs par rapport aux méthodes actuelles.

2.3. Ingénierie des indicateurs dirigée par les modèles de traces

Avec les méthodes traditionnelles (Fig. 13) et comme nous l'avons aussi expliqué dans la section 1.1, les données sont préparées avant d'être traitées par un calcul spécial pour obtenir un indicateur. Chaque indicateur a donc besoin d'un calcul spécial (dépendant aussi de la plateforme). Ainsi, lors d'un changement (ou évolution) de la plateforme, ce même calcul spécial peut nécessiter un nouvel effort de codage. Nous sommes ainsi, devant la difficulté de recoder à chaque fois les étapes « Préparation des données » et « Calcul spécial » (Fig. 13) pour chaque nouvel indicateur, et ce, pour chaque plateformes d'apprentissage souhaitant utiliser cet indicateur.

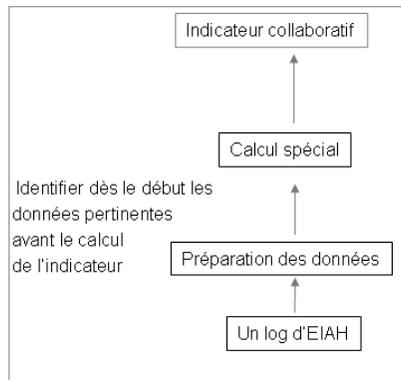


Figure 13 • Calcul ad-hoc d'un indicateur

C'est ici que l'ingénierie dirigée par les modèles de trace intervient, où nous proposons l'évolution de la transformation de modèle de trace dans un système à base de trace. La méthode que nous proposons calcule un nouvel indicateur à partir d'une séquence de transformations de modèle de trace sans passer par un calcul spécial, ni par son recodage, puisque les opérations de transformation s'appliquent directement sur des modèles et non pas sur les données. Nous sommes dans un niveau abstrait, et proposons les étapes suivantes pour calculer un indicateur avec un SBT :

Etape 1 : Pour construire un nouvel indicateur « I » dans le SBT, nous proposons de définir un modèle de trace « I » ainsi que sa règle de calcul $F_I(x_i)$, paramétrée par l'ensemble des variables x_i , nécessaires au calcul de l'indicateur. Au départ, il n'existe aucune instance associée au modèle de l'indicateur, puisqu'il est en cours de définition. Dans cette étape de construction du modèle (Fig. 14) dans le SBT, nous associons à ce nouveau modèle, un ensemble vide d'instances avant de passer à l'étape suivante.

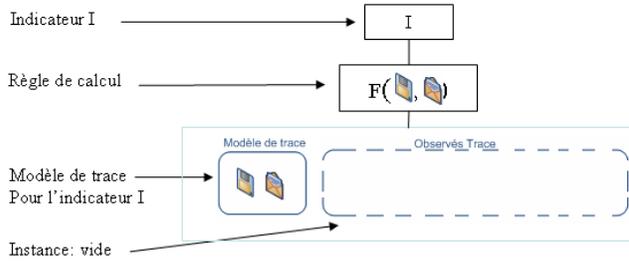


Figure 14 • Proposer un modèle de trace pour un nouvel indicateur « I »

Etape 2 : Dans cette deuxième étape, l'utilisateur propose une séquence de transformations de modèles de trace. Identifier une séquence de transformations pour l'indicateur « I » permet de faire le passage de la trace première modélisée vers le modèle de l'indicateur « I ». Nous sommes toujours au niveau des transformations abstraites sur les modèles, sans passer par la génération des instances. Les opérateurs du SBT permettent de bâtir cette séquence. La figure 15 permet d'illustrer le principe de construction d'une séquence de transformations et montre ainsi la relation entre le modèle de la trace première et celui de l'indicateur. Des exemples concrets utilisant les opérateurs que nous aurons alors définis, sont présentés dans la section 3.

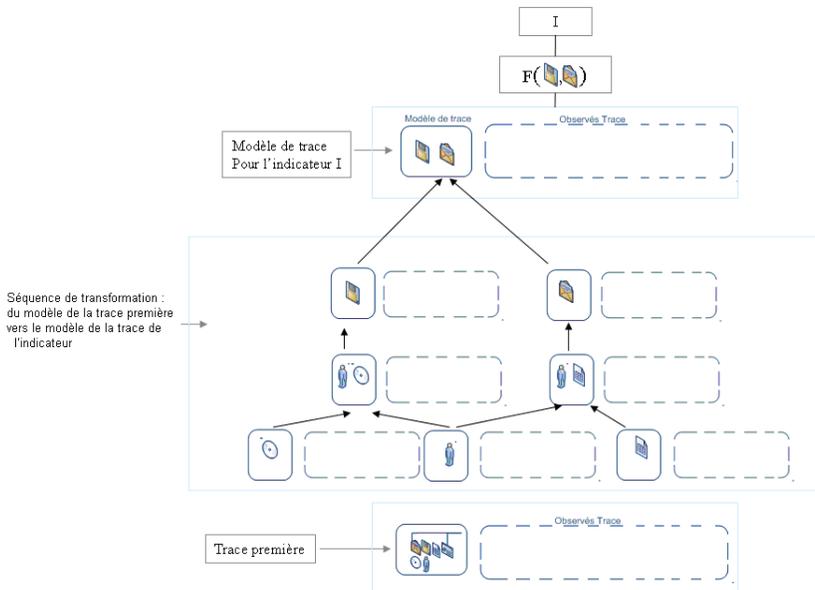


Figure 15 • Proposer une transformation de la trace première pour arriver au modèle de l'indicateur « I »

Étape 3 : cette troisième étape nommée « préparation des données » permet de générer les différentes instances du modèle de la trace première. Le résultat de cette étape est une trace première (Modèles et instances). C'est l'étape nécessaire de la collecte des données. Elle respecte le modèle de la trace première mais dépend aussi de la plateforme d'apprentissage et des différentes sources de traçages offertes par la plateforme. La figure 16 illustre un exemple de collecte des données pour une trace première. Nous pouvons remarquer que la trace première ne contient aucune instance avant la collecte. Après la collecte nous aurons une trace première avec un ensemble d'instances non vide.

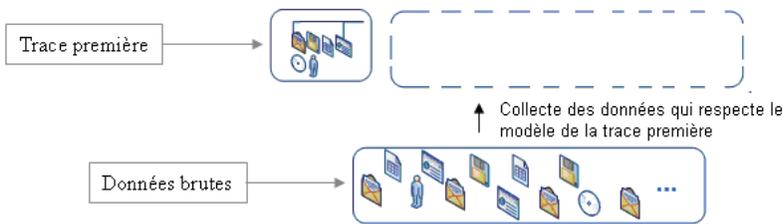


Figure 16 • Préparation des données: instancier le modèle de la trace première

Étape 4 : C'est la dernière étape et qui consiste à exécuter la séquence de transformations (définie dans l'étape 2) sur la trace première (instanciée à l'étape 3) dans le but d'instancier tous les modèles intermédiaires générés par la séquence de transformations. Le résultat de cette étape nous donne la trace de l'indicateur « I » avec les instances de ce modèle. La figure 17 illustre l'exécution de la séquence de transformations sur la trace première. Les instances de la trace de l'indicateur « I » ainsi obtenues servent de données d'entrée à la fonction « F_I » (règle de calcul de l'indicateur) qu'il suffit d'appliquer pour obtenir la valeur de l'indicateur « I ».

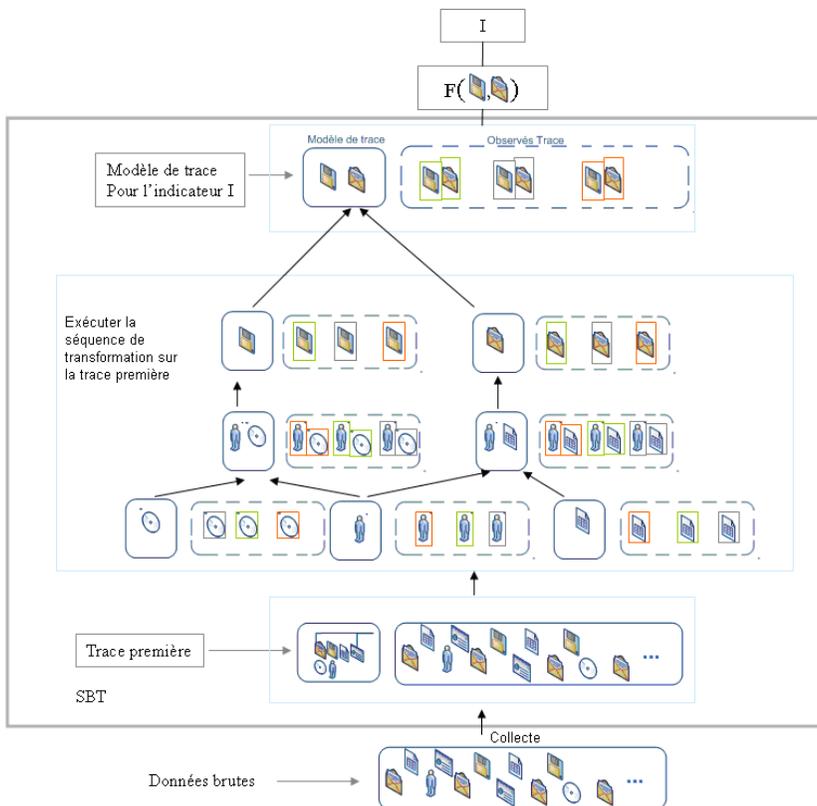


Figure 17 • Exécuter la séquence de transformations sur la trace première. Nous avons ici les quatre étapes regroupées : de la collecte au calcul de l'indicateur « I »

Avec la méthode que nous proposons et avec les transformations sur les modèles (ingénierie dirigée par les modèles de traces) l'effort pour calculer un indicateur diminue largement. Les transformations des modèles minimisent cet écart entre les indicateurs et les sources de traçage, et avec l'ingénierie dirigée par les modèles de trace, nous nous focalisons sur les transformations des modèles, et non pas sur le calcul spécial associé pour chaque indicateur EIAH. La figure 18 compare le calcul d'un indicateur avec les méthodes ad hoc (que nous avons présentées précédemment), et le calcul d'un indicateur avec notre méthode. Nous pouvons remarquer que nous sommes sortis du cas traditionnel où les chercheurs passent par le calcul spécial spécifique à l'indicateur, vers toute une ingénierie basée sur les transformations des modèles de traces d'interactions.

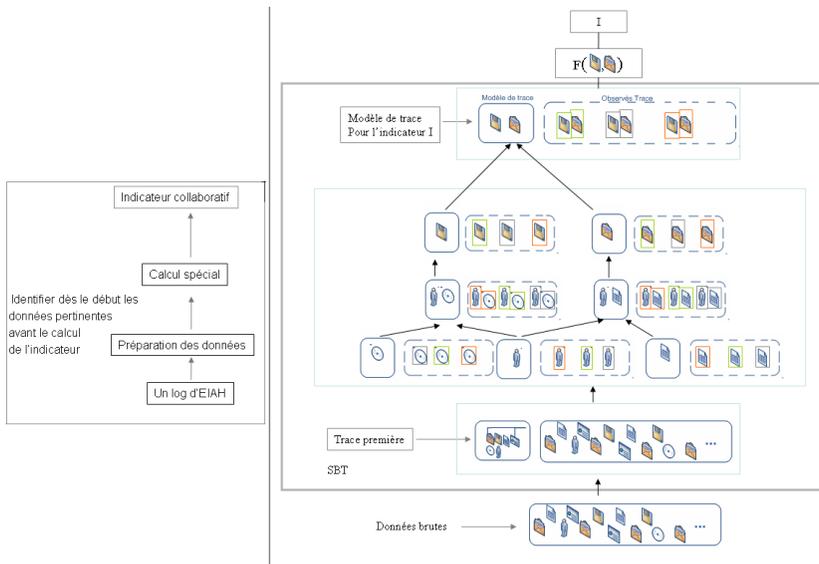


Figure 18 • Comparaison entre le calcul ad-hoc d'un indicateur et notre méthode orientée transformation de modèles de traces.

Pour illustrer le bénéfice rendu par notre méthode, s'appuyant sur l'ingénierie dirigée par les modèles, nous montrons comment créer un indicateur dans trois cas prototypes : (1) créer entièrement un nouvel indicateur, (2) créer un deuxième indicateur en modifiant légèrement un indicateur existant et (3) réutiliser un indicateur existant pour l'adapter à une nouvelle plateforme.

2.3.1. Premier cas : Calcul d'un premier indicateur dans un SBT à partir d'une plateforme visée.

Il s'agit de calculer le premier indicateur dans le SBT, par exemple : l'indicateur « l'agent actif sur une activité médiée par Moodle ». Comme il s'agit d'un premier calcul, nous proposons de suivre la méthode composée des quatre étapes que nous venons de présenter: (1) proposer un modèle de trace pour cet indicateur, (2) définir la séquence de transformations associée, (3) organiser la collecte des données, et enfin (4) instancier des différents modèles issues de la transformation. La figure 19 montre un exemple de construction complète de l'indicateur « Agent Actif » sur la plateforme Moodle. Nous pouvons voir la souplesse de notre méthode et le passage des données brutes vers la valeur de l'indicateur, sans passer par un calcul spécial pour cet indicateur.

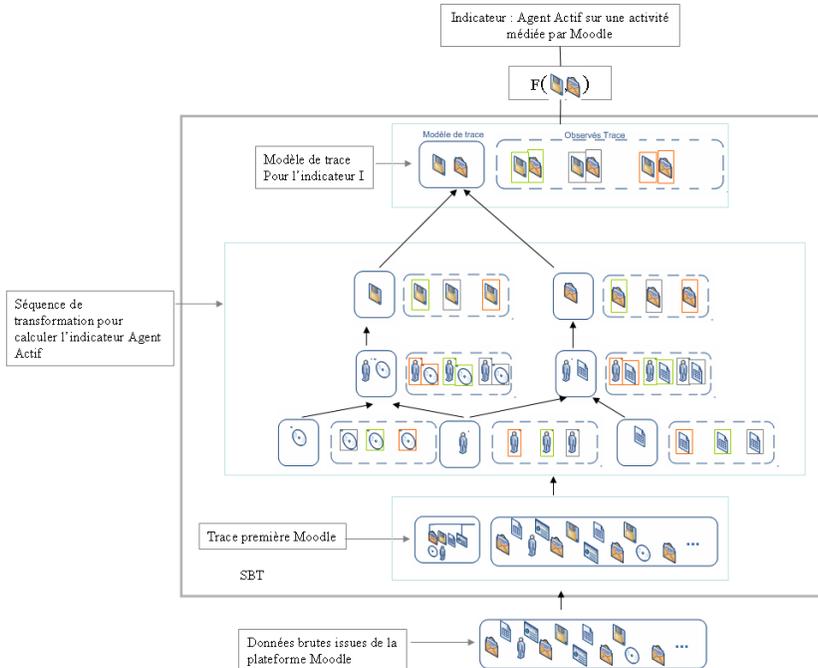


Figure 19 • Construction d'un nouvel indicateur dans un SBT, exemple : Agent actif pour une activité médiée par la plateforme Moodle.

2.3.2. Deuxième cas : calcul d'un nouvel indicateur à partir d'une séquence de transformations qui existe dans la bibliothèque de transformations pour la même plateforme visée.

Principe:

Il s'agit de calculer un nouvel indicateur qui n'existe pas sur le SBT, par exemple l'indicateur « La division du travail dans Moodle ». mais il ne s'agit pas du premier indicateur conçu avec cette plateforme. Cela signifie simplement que nous avons déjà construit des indicateurs dans le SBT et nous avons sauvegardé dans une bibliothèque les différentes transformations associées pour chaque modèle d'indicateur calculé. Le principe dans ce deuxième cas diffère du premier par la réutilisation d'une séquence de transformations définie pour un indicateur préexistant dans le SBT, et donc disponible dans la bibliothèque de transformations.

Etapes :

- Proposer un modèle de trace pour ce nouvel indicateur. Les instances de ce modèle de trace fournissent les données qui serviront d'entrée pour la règle de calcul

définissant la valeur de l'indicateur. Nous prenons comme exemple : proposer un modèle de trace pour l'indicateur « Division du travail » dans Moodle.

- Chercher dans la bibliothèque des modèles d'indicateurs, un modèle de trace d'indicateur proche de ce nouveau modèle. Par exemple, nous supposons que le modèle de l'indicateur « Agent actif », créé dans l'illustration du premier cas, est proche dans sa structure de celui de l'indicateur « Division du travail ». Les mesures de similarité entre les modèles est un autre effort, que ne nous l'aborderons pas dans cet article.

- Modifier la séquence de transformations associée au modèle sélectionné (Ex : Agent Actif). Cette modification permet de réutiliser la séquence de transformations associée à un ancien modèle l'indicateur qui existe dans le SBT, pour déduire la transformation associée au nouvel indicateur visé. Le résultat de cette étape est une nouvelle séquence de transformations pour le nouvel indicateur visé, basée sur une séquence préalablement enregistrée dans le SBT.

- Dans ce cas, nous n'avons pas besoin de construire la trace première, puisque elle existe déjà dans le SBT, ce qui nous évitera la coûteuse étape de la collecte. Il est possible aussi et dû aux mesures de similarité entre les deux séquences de transformations, de ne pas modifier une partie de la séquence de transformations (du coté trace première), puisque nous nous sommes basés sur l'hypothèse que les deux modèles et leurs séquences de transformations (l'ancienne que nous avons choisie, et la nouvelle que nous voulons construire) sont proches. L'intérêt de notre méthode dans ce cas, est la possibilité de réutiliser des séquences de transformations dans la bibliothèque des modèles pour construire des nouvelles séquences, permettent la réutilisation des modèles de trace.

- Exécuter la nouvelle séquence de transformations pour calculer les instances du nouveau modèle visé. Nous prenons toujours l'exemple de l'indicateur « Division du travail » et sa séquence de transformations que nous construisons à partir de celle du modèle de l'indicateur « Agent actif ».

La figure 20 explique ces étapes. Nous pouvons remarquer qu'avec une forte chance nous ne modifions qu'une partie d'une ancienne séquence de transformations (la partie supérieure de la séquence, celle en zone hachurée dans la figure 20) pour déduire le nouveau modèle.

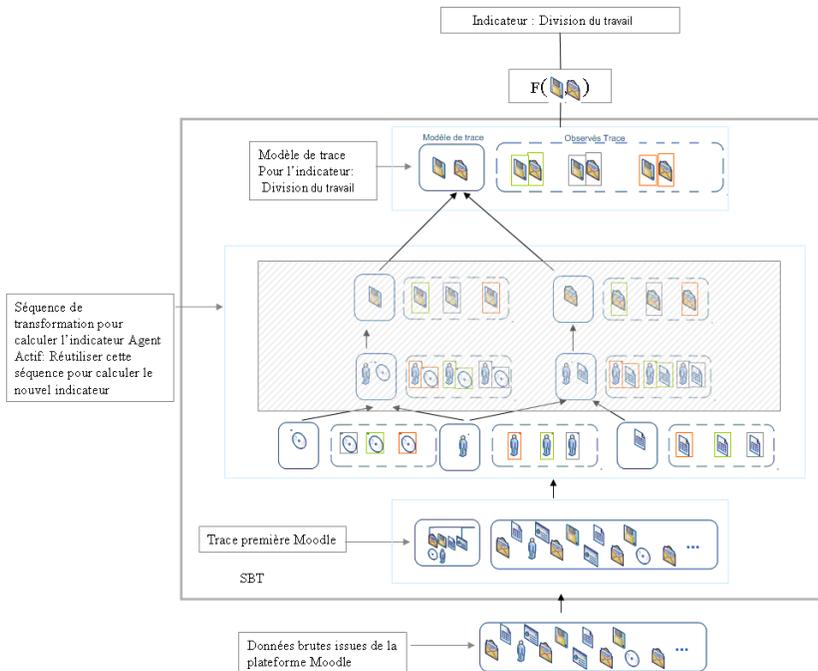


Figure 20 • Calcul d'un nouvel indicateur « division du travail » dans le SBT à partir d'une séquence qui existe dans la bibliothèque de modèles, issue de l'indicateur « Agent actif » par rapport à la trace première Moodle.

Nous remarquons aussi dans cette figure que les transformations, la trace première et la trace de l'indicateur sont tous dans le SBT, alors que le calcul de la valeur de l'indicateur ainsi que les données brutes sont à l'extérieur du SBT, ce qui donne aussi l'intérêt d'utiliser un SBT pour calculer les indicateurs. Le SBT devient comme une fonction qui a comme entrée les données brutes, et comme sortie la valeur de l'indicateur. À l'intérieur du SBT, il y a toutes les transformations (dirigées par les modèles de traces) pour calculer la valeur de l'indicateur visé.

2.3.3. Troisième cas : Calcul d'un indicateur qui existe dans le SBT à partir d'une nouvelle plateforme d'apprentissage

Dans ce troisième cas, nous calculons un indicateur qui existe dans le SBT, et avec une autre plateforme d'apprentissage. Comme le SBT est indépendant des plateformes d'apprentissages, nous essayons cette fois de générer les valeurs d'un indicateur construit précédemment pour une autre plateforme d'apprentissage. Par exemple nous avons construit la séquence de transformations de l'indicateur « Agent Actif » sur la plateforme Moodle, et nous choisissons cette fois de reconstruire le même indicateur mais sur la plateforme WebCT. Dans ce cas, nous avons le modèle de

l'indicateur que nous voulons calculer ainsi que sa séquence de transformations qui n'est pas réutilisable directement, et qui nécessite quelques modifications.

Etapes :

- Chercher le modèle de l'indicateur que l'on veut calculer dans la bibliothèque des modèles, par exemple le modèle de l'indicateur « Agent Actif »,
- Charger la séquence de transformations associée à cet indicateur,
- Comme la plateforme d'apprentissage change, nous savons que la trace première change, puisqu'elle est liée aux différentes activités offertes par la plateforme d'apprentissage. Ainsi, nous sommes devant l'obligation de modifier la partie inférieure de la séquence de transformations (du côté trace première) sans modifier toute la séquence. Comme le montre la figure 21, on ne modifie que la partie inférieure sélectionnée (hachurée sur la figure 21). Sur cette figure, nous avons repris l'exemple précédent de l'indicateur « Agent Actif » dans Moodle, et nous suggérons de modifier une partie et non pas toute la séquence pour générer la valeur de l'indicateur. La règle de calcul de l'indicateur reste inchangée. Cette stratégie permet et grâce à un SBT de s'adapter aux différentes plateformes d'apprentissages, ce qui donne la puissance de la méthode que nous proposons.

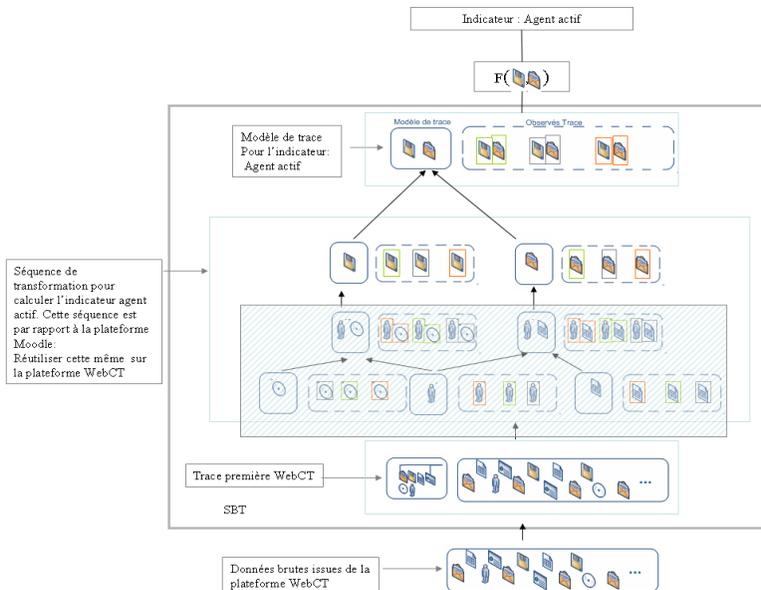


Figure 21 • Calcul d'un indicateur (« Agent actif » pour WebCT) à partir d'un indicateur existant (« Agent actif » pour Moodle) pour une nouvelle plateforme.

Nous avons présenté dans cette partie, une méthode pour calculer les indicateurs à partir des transformations des M-traces basée sur l'ingénierie dirigée par les modèles de trace. Nous avons distingué trois possibilités : un nouvel indicateur dans une plateforme visée ; un nouvel indicateur que nous construisons à partir de la bibliothèque des modèles et toujours dans la plateforme visée ; et un indicateur qui existe dans le SBT dans une nouvelle plateforme d'apprentissage.

Nous présentons dans la section suivante, une mise en œuvre de cette méthode sur une étude de cas bien précise sur la plateforme Moodle.

3. Mise en œuvre

Nous allons présenter dans cette troisième partie de l'article, l'implémentation des différentes étapes présentées dans les sections précédentes : le SBT, les opérateurs de transformations, et les séquences de transformations sur les modèles de trace. Le système à base de trace implémenté vise la plateforme Moodle (Moodle, 2008), mais son architecture est par nature ouverte aux autres plateformes d'apprentissage.

Nous avons implémenté les trois différentes étapes : Collecte, transformations, et calcul des indicateurs dans un SBT implémenté. Le SBT implémenté permet : d'instancier à partir des données Moodle, le modèle de trace que nous allons présenter dans la section suivante ; de transformer la trace première avec des opérateurs de transformations génériques, pour construire des M-traces ; de calculer les indicateurs de collaboration.

Nous présentons dans les sections suivantes (1) la collecte des données en l'illustrant sur la plateforme Moodle pour générer une trace première, (2) les séquences de transformations de cette trace première avec des opérateurs génériques, et nous proposons des modèles pour quelques indicateurs. Nous expliquons enfin comment aboutir aux valeurs de ces indicateurs avec notre méthode.

3.1. La collecte pour les activités collaboratives

Nous proposons dans cette phase une collecte spécialisée des différentes activités d'apprentissage collaboratif. Nous nous intéressons aux activités synchrones et asynchrones, où les acteurs travaillent ensemble sur les mêmes ressources. Nous visons comme ressources : le Chat, les Wikis, les forums de discussion, les ressources texte, et les échanges de type : messages privés.

3.1.1 Exemple sur Moodle

Dans un travail préliminaire (Djouad, 2008), nous avons définis un modèle pour une trace première Moodle. Nous avons amélioré et généralisé ce modèle pour les activités collaboratives utilisant les ressources que nous venons de citer. Il a été éten-

du pour prendre en compte les actions supplémentaires concernant la gestion des contacts représentée par les 4 dernières actions du modèle de la figure 22) pour étoffer les informations disponibles aux chercheurs qui souhaitent expliquer le comportement collaboratif des apprenants en s'appuyant sur les valeurs des indicateurs générés.

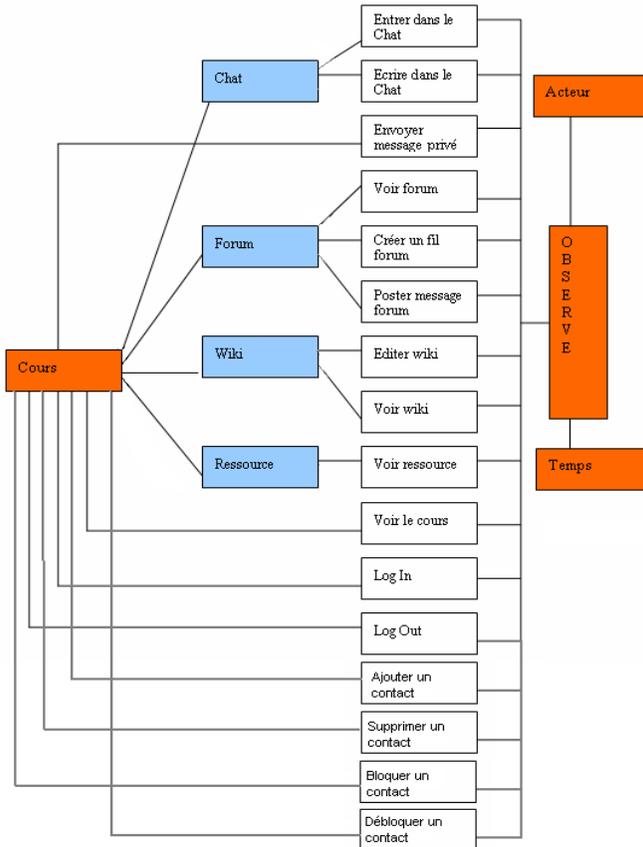


Figure 22 • Modèle de la trace première pour Moodle

Nous proposons à l'utilisateur de notre outil la possibilité de choisir ce qu'il collecte selon ses besoins. Ce choix de la collecte dépend des modèles de trace que l'utilisateur souhaite construire pour calculer son indicateur. Par rapport à Moodle, l'outil se connecte à la base de données Moodle, importe les données nécessaires, et instancie le modèle de trace dans un format OWL qui respecte la syntaxe de parseur Jena (Jena, 2007). Le choix de la collecte se fait avec une interface graphique (Fig. 23), où l'utilisateur peut choisir ce qu'il veut collecter : c'est une collecte paramétrée selon le besoin. Comme l'illustre la figure 23, la boîte de dialogue fournit la

liste des actions à collecter. Ici, l'utilisateur choisit de ne collecter que 5 des 18 actions possibles. Les plugins de collecte récupèrent les données des sources de traçage et instancient le modèle de la trace première. Le résultat de cette collecte paramétrée est une trace OWL.

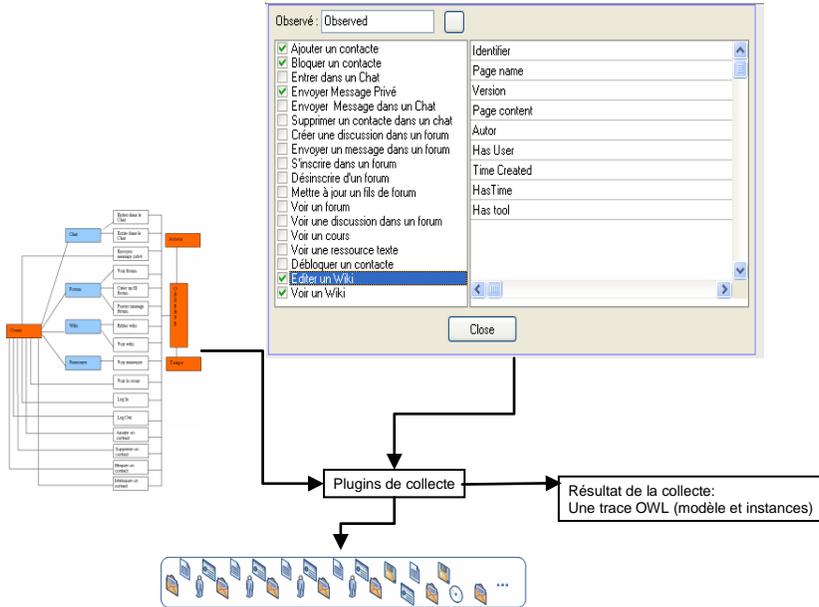


Figure 23 • Interface de choix des observables à collecter.

3.2. Les opérateurs de transformations du SBT implémenté

Nous proposons une collection d'opérateurs sur les traces permettant de faire des transformations génériques et indépendantes des plateformes de collaboration, puisque les opérateurs utilisent comme point de départ la trace première, qui est une abstraction des données de traçage issues des plateformes de collaboration. Nous classons ces opérateurs en trois classes présentées dans les sections 3.2.1, 3.2.2 et 3.2.3.

3.2.1. Des opérateurs qui ne modifient pas le modèle de trace

Ce sont les opérateurs qui ne modifient pas le modèle, mais seulement les instances de la trace. Cette classe regroupe les opérateurs suivants : le matching, la sélection et la fusion de 2 instances.

3.2.1.1. Le Matching

Cet opérateur identifie une séquence d'observés selon la structure d'un motif (une signature de tâche). La recherche de la signature est basée sur un algorithme proposé par (Mille *et al.*, 1999). L'opérateur s'utilise de la manière suivante:

$$\text{TraceX} := \text{Matching}(\text{signatureA}) [\text{TraceY}] ;$$

Où *TraceX* est la trace résultante, *SignatureA* est la signature ou le motif utilisé pour définir le critère de notre recherche, tandis que *TraceY* est la trace source dans laquelle sont recherchés les épisodes correspondant à la signature.. Par exemple, nous pouvons dire qu'une entrée *effective* dans un chat est une séquence d'actions de type : « entrer dans un chat: ChatEnter » suivie par « écriture dans cette ressource de chat: ChatWriteMessage ». La figure 24 illustre cet exemple de matching permettant d'identifier les entrées effectives à partir de la trace première à l'aide d'une signature de type (ChatEnter, ChatWriteMessage). Si par exemple A=ChatEnter et B= ChatWriteMessage, X et Y des observés de type quelconque. Et si on considère la séquence d'observés XYXYXYXYXYXYAYXYXAYXYXXBXYXYXYX en entrée avec un matching (A,B), le résultat est la séquence AB (le deuxième A à droite).

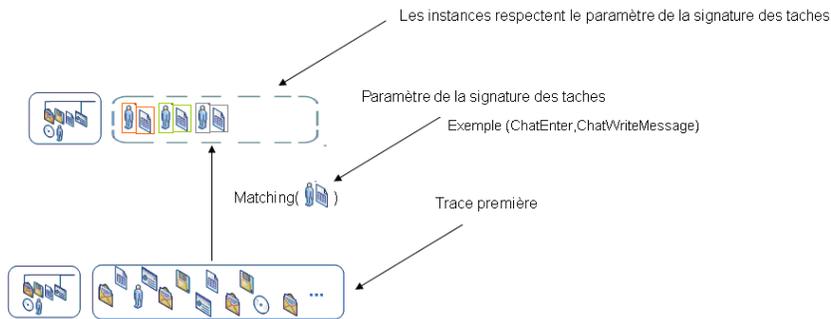


Figure 24 • Exemple d'un Matching

3.2.1.2. La sélection

Cet opérateur sélectionne une partie d'une instance. Les critères de la sélection sont : le temps, le type d'observé, l'outil associé à l'observé, ou l'acteur associé à l'observé. L'opérateur s'utilise de la manière suivante:

$$\text{TraceX} := \text{Sélection}(\text{Critère})[\text{TraceY}].$$

Où *TraceX* est la trace résultante, *Critère* est une expression logique basée sur les attributs généraux d'une instance, tandis que *TraceY* est l'instance source dans laquelle sont sélectionnés les observés vérifiant le critère de sélection. La figure 25 illustre comment sélectionner tous les observés associés à un ActeurX à partir de la trace première:

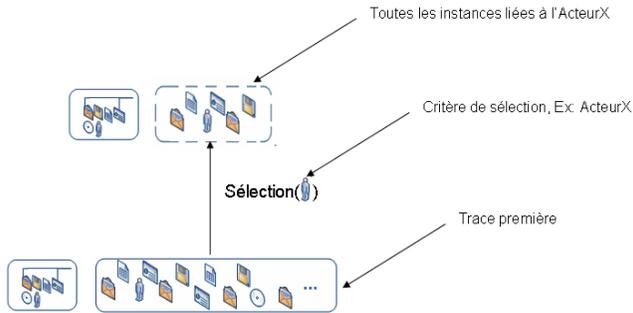


Figure 25 • Exemple d'une sélection

3.2.1.3. La fusion de deux instances de trace :

Cet opérateur concatène deux instances de traces sources (TraceX et TraceY) dans une nouvelle instance (TraceZ). La fusion est une fusion ensembliste des observés des deux traces. l'opérateur est la suivante :

$$\text{TraceZ} := \text{fusion}(\text{TraceX}, \text{TraceY})$$

Pour illustrer l'utilisation de cet opérateur sur la figure 26, nous considérons d'une part les courriels envoyés et d'autre part les courriels enregistrés par un ActeurX. Nous pouvons regrouper ces deux traces avec une fusion:

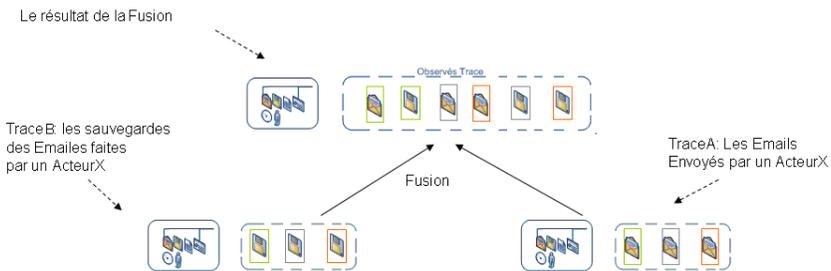


Figure 26 • Exemple d'une fusion de deux traces

3.2.2. Des opérateurs qui modifient un modèle de trace

Ces opérateurs modifient la structure du modèle. Le modèle de trace est structuré en plusieurs classes (Djouad, 2008). Nous proposons ici les deux opérateurs suivants : la réécriture du modèle et l'élagage du modèle.

3.2.2.1. La Réécriture du modèle

Cet opérateur réécrit le nom d'une classe, ou d'un attribut qui appartient à une classe dans un modèle. La réécriture s'applique aussi sur les instances. L'opérateur s'utilise de la manière suivante:

$\text{Modele_X.NomClass1} := \text{Réécriture}(\text{ModeleX.NomClass1})$.

Cet opération est illustrée sur la figure 27 où l'on change le nom de la classe « Enregistrer » de l'ancien modèle d'une trace par le nom « Sauvegarder » :

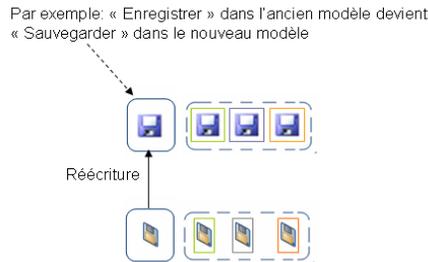


Figure 27 • Exemple d'une réécriture

3.2.2.2. *Elagage de modèle*

Cet opérateur supprime des classes ou des attributs de classe dans un modèle. On donne comme paramètre, la liste des classes à laisser dans le modèle. L'opérateur s'utilise de la façon suivante :

$\text{TraceX} := \text{Elagage}(\text{TraceY}, (\text{Liste des classes ou attributs à garder}))$.

La figure 28 donne un exemple d'élagage où seuls les attributs du modèle source sont conservés dans le modèle résultant.

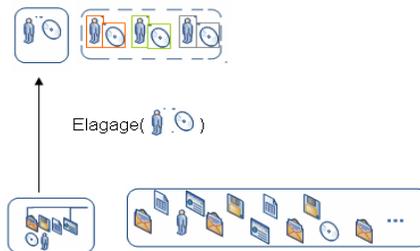


Figure 28 • Exemple d'un élagage

3.2.3. Les opérateurs orientés calcul d'indicateurs.

Nous proposons aussi deux opérateurs (Compter et Trier) utilisés pour calculer les indicateurs. Mais ces opérateurs ne sont pas dans le SBT, ils permettent cependant de construire la fonction de calcul à partir de la trace modélisée (obtenue en sortie du SBT).

- **Compter** (Count): qui compte le nombre des instances dans une trace est illustré sur la figure 29. Le résultat est un nombre entier positif ou nul.

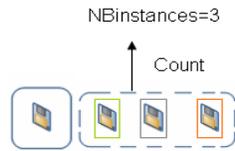


Figure 29 • Exemple d'utilisation de l'opérateur « Compter »

- **Trier** : qui permet de trier une instance selon le temps, les types d'outils, les types des observés.

3.3. Illustration des transformations dans le SBT Moodle

Dans notre SBT implémenté, nous avons inclus les différents opérateurs cités dans la section 3.2. La figure 30 présente l'opérateur de sélection avec comme critère de sélection : « entrer dans un Chat : ChatEnter ». Nous trouvons dans l'interface de l'outil : la trace première Moodle (à gauche), les paramètres de l'opérateur de sélection (au milieu), et la trace résultat (à droite). La trace résultat contient tous les observés de type entrer dans un chat, issus de la trace première.

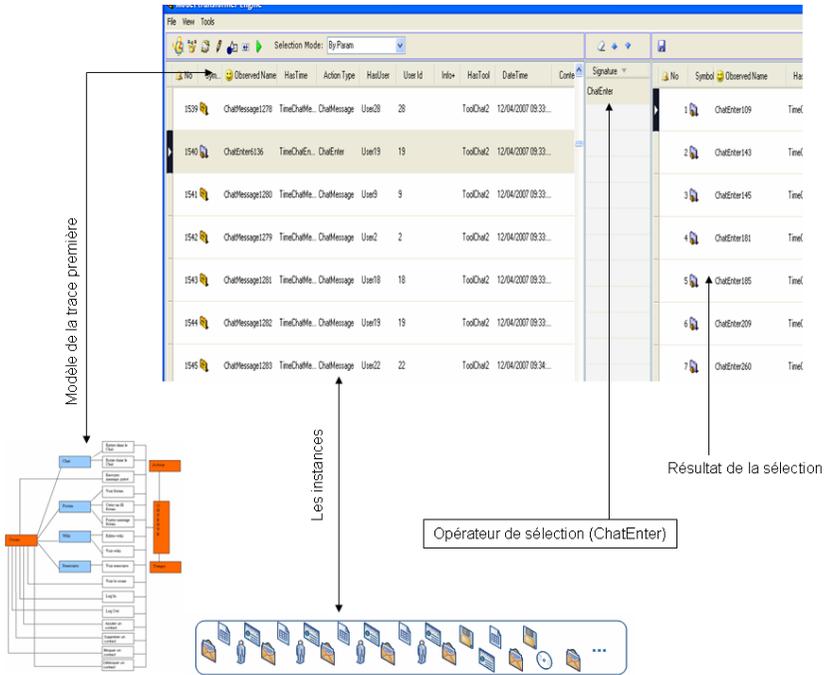


Figure 30 • L'opérateur de sélection sur une M-trace Moodle.

La figure 31 présente quant à elle un exemple d'utilisation de l'opérateur de Matching sur une trace Moodle. Dans l'exemple, la signature des tâches contient les observés de type « écrire un message privé » et « écrire dans un chat » (PrivateMessage, ChatMessage).

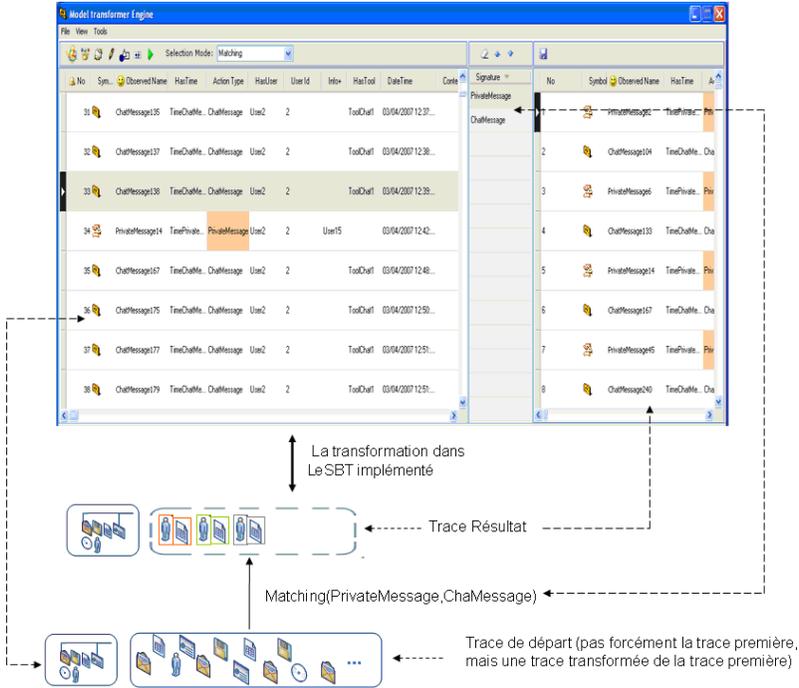


Figure 31 • L'opérateur de Matching sur une M-trace Moodle.

3.4. Le calcul des indicateurs

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 montrer que notre SBT implémenté permet de construire aisément des indicateurs évolués, et pour illustrer l'utilisation des transformations des M-traces, nous donnerons des exemples concrets sur le calcul de quelques indicateurs présentés dans la section 1.

3.4.1. Exemple 1 : La proportion entre 2 types d'actions différentes pour le même acteur, sur un intervalle de temps.

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.

La séquence de transformations de la trace première vers l'indicateur est expliquée sur la figure 32 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.

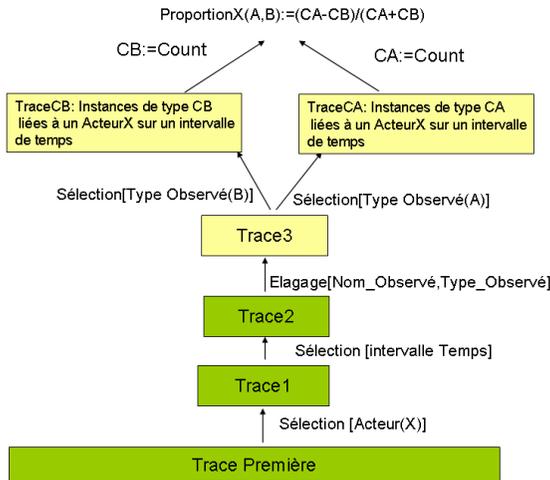


Figure 32 • Séquence de transformations générique pour calculer l'indicateur « Proportion entre deux types d'observés A et B »

Dans le SBT implémenté, nous choisissons comme exemple le calcul de la proportion entre les observés de type « message privé » et « chat » faites par l'acteur numéro 15, et lui appliquons la séquence de transformations définie ci-avant. La figure 33 montre l'instanciation de cette séquence avec son équivalence dans le SBT implémenté.

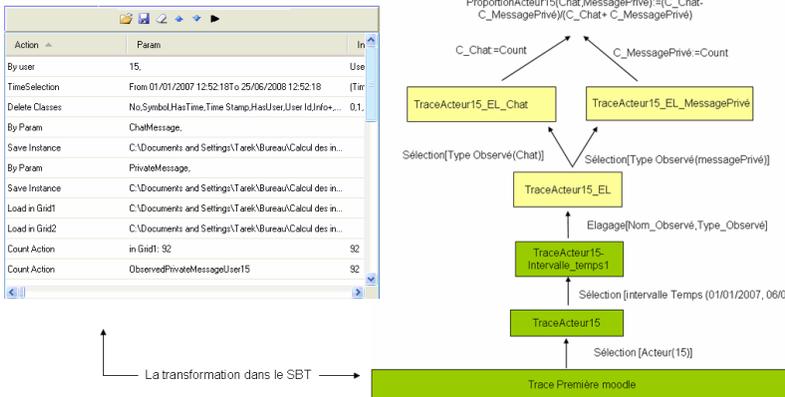


Figure 33 • Séquence de transformations appliquée au calcul de la proportion entre les messages publics et privés dans le chat, pour un acteur donné.

Nous proposons pour construire la règle de calcul, une boîte à outil qui charge les traces générées par les transformations, qui lance l'opérateur « Compter », et qui offre un calculateur arithmétique. La figure 34 montre la mise en œuvre de la règle de calcul pour l'indicateur *Proportion* dont nous venons de construire la séquence de transformations.

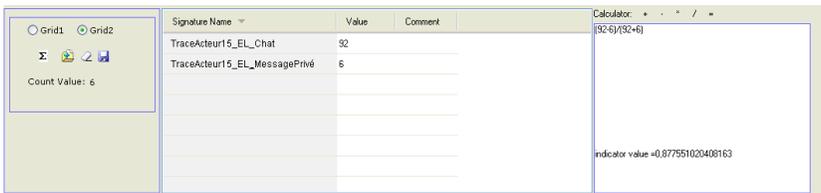


Figure 34 • Calculer la valeur de l'indicateur dans le SBT implémenté

3.4.2. Exemple2 : La division du travail

Le calcul de la division du travail est basé sur la somme des différences de deux instances d'observés liées à chaque utilisateur sur chaque outil. Il n'y a pas une règle précise dans la littérature EIAH pour calculer cet indicateur, nous proposons la séquence de transformations suivante pour calculer notre indicateur. Nous utilisons les opérateurs de sélection et d'élagage pour construire la séquence (Fig. 35).

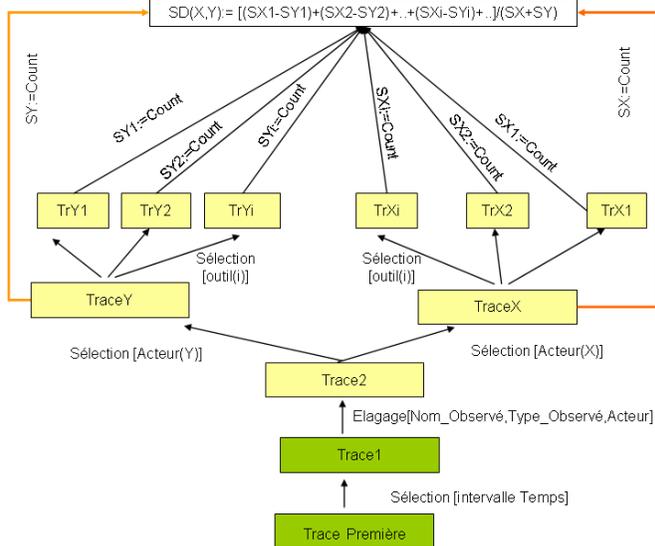


Figure 35 • Séquence de transformations générique pour calculer l'indicateur « Division du travail » entre deux acteurs ActeurX et ActeurY

Nous pouvons remarquer que la séquence de transformations pour l'acteurX est la même pour l'acteurY, ce qui nous permettra de réutiliser un morceau de la même séquence pour construire la séquence globale, ce qui montre la possibilité de définir et de réutiliser les morceaux ou des briques de transformations dans d'autres séquences de transformations.

Le calcul de la division du travail entre les acteurs « 15 » et « 16 » sur les outils « ToolChat1 » et « PrivateMessage », illustré par la figure 36 est une application de la séquence générique (Fig. 35).

Action	Param
TimeSelection	From 25/03/2007 12:52:18To 25/04/2007 12:52:18
By user	15,
SaveMain Instance	C:\Documents and Settings\Tarek\Bureau\Calcule SD\
Filter Options	Tool: ToolChat1
SaveMain Instance	C:\Documents and Settings\Tarek\Bureau\Calcule SD\
By user	15,
By Param	PrivateMessage,
Save Instance	C:\Documents and Settings\Tarek\Bureau\Calcule SD\
By user	16,
SaveMain Instance	C:\Documents and Settings\Tarek\Bureau\Calcule SD\
By Param	PrivateMessage,

↑ La transformation sur le SBT

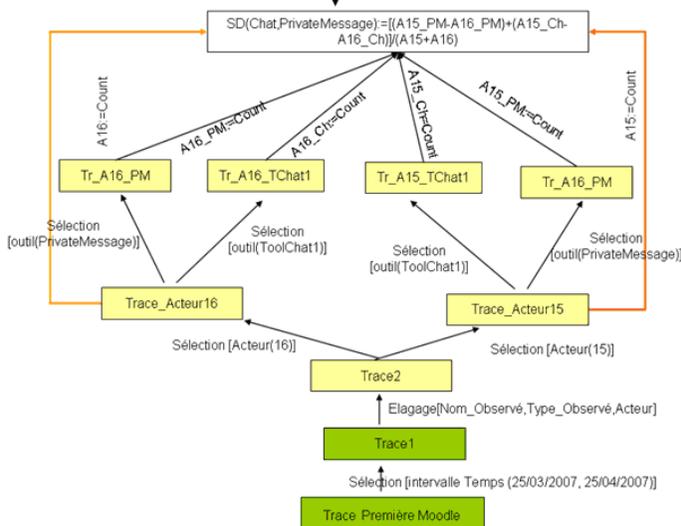


Figure 36 • Exemple d'une séquence de transformations pour calculer la division du travail (acteurs 15 et 16) sur les deux outils: ToolChat1 et PrivateMessage.

De la même façon pour le premier exemple, nous utilisons la boîte à outil pour construire la règle de calcul pour cet indicateur (Fig. 37).

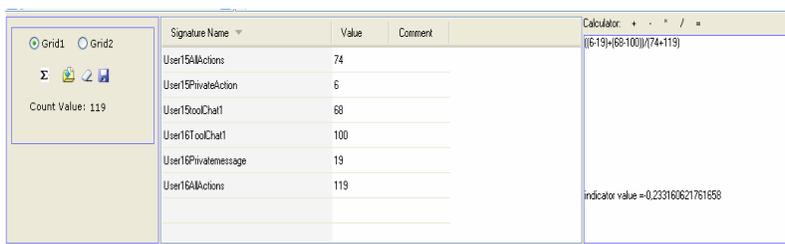


Figure 37 • Calcul de l'indicateur « Division du travail »

3.4.3. Exemple3 : Un acteur qui lit ses propres contributions (*auto self read*) sur une ressource (i)

Nous avons cité cet indicateur dans la section 1, mais nous n'avons pas donné sa formule de calcul, puisque il n'y a pas une règle fixée pour calculer cet indicateur. Pour cela, nous proposons d'utiliser une signature des tâches avec l'opérateur Matching. La signature est de type $[A+, B^*]$ où le A représente les observés de type : « Modifier l'outil » et le B ceux de type « Lire dans le même l'outil », le + signifie que l'acteur a édité au moins une fois sa contribution, alors que le * signifie que l'acteur a lus 0 ou plusieurs fois cette contribution. Par exemple, la séquence ABB signifie qu'un acteur a édité une fois sa contribution, et l'a lu 2 fois : Toutes les séquences commencent par un A. Le motif (signature de tâche) est présenté sous forme d'automate sur la figure 38 :

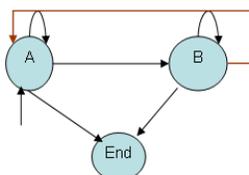


Figure 38 • Motif pour l'indicateur auto lecture de ses propres contributions

La séquence de transformations associée à cet indicateur et à base de ce motif est présentée par la figure 39 qui propose en parallèle le calcul du même indicateur avec une autre transformation basée sur la sélection et la fusion. Notons que la fusion impose que le nombre des instances de type Ecrire soit supérieur à 0.

Cet exemple montre l'existence d'une certaine équivalence entre les séquences de transformations. Nous pouvons construire deux séquences totalement différentes, mais calculant le même indicateur ce qui donne aussi la richesse de notre méthode.

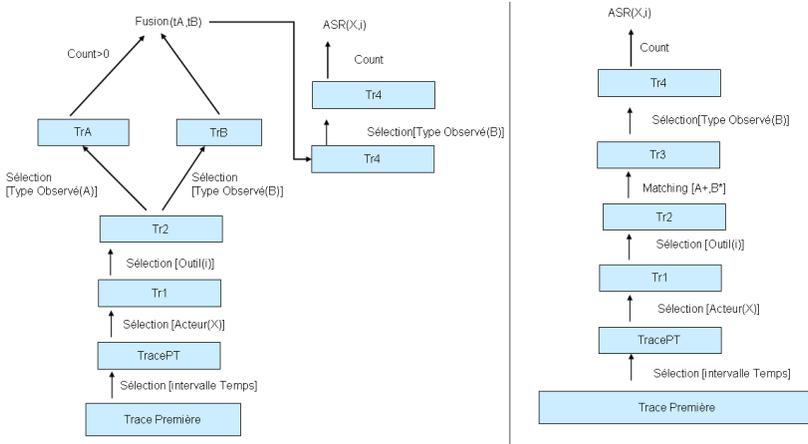


Figure 39 • Deux transformations équivalentes pour l'indicateur ASR (Auto-Self-read). À gauche celle utilisant la fusion, à droite le Matching.

En application sur la figure 40, nous avons choisis d'implémenter la deuxième séquence de transformations pour l'acteur « 15 » et comme outil : le Wiki « ToolWiki1 ». Le « A » dans la séquence de transformations générique devient : « EditWiki », et le « B » devient « ViewWiki ».

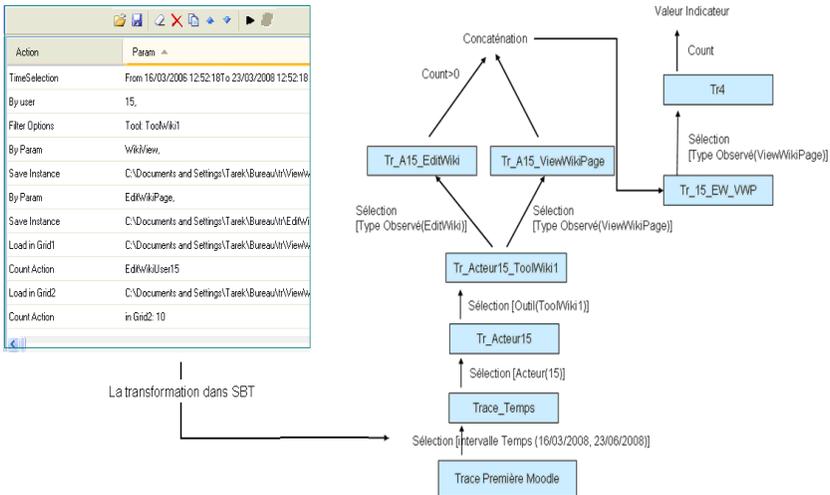


Figure 40• Séquence de transformations pour l'acteur 15 sur l'outil ToolWiki, dans le but de calculer les lectures de ses propres contributions sur ce wiki

Nous avons présenté dans cette section la mise en œuvre de notre méthode avec la proposition des opérateurs génériques qui transforment les modèles et les instances de traces. Nous avons montré l'existence d'une certaine classe d'équivalences entre les séquences de transformations, ainsi que la possibilité de réutiliser des morceaux de transformations dans une même séquence ou dans de nouvelles séquences. Nous avons montré aussi la faisabilité de notre méthode avec un SBT implémenté qui intègre une trace première Moodle. Le calcul des indicateurs devient une tâche facile, sans passer par les détails du code source ni ceux de l'implémentation. Il suffit de définir une séquence de transformations pour l'indicateur visé.

4. Conclusion

Nous avons présenté dans cet article une méthode et des outils pour calculer les indicateurs collaboratifs dans un système à base de trace. La méthode que nous proposons est basée sur l'ingénierie dirigée par les modèles de traces, et permet de construire des séquences de transformations de modèles dans le but de calculer des indicateurs collaboratifs. Cette méthode repose sur l'usage d'un système à base de traces permettant de gérer les traces nécessaires au calcul d'indicateurs, mais surtout de gérer la modélisation nécessaire en facilitant la réutilisation des modèles aussi bien au moment de la conception que des calculs eux-mêmes. Nous avons par la suite montré l'intérêt de cette méthode et de ce qu'elle apporte par rapport au calcul ad-hoc des indicateurs, où l'on peut faire un calcul d'indicateur à un niveau abstrait sans passer par le calcul spécial, grâce aux opérateurs de transformations. Nous avons montré sur des exemples, la possibilité de définir des morceaux de transformations, et de réutiliser ces briques soit dans la transformation elle-même, soit dans d'autres transformations, avec la possibilité aussi de trouver des équivalences entre les séquences de transformations où nous pouvons trouver deux séquences qui calculent le même indicateur.

Dans un futur travail, nous espérons tester notre SBT implémenté ainsi que la bibliothèque de transformations de modèles avec d'autres plateformes d'apprentissage. Nous planifions aussi ajouter d'autres opérateurs de transformations pour donner plus de richesse au mécanisme de transformations proposé par notre méthode, en particulier l'opérateur de réécriture, puissant outil d'abstraction de traces d'interaction. La mise à disposition de la communauté de bibliothèques de modèles et de séquences de transformations associées constitue un enjeu essentiel pour la communauté des acteurs des EIAH.

BIBLIOGRAPHIE

(ADL, 2004)

ADL (2004). Advanced Distributed Learning (ADL), *Sharable Content Object Reference Model (SCORM)*. 2nd Edition. www.adlnet.org.

(Avouris *et al.*, 2003)

Avouris N., Margaritis M., Komis V., Melendez R., Saez A. (2003). ModellingSpace: Interaction Design and Architecture of a collaborative modelling environment. *In proceeding of the 6th conference of Computer Based Learning in Science (CBLIS)*, Nicosia, Cyprus, 2003. 6 CBLIS, Nicosia, p. 993-1004.

(Backer *et al.*, 2001)

Baker M., De Vries E., Lund C., Quignard M. (2001). Interactions épistémiques médiatisées par ordinateur pour la co-élaboration des notions scientifiques. *Revue Sciences et techniques Educatives*, vol. 8, p. 21-32.

(Bézivin et Gerbé, 2001)

Bézivin J., Gerbé O. (2001). Towards a precise Definition of the OMG/MDA framework. *In Proceedings of the 16th Conference on Automated Software Engineering IEEE (ASE'2001)*, San Diego (USA), p 273-280.

(De Corte *et al.*, 2000)

De Corte E., Verschaffel L., Lowyck J., Dhert S. ; Vandeput, L. (2000). Computer-supported collaborative learning of mathematical problem solving and problem posing. *In D. Benzie & D. Passey (Eds.), Proceedings of Conference on Educational Uses of Information and Communication Technologies. 16th World Computer Congress 2000. Beijing, China, August 21-25, Beijing, China: Publishing House of Electronic Industry, p. 96-99.*

(Dimitrakopoulou et Bruillard, 2006)

Dimitrakopoulou A. Bruillard E. (2006). Enrichir les interfaces de forums par la visualisation d'analyses automatiques des interactions et du contenu. *STICEF*.

(Dimitrakopoulou, 2004)

Dimitrakopoulou A. (2004). 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.

(Djouad, 2008)

Djouad T.(2008). Analyser l'activité d'apprentissage collaboratif : Une approche par transformations spécialisées de traces d'interactions. *2ième rencontre des jeunes chercheurs RJC-EIAH08*, Lille, France, p. 93-98.

(Girard et Johnson, 2007)

Girard S., Johnson H. (2007). Dividing Quest: Using emotive interface personas in educational software. *Technical Report CSBU-2006-20*, Department of Computer Science, University of Bath. ISSN 1740-9497.

(Jaillet, 2005)

Jaillet A. (2005). Peut-on repérer les effets de l'apprentissage collaboratif à distance. *Distances et savoirs*, Vol. 3, n°1, p. 49-66.

(Jermann, 2004)

Jermann P.-R. (2004). Computer Support for Interaction Regulation in Collaborative Problem-Solving. *These de doctorat*, genève.

(Jena 2007)

Jena (2007). *A Semantic Web Framework for Java*, <http://jena.sourceforge.net/>

(Laforcade, 2004),

Laforcade P. (2004). Méta-modélisation UML pour la mise en œuvre de situations problèmes coopératives. *LIUPPA. Thèse de doctorat en informatique*, l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.

(Martinez *et al.*, 2003)

Martínez A., Dimitriadis Y., Gómez E., Rubia B., de la Fuente P. (2003). Combining qualitative and social network analysis for the study of classroom social interactions. *Computers and Education*, Vol. 41, n°4, p.353-368.

(Mille et prié, 2006)

Mille A., Prié Y. (2006). Une théorie de la trace informatique pour faciliter l'adaptation dans la confrontation logique d'utilisation/logique de conception. *In the Proceeding of: la 13èmes journées de Rochebrune -Traces, Enigmes, Problèmes*, Rochebrune, France.

(Mille *et al.*, 1999)

Mille A., Fuchs B., Chiron B. (1999). Raisonnement fondé sur l'expérience : un nouveau paradigme en supervision industrielle. *Revue d'intelligence artificielle*, Vol. 13, p.97-128.

(Nodenot, 2005)

Nodenot T.(2005).Contribution à l'ingénierie dirigée par les modèles en EIAH : le cas des situations-problèmes coopératives. *Habilitation à Diriger des Recherches en Informatique*, Laboratoire d'Informatique de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.

(LOM, 2001)

LOM (2001). LOM working draft v6.1. <http://ltsc.ieee.org/doc/#LOM%20Draft>

(Moodle, 2008)

Moodle (2008). *Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment*. <http://docs.moodle.org/fr/Accueil>

(OMG 2002).

OMG (2002). *Meta-Object Facility (MOF) Specification Version 1.4*. <http://www.omg.org/technology/documents/formal/mof.htm>

(Paquette, 2004)

Paquette G. (2004). Educational Modeling Language: from an Instructional Engineering Perspective. *Online education using learning objects*. London:Routledge/Falmer.

(Reffay et Lancieri, 2006)

Reffay C., Lancieri L. (2006). Quand l'analyse quantitative fait parler les forums de discussion, *STICEF, recueil 2006, numéro spécial forum de discussion en éducation*, p.255-288.

(Santos *et al.*, 2003)

Santos O.-C., Rodríguez A., Gaudioso E., Boticario J.-G. (2003). Helping the tutor to manage a collaborative task in a web-based learning environment. *Communication in the Workshop Towards Intelligent Learning Management Systems*, Sydney, Australia. p.72-81.

(Seidwitz, 2003)

Seidwitz, E. What models Mean. *IEEE Software*, Vol.20, n° 5, p.26-32.

(Settouti *et al.*, 2006)

Settouti L.-S., Prié Y., Mille A., Martu J.-C. (2006). 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*, Toulouse, France.

(Settouti *et al.*, 2007)

Settouti L.-S., Prié Y., Marty J.-C., Mille A. (2007). Vers des Systèmes à Base de Traces modélisées pour les EIAH. *Rapport de recherche RR-LIRIS-2007-016*.

(Soller *et al.*, 2005)

Soller, A., Martinez, A., Jermann, P. and Muehlenbrock, M. (2005). From Mirroring to Guiding: A Review of State of the Art Technology for Supporting Collaborative Learning. IJAIED : International Journal of Artificial Intelligence in Education vol. 15, pp. 261-290. http://aied.inf.ed.ac.uk/members05/archive/Vol_15/Soller/Soller05.html

(Tedesco, 2003)

Tedesco P.-A. (2003). MARCo: Building an Artificial Conflict mediator to Support Group Planning Interactions. *International Journal of Artificial Intelligence in Education* Vol.13, p.117-155.

(Webber, 2003)

Webber C. (2003). Modélisation informatique de l'apprenant. Une approche basée sur le modèle cKc et la théorie de l'émergence. *Thèse en informatique de l'Université Joseph Fourier*, Laboratoire LEIBNIZ-IMAG. Grenoble.