

## AMELIORATION CONTINUE : OUTILLAGE D'UN PROCESSUS DE RETOUR D'EXPERIENCE PAR LES GRAPHES CONCEPTUELS

T. COUDERT, B. KAMU-FOGUEM, L. GENESTE

Laboratoire Génie de Production / ENIT

Avenue d'Azereix

65016 Tarbes cedex

thierry.coudert@enit.fr, bernard.kamsu-foguem@enit.fr, laurent.geneste@enit.fr

**RESUME :** *La complexité croissante des systèmes industriels rend de plus en plus difficile l'analyse, la compréhension et la résolution des problèmes dans une logique de rationalisation. Les méthodologies d'amélioration continues constituent de puissants outils de la qualité permettant la résolution des problèmes, le contrôle des effets des changements et la capitalisation de la connaissance au sujet des améliorations proposées. Ces outils nécessitent de représenter convenablement la connaissance concernant le système. Ainsi, la capacité de capitalisation et de partage des connaissances résultant du retour d'expérience joue un rôle essentiel dans l'amélioration continue des activités industrielles. Cet article propose de formaliser un processus de Retour d'expérience (Rex) visant la transformation d'informations ou de savoirs sur la résolution de problèmes en connaissances explicites ainsi que leur réutilisation. Cependant, les moyens de décrire les primitives de connaissance issues d'une expérience demeurent généralement trop peu formels. Basé sur un processus de Rex et sur les Graphes Conceptuels (GC), cet article considère l'ontologie du domaine comme cadre pour la formalisation des connaissances et des savoirs-faires explicites, le but étant de construire des leçons apprises à partir des expériences préalablement capitalisées.*

**MOTS-CLES :** *Amélioration continue, résolution de problèmes, retour d'expérience, graphes conceptuels, projection.*

### 1. INTRODUCTION

La complexité des systèmes industriels grandissant, il devient désormais extrêmement difficile d'analyser, de comprendre et de résoudre les problèmes qui se produisent dans leur organisation. Les organisations classiques, hiérarchiques et stables, sont rapidement remplacées par des systèmes vastes, complexes, distribués et souvent instables, ceci impliquant des changements profonds. Les organisations doivent s'adapter à ce contexte distribué et souvent éphémère. Les exigences de qualité imposent également des contraintes difficiles à satisfaire. Dans ce cadre, les méthodologies d'amélioration continues développées et mises en œuvre depuis de nombreuses années dans les entreprises sont toujours d'actualité. Elles demeurent de puissants outils permettant de comprendre les problèmes, de les résoudre, de contrôler les effets des changements induits et de capitaliser les connaissances explicites. Ces outils exigent des modèles adaptés afin de modéliser correctement les connaissances à propos du système, de son environnement, de ses missions et des situations dans lesquelles il évolue (Zaraté et al., 2005). Afin de garantir une bonne efficacité et être correctement utilisés, ces modèles doivent nécessairement être accompagnés de méthodologies permettant une mise en œuvre facilitée et précise, ainsi que de processus bien formalisés. Parallèlement, une utilisation large, une compréhension commune et non-ambiguë de tous les concepts et méthodes manipulés passe par la

définition de standards, de guides ainsi que d'un vocabulaire adapté : *l'ontologie*.

Cet article se place donc dans un contexte industriel général d'amélioration continue, de résolution de problèmes et de gestion des connaissances inhérentes à ces paradigmes. Le travail exposé concerne la formalisation d'un processus de *gestion des connaissances* basé sur un principe de *retour d'expérience*, tout ceci dans le cadre plus général d'une méthodologie d'amélioration continue et, plus précisément, de résolution de problèmes. Les modèles proposés sont basés sur l'utilisation des *Graphes Conceptuels* (GC) (Sowa, 1984) qui constituent un outil puissant pour définir une ontologie, modéliser les connaissances et qui disposent, en outre, d'opérateurs logiques efficaces pour alimenter un moteur d'inférences utile aux acteurs concernés par la résolution de problèmes.

L'article est organisé comme suit. La section 2 positionne l'approche de retour d'expérience proposée par rapport : aux processus d'amélioration continue existants, à la gestion des connaissances et aux langages de modélisation. Le processus de Rex est détaillé section 3. L'utilisation des graphes conceptuels est précisée dans la section 4 et la méthodologie, consolidée par un exemple, est expliquée en section 5 avant de conclure et de positionner les perspectives de ce travail.

## 2. ETAT DE L'ART – POSITIONNEMENT

### 2.1. Positionnement par rapport à l'amélioration continue

L'amélioration continue constitue un aspect important de la famille de normes ISO 9000 maintenue par l'organisation ISO (International Organization for Standardization). Elle se concentre sur l'amélioration de la satisfaction du client en passant par des améliorations continues et incrémentales des produits, des services et des processus. Afin de répondre à ces exigences implicites, un point clé consiste à optimiser le processus de résolution de problèmes. Ce processus est initié lorsqu'un *événement* négatif (c'est-à-dire avec un impact négatif sur le client ou sur l'organisation) se produit. Il vise à analyser et résoudre le problème courant pour éviter une nouvelle occurrence.

Quelques processus de résolution de problèmes ont été définis et implantés dans les entreprises. L'un des plus connus est sans doute la méthode PLAN-DO-CHECK-ACT (PDCA), également connue sous le nom de « Roue de Deming ». D'autres méthodes sont également utilisées comme : 8 Disciplines (8D) également appelée TOPS (Team-Oriented Problem Solving) ; Six Sigma ou DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) ; 7-step ; etc. Les activités principales dans ces processus sont :

- la formation d'une équipe de résolution de problème ;
- la description et l'évaluation de la criticité des événements ;
- l'analyse des événements afin d'en rechercher les causes racine et valider cette analyse ;
- la proposition d'une solution au problème et son application (solution curative) ;
- la suggestion d'actions pour éviter une nouvelle occurrence du problème (solution préventive, *leçons apprises*, etc.).

Dans cette logique d'amélioration continue, le processus de Retour d'Expérience (Rex) proposé dans ce travail est une représentation générique correspondant aux méthodes industrielles de résolution de problèmes. Cinq informations peuvent être distinguées : l'événement, le contexte, l'analyse, la solution et les leçons apprises. L'événement concerne un problème qui a été détecté. Le contexte concerne les circonstances dans lesquelles le problème est apparu. L'analyse décrit la recherche des causes du problème. La solution décrit les actions mises en œuvre pour résoudre le problème. Les leçons apprises concernent les enseignements qui peuvent être tirés de l'expérience. La figure 1 récapitule, en parallèle de ces cinq informations, la structure des principaux processus de résolution de problèmes avec leurs activités. Ceci permet de montrer les liens existants entre les processus de résolution de problèmes dans les organismes industriels et les informations manipulées par la capitalisation de connaissances dans un processus de retour d'expérience. Ce schéma peut servir de guide (avec un

fort niveau d'abstraction) pour l'implémentation d'un processus de retour d'expérience en entreprise en s'adaptant à la méthode utilisée.

### 2.2. Positionnement par rapport à la gestion des connaissances

La *gestion des connaissances* se réfère à la manière dont les entreprises recueillent, contrôlent et emploient la connaissance qu'elles ont acquises (Zorn et Taylor, 04). Cette expression désigne également une approche visant à améliorer les résultats tout en apprenant par la mise en œuvre de processus spécifiques. Ces processus permettent de capitaliser connaissances, savoir-faire, expertises et autres capitaux intellectuels et immatériels afin de les transformer en connaissances explicites partageables et réutilisables dans toute l'organisation (Easterby-Smith et al., 2003).

Dans le cadre de la gestion des connaissances, le *retour d'expérience* constitue une approche particulièrement intéressante. Il s'agit d'une approche ascendante, où la connaissance est établie graduellement à partir de cas utiles. En considérant la hiérarchie classique *Données-Information-Connaissance* (il s'agit de connaissance explicite, c'est-à-dire formalisée), la notion d'*Expérience* se positionne entre l'information et la connaissance explicite. Cette transformation progressive est faite en trois étapes. D'abord l'événement et son contexte sont décrits (niveau information) puis l'analyse et la solution sont capitalisées (niveau expérience). Le niveau « connaissance » est atteint quand des leçons apprises, des procédures, des invariants ou des règles sont déduits des expériences antérieures. L'approche de retour d'expérience développée par Bergman (Bergmann, 2002) constitue une instanciation majeure. L'objectif développé dans ces travaux est de garantir que les connaissances expérimentales acquises par l'expérience ou les leçons apprises, lorsqu'elles sont réutilisées, ont un impact positif sur l'organisation.

Les entreprises implémentent ces processus de retour d'expérience afin d'éviter la reproduction d'erreurs passées tout en profitant des connaissances générées lors de l'apparition de ces erreurs. Dans la littérature, différentes approches existent comme l'approche par apprentissage expérimental (Kolb, 1984), les systèmes de leçons apprises (Weber et al., 2001) ou encore les boucles de retour d'expérience de (Faure et Bisson, 1999). Tous ces modèles ont deux principales limites : i) une description imprécise du vocabulaire utilisé par les modèles de connaissance ; ii) un manque d'outils formels permettant une analyse des modèles. Des applications industrielles du retour d'expérience existent (voir par exemple (Hermosillo et al., 2005) (Weber et Aha, 2003)). Elles permettent de capitaliser des événements, leur contexte, l'analyse et la solution mais ne sont en revanche pas assez structurantes et demeurent bien souvent seulement descriptives. Chaque catégorie d'information est décrite avec du texte libre, des images ou des vidéos.

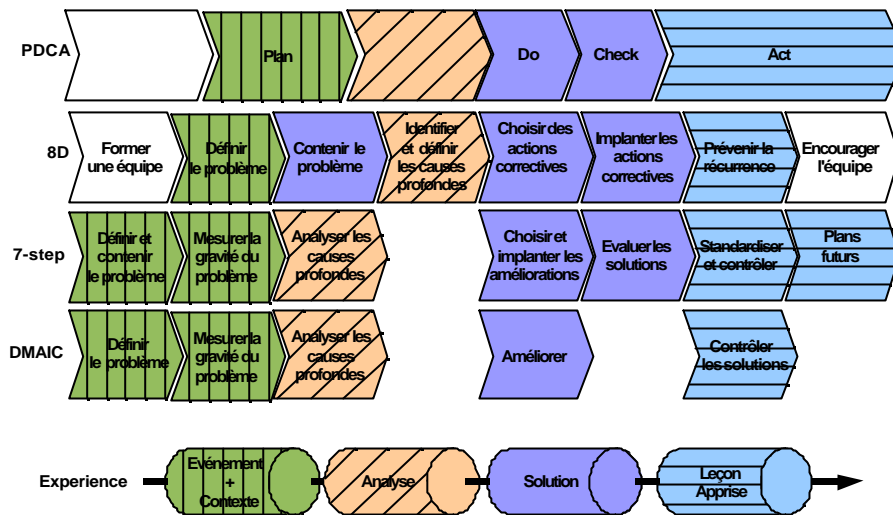


Figure 1. Mise en parallèle des informations manipulées par le retour d'expérience (bas de la figure) et des activités mises en œuvre au sein des méthodes d'amélioration continues couramment utilisées en industrie

Cela permet par exemple de créer des « livres d'expériences » très efficaces pour décrire des explications, mais inopérants lorsqu'il s'agit d'extraire et de réutiliser les connaissances. C'est pourquoi le processus de Rex proposé insiste sur la formalisation et la structuration des données afin de garantir que l'informatisation permettra une réutilisation efficace de la connaissance extraite des expériences passées.

Il est intéressant de comparer les méthodologies de retour d'expérience et les méthodologies plus généralement utilisées comme par exemple *CommonKADS* (Schreiber et al., 2000) de manière à correctement positionner notre proposition. *CommonKADS* est une méthode construite sur la base de la méthode *KADS* (Knowledge Acquisition and Design Structuring) considérée généralement comme un standard dans les méthodes de gestion des connaissances. Le processus consiste à capturer et formaliser les connaissances détenues par les utilisateurs et concernant des tâches spécifiques. Dans *CommonKADS*, trois couches ou niveaux de connaissance sont considérés : *Domaine*, *Inférence* et *Tâche*. La couche *Domaine* comprend l'énumération des concepts et de leurs relations. Ce niveau, souvent appelé *Ontologie*, matérialise la connaissance concernant le domaine analysé (un système de production dans notre travail). La couche *Inférence* peut être vue comme une bibliothèque de méthodes et de processus de résolution des problèmes décrits d'une façon déclarative. Enfin, la couche *Tâche* fournit une interprétation procédurale de la couche *Inférence*.

Selon cette perspective, un processus de retour d'expérience peut être décliné comme suit. La couche *Domaine* comprend l'ontologie du domaine (la connaissance du domaine) enrichie par l'ontologie décrivant le cadre du retour d'expérience. La couche *Inférence* se compose des mécanismes visant à capitaliser, rechercher, extraire et réutiliser les expériences passées. Plusieurs techniques sont explorées pour la recherche (basée sur la

similitude, l'adaptabilité) et pour la phase d'adaptation (voir (Bergmann, 2002) – chap. 8). Pour notre proposition, l'opération de projection des graphes conceptuels (Baget et Mugnier, 2002) est employée pour les phases de recherche et d'adaptation (cf. §4.3 et 5.4). Enfin, la couche *Tâche* comprend le processus réel de retour d'expérience, lui-même composé de deux sous-processus : la capitalisation et l'exploitation. La capitalisation est basée sur la méthode industrielle de résolution de problèmes utilisée (cf. figure 1). Chaque étape est un sous-processus de capitalisation (description d'événement, description de contexte, analyse et détermination de solution). L'exploitation est basée sur les sous-processus suivants : récupération, adaptation et généralisation. Ces étapes constituent le cœur de ces techniques de résolution de problèmes et ont été inspirées par le cycle de Raisonement à Partir de Cas (RàPC) (cf. (Aamodt, 1994) par exemple). Bien que le RàPC puisse être considéré comme très similaire au retour d'expérience, il n'est pas à l'origine considéré comme un modèle d'organisation pour la réutilisation d'expériences, mais principalement comme un modèle cognitif et une architecture technique (Bergmann, 2002) – Chap. 2.

### 2.3. Positionnement par rapport aux langages

Afin de garantir une bonne efficacité et l'intégration des techniques de retour d'expérience, les processus doivent être construits sur des bases théoriques solides exigeant un langage de représentation formel, bien approprié aux phénomènes observés et possédant une sémantique claire et bien définie. Le langage doit permettre de représenter rigoureusement le vocabulaire utilisé. Ainsi, la solution suggérée est fondée sur l'utilisation d'une représentation formelle. Le retour d'expérience peut être mis en œuvre au niveau opérationnel en utilisant différents langages comme par exemple un langage orienté objet couplé à des techniques de RàPC (Beler et al., 2006) ou des graphes conceptuels pour la représentation de l'ontologie

et l'opération de projection pour les inférences. Considérant que ces deux techniques sont tout à fait semblables en termes d'objectifs informatiques, le choix des Graphes Conceptuels (GC) a été fait car l'intégration de l'ontologie en constitue le cœur. Ainsi, les GC, avec leur sémantique claire et bien définie, peuvent être utiles pour le développement des techniques d'analyse formelle des modèles de connaissance. En outre, l'hypothèse suivante peut être formulée : les GC ont une structure « intuitive » qui peut être comprise « aisément ».

### 3. MODELE DU PROCESSUS DE RETOUR D'EXPERIENCE

Le processus proposé pour le retour d'expérience est représenté figure 2 et met en évidence les informations ou connaissances réutilisées (flèches en trait pointillé). Quatre activités principales ont été identifiées : la représentation du domaine, la capitalisation des événements et de leur contexte, l'analyse et la généralisation. La **représentation du domaine** (activité 1) est l'activité qui doit être réalisée hors ligne par des experts du domaine. Leur rôle est de construire l'ontologie formelle au moyen de graphes conceptuels mais également de la faire évoluer en fonction de l'environnement. Le résultat de cette activité constitue le support du processus de retour d'expérience (les modèles de Rex). Ils peuvent être vus comme des composants stockés dans une bibliothèque, des modèles validés, prêts à être employés et dont la réutilisation sera facilitée. La seconde activité représente la **capitalisation de contextes et événements** : elle consiste, pour l'acteur opérationnel, à utiliser les mo-

dèles de Rex prédéfinis afin de représenter les événements ainsi que leur contexte. Bien sûr, le déclenchement de cette activité est assujéti à l'occurrence de l'événement et, a fortiori, à sa détection. Ensuite, l'**analyse** du problème doit être réalisée (activité 3). Celle-ci doit être aidée par les expériences précédemment capitalisées. Cette activité est généralement réalisée par des experts. Enfin, la **généralisation** (activité 4) consiste à construire la connaissance, des leçons (ou des règles) à partir des expériences déjà capitalisées mais également des leçons préalablement apprises. Ceci est réalisé par un comité pluridisciplinaire et il est important de préciser que cette activité ne peut pas être automatisée (de même que l'activité d'analyse). Les activités de capitalisation (2) et d'analyse (3) sont dans la majorité des cas réalisées plus fréquemment que l'activité de généralisation (4). L'activité (2) est réalisée dès sa détection; l'activité (3) est réalisée immédiatement si le problème nécessite une analyse et une solution immédiates mais il peut également être remis à la prochaine réunion d'experts (par exemple, une réunion peut être projetée chaque semaine). L'activité (4) exige généralement plusieurs expériences, et est donc réalisé moins fréquemment. Par exemple, chaque mois, un comité pluridisciplinaire peut être formé afin de traiter de problèmes particuliers (comme des pannes récurrentes sur une machine). Les expériences et les leçons apprises sont construites à partir de graphes conceptuels et elles représentent la connaissance capitalisée. La prochaine section donne quelques définitions au sujet de ce paradigme et décrit comment l'ontologie formelle est construite.

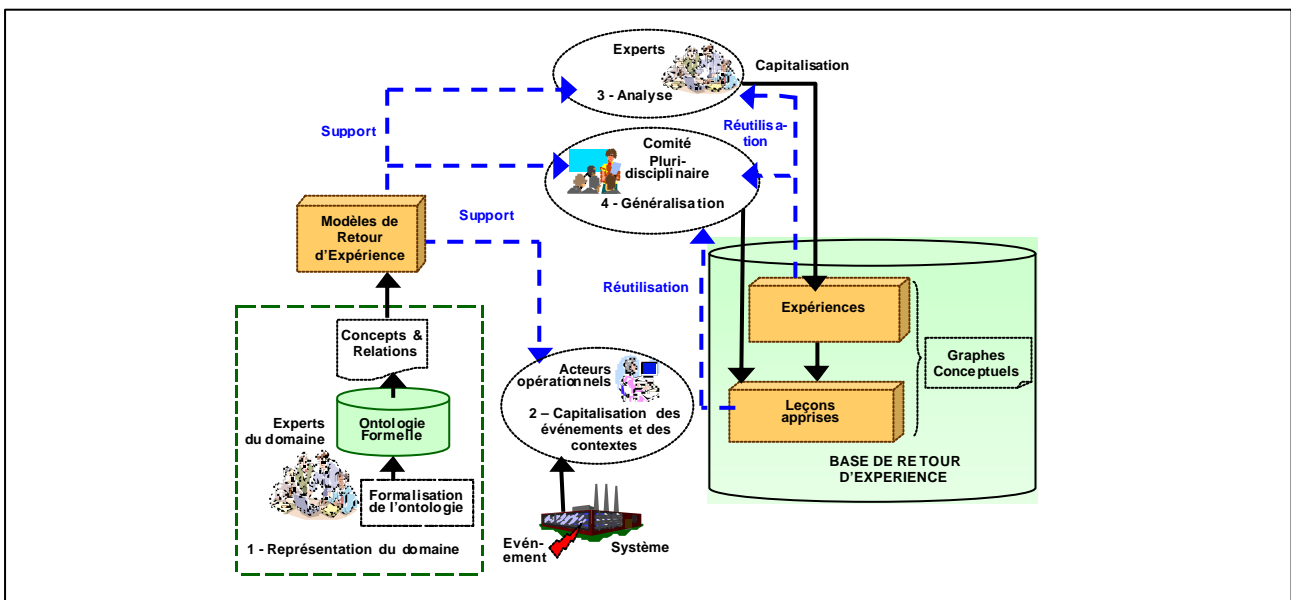


Figure 2. Formalisation du processus de Retour d'Expérience

### 4. LES GRAPHES CONCEPTUELS : LES OUTILS DU RETOUR D'EXPERIENCE

Les graphes conceptuels constituent un outil de représentation de la connaissance (Sowa, 1984). Un tel formalisme permet à la fois de définir un vocabulaire (c'est-à-

dire l'ontologie) et d'employer ce vocabulaire pour conceptualiser des faits. L'outil graphes conceptuels peut être considéré comme le compromis entre un langage formel et un langage graphique car il est visuel et dispose en outre d'une panoplie de processus de raisonnement (Baget et Mugnier, 2002).

#### 4.1 L'ontologie formelle

L'ontologie constitue le pilier principal permettant de décrire la connaissance. La connaissance est intimement liée à l'ontologie, puisqu'elle est nécessairement exprimée à partir des termes de l'ontologie. Les « objets ontologiques » sont habituellement décrits comme un ensemble de concepts et un ensemble de relations possibles entre ces concepts. Dans le formalisme des graphes conceptuels, cette connaissance est codée à partir d'un Treillis de types de Concepts (TC) et un Treillis de types de Relations (TR). Le TC est l'ensemble fini et partiellement ordonné de tous les types de concepts utilisables. Similairement, le TR décrit les types de relations structurés dans un ordre partiel. Tous deux forment ainsi une structure hiérarchique (Figure 4). Les types de concepts et de relations sont partiellement ordonnés par des liens d'héritage. Ainsi un type de concept peut être la spécialisation d'un autre type de concept (par exemple, le type de concept « Machine » est la spécialisation du type de concept « Ressource »). A partir de ces deux treillis, il est possible de construire le *support*. Le support est l'ontologie vue au travers des graphes conceptuels. Ce terme de « support » sera employé dans le reste de l'article pour l'ontologie. Il est défini par le quadruplet  $S = (T_C, T_R, I, t)$ .  $I$  est l'ensemble des *marqueurs individuels*. Ils permettent de définir des concepts à partir des types de concepts au sein des graphes conceptuels. Par exemple, le type de concept « Machine » peut être marqué par le marqueur individuel « M1 ». Le concept ainsi obtenu est alors noté [Machine : M1] où le texte « Machine : M1 » est appelé *label*.  $T_C$ ,  $T_R$  et  $I$  sont des ensembles disjoints.  $t$  est une application de  $I$  dans  $T_C$ . Le marqueur générique est noté par « \* », tel que  $* \notin I$ . L'ordre partiel sur les types est interprété comme une relation de spécialisation ( $t = t'$  doit être lu comme «  $t$  est une spécialisation de  $t'$  »).

#### 4.2 Les graphes conceptuels

Un graphe conceptuel simple est un graphe fini, dirigé et biparti constitués de nœuds concept (représentés par des rectangles) connectés à des nœuds relation (représentés par des cercles). Une alternative de notation est la notation linéaire. Les nœuds concept sont notés entre crochets, alors que des nœuds relation sont notés entre parenthèses. Une relation conceptuelle relie deux concepts (ou plus) selon le diagramme suivant :  $[C_1] \rightarrow (R_1) \rightarrow [C_2]$  (ce qui signifie en langage naturel «  $C_1$  est relié à  $C_2$  par  $R_1$  »). Par exemple, le graphe conceptuel suivant : [Matériau : AU4G]  $\rightarrow$  (Attribut)  $\rightarrow$  [Dureté] signifie « Le Matériau AU4G a un Attribut qui est Dureté ». Afin de compléter le formalisme, la notion de graphes conceptuels imbriqués a été introduite dans (Baget et Mugnier, 2002). Ainsi, une description interne partielle peut être associée à chaque nœud concept. L'imbrication permet d'obtenir différents niveaux de représentation et d'organiser ces niveaux de détail en hiérarchie. Des exemples de graphes imbriqués avec description sont donnés paragraphe 5.

#### 4.3 L'opération de projection des GC

La réutilisation d'expériences passées et de connaissances est basée sur l'opération de projection des graphes conceptuels. Le principe est que l'opération de projection extrait un (ou des) sous-graphe(s) à partir d'un graphe donné en appliquant une séquence de règles de spécialisation. Plus formellement, la projection  $p$  d'un graphe  $G_1$  sur un graphe  $G_2$  est définie par :

- $p$  est une application des nœuds de  $G_1$  sur les nœuds de  $G_2$  qui préserve les arcs, c'est-à-dire, si  $xy$  est un arc dans  $G_1$  alors  $p(x)p(y)$  est un arc dans  $G_2$  ;

- $p$  peut spécialiser les labels des nœuds concepts et relation. Pour chaque concept  $c$  de  $G_1$ ,  $p(c)$  est un concept de  $p(G_1)$  tel que  $type(p(c)) = type(c)$  et si  $c$  est un concept individuel alors  $marqueur(p(c)) = marqueur(c)$ .

Ainsi, l'existence d'une projection d'un graphe  $G_1$  (la requête) sur un graphe  $G_2$  (le contexte) signifie que la connaissance représentée par  $G_1$  est déductible de celle représentée par  $G_2$ . Dans ce cas, le graphe  $G_1$  est plus générique que le graphe  $G_2$ . Un exemple de projection est représenté figure 3. La requête (représentée par le graphe  $G_1$ ) peut être interprétée comme : « Y'a-t-il une activité qui utilise une ressource ? ». Le contexte est représenté par  $G_2$  : « L'activité de tournage a en entrée le produit P1 et utilise la machine Kx-10 ». Le résultat ( $p(G_1)$ ) est une projection de  $G_1$  sur  $G_2$  : « L'activité de tournage utilise la machine Kx-10 ». Il s'agit de la réponse à la requête.

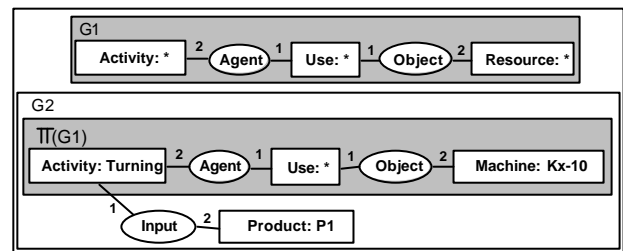


Figure 3 Exemple de projection d'un graphe  $G_1$  (requête) sur un graphe  $G_2$  (contexte).

### 5. METHODOLOGIE POUR LE RETOUR D'EXPERIENCES

#### 5.1. Définition de l'ontologie

L'ontologie formelle utilisée dans ce travail pour le retour d'expérience est représentée sur la figure 4. L'avantage principal de cette ontologie est de proposer conjointement un support pour le retour d'expérience et un support pour le domaine. Afin d'être en mesure de partager et donc de diffuser largement la connaissance, cette caractéristique est importante. En effet, dans l'approche proposée, la manière de capitaliser la connaissance ainsi que la manière de décrire le domaine sont intégrés à l'ontologie elle-même.

Dans l'exemple proposé ici, l'ontologie du domaine concerne un environnement de production. Le type de concept « Feedback\_Object » peut être spécialisé en « Acti-

vity », « Product », « Process », « Resource » ou « Competency ». Le type de concept «Resource » peut être spécialisé à son tour (« Actor », « Tool », etc.). Le domaine du retour d'expérience peut être décrit au moyen du type de concept « Experience\_Element » qui peut être spécialisé en « Event », « Context », « Analysis » et « Solution ». Ces quatre types de concepts constituent les quatre piliers d'une expérience et sont utilisés pour la construction des graphes conceptuels.

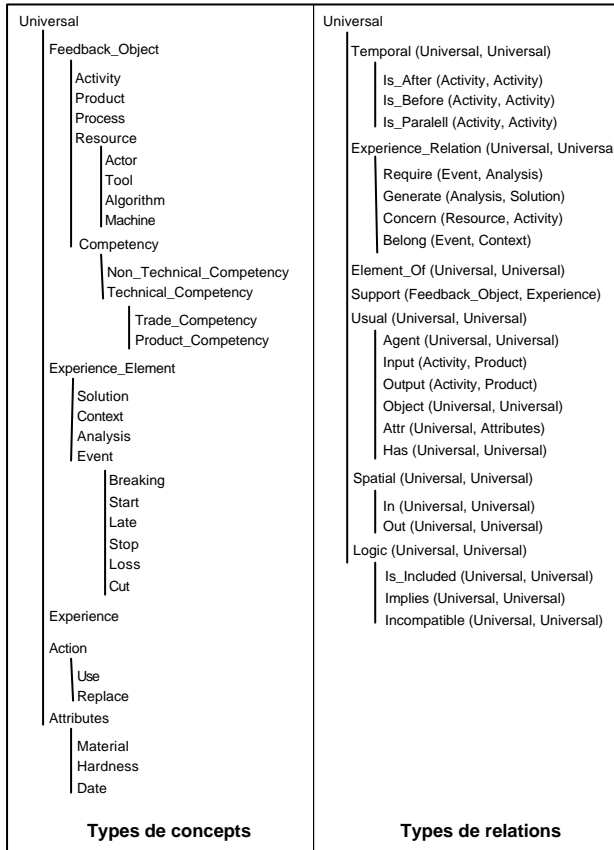


Figure 4. L'ontologie : treillis de types de concepts et de types de relations

Le type de concept « Event » peut être spécialisé en « Breaking », « Sart », « Late », etc. Un événement est considéré ici comme inattendu et ayant un impact négatif sur les performances de l'organisation. La seconde partie du support concerne les types de relation. Ce treillis regroupe quelques types de relations de « haut niveau » comme « Temporal », « Spatial », « Usual », « Logic » et « Experience\_Relation ». La spécialisation du type de relation « Experience\_Relation » en « Require », « Generate », « Concern », « Belong » permet de relier dans des graphes conceptuels divers éléments d'expérience (« Experience\_Element »).

### 5.2 Modèles génériques pour les expériences

Le cadre présenté ici se compose principalement d'un ensemble de graphes conceptuels génériques permettant la représentation des expériences. Ces graphes génériques servent de guide dans le processus de retour d'expérience. Quand un événement apparaît et est détec-

té, il est nécessaire de formaliser cet événement et de préciser le contexte dans lequel il s'est produit. Dans un contexte d'amélioration continue, ceci n'est pas suffisant et l'événement doit être analysé selon son contexte (recherche des causes, évaluation des effets sur le système) et une solution doit être proposée. Chaque événement (panne machine, problème de non-qualité sur un produit, etc.) doit être traité très rapidement afin d'éviter sa propagation. Afin de garantir une bonne réactivité, l'analyse doit être rapidement réalisée et peut mener à une solution corrective. Les décideurs ont ainsi besoin d'outils favorisant des réponses rapides aux problèmes, et à cet égard, le retour d'expérience est une bonne solution. Cette méthodologie permet de rechercher dans une base d'expériences si des expériences semblables ont été préalablement capitalisées. De ces expériences, l'analyse et les solutions peuvent être extraites, adaptées au problème courant et, in fine, être à leur tour capitalisées générant ainsi une nouvelle expérience. Le graphe conceptuel générique de la figure 5 utilise un graphe imbriqué pour la représentation d'une expérience générique. L'outil CoGUI (Conceptual Graphs Graphical User Interface) a été utilisé afin de définir l'ontologie, construire les graphes et réaliser les opérations de projection.

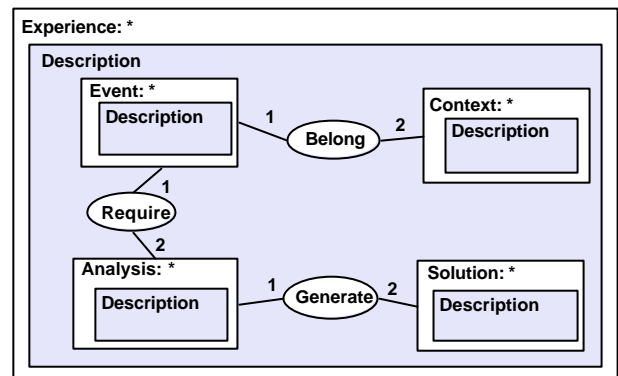


Figure 5. Graphe conceptuel générique pour la modélisation d'une expérience

Cinq concepts issus de l'ontologie formelle (figure 4) sont utilisés : *Event*, *Context*, *Analysis* and *Solution*. Trois relations sont employées *Belong*, *Require* and *Generate*. Ce graphique générique peut être interprété en langage naturel (traduit en Français pour les besoins de cet article) comme : *Une expérience a une description. Cette description est : il y a un événement appartenant à un contexte, cet événement exige une analyse qui génère une solution.* Chacun de ces concepts peut contenir sa propre description. Ce modèle générique doit être instancié chaque fois qu'un événement apparaît. La définition d'une instance à partir du GC générique consiste à définir les marqueurs (choisis dans l'ensemble *I* – cf. §4.1) et à renseigner les descriptions à l'aide de GC. Le marqueur d'un type de concept « Experience » permet de différencier les expériences. Par exemple, le concept « [Experience : Exp1] » signifie qu'il existe une expérience référencée *Exp1*. Implicitement, cette expérience possède une description qui doit être décrite par un GC. Les marqueurs des concepts « Event » et « Context »

doivent être définis lorsque l'événement et son contexte sont modélisés au moyen de GC. Un marqueur différent du marqueur générique « \* » signifie qu'il existe un GC imbriqué pour la description de ces concepts. Similairement, le marqueur de l'analyse et le marqueur de la solution sont définis quand la description de chacun est renseignée.

Une fois le processus de capitalisation d'une expérience engagé, la difficulté principale concerne le choix des bons concepts pour renseigner les différentes descriptions de manière claire, non-ambiguë et consensuelle. Une possibilité consiste à ajouter à certaines descriptions du GC générique (principalement les descriptions d'événement et de contexte) un GC imbriqué prédéfini. Ce GC peut être vu comme l'ensemble minimum d'attributs exigés (avec les relations et les arcs appropriés). Chaque attribut est représenté par un concept. Par exemple, pour décrire le contexte d'un événement dans l'environnement industriel d'un atelier de fabrication, l'ensemble minimum de concepts suivant peut être exigé : {Machine, Actor, Activity, Product, Tool}. Par conséquent, le modèle générique doit être enrichi (ou spécialisé) à l'aide de ces concepts. Un exemple de GC prédéfini utilisant cet ensemble est représenté sur la figure 6.

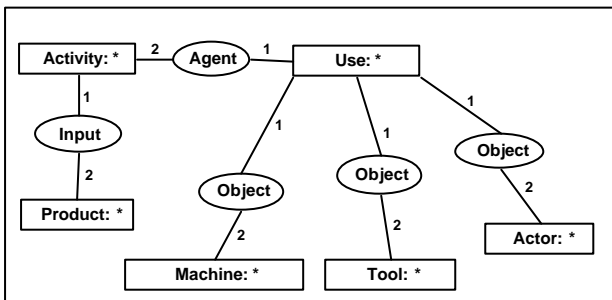


Figure 6. Exemple de GC générique prédéfini pour la description d'un contexte

Le GC de la figure 6 peut être interprété en langage naturel comme : *une activité a une entrée qui est un produit ; cette activité utilise une machine, un acteur et un outil.* L'avantage principal de ce CG générique est que les experts responsables de la résolution de problèmes et de la capitalisation des connaissances sont cadrés. Ils sont contraints de renseigner tous les concepts de l'ensemble minimum. Par contre, la principale limite de ceci est que ce cadre est spécialisé pour un domaine particulier. Une solution flexible consiste à prédéfinir plusieurs GC imbriqués génériques et de les mettre à disposition dans une bibliothèque. Chacun est adapté à un domaine particulier de l'entreprise où l'amélioration continue peut apporter une amélioration des performances (production, qualité, maintenance, management de projets / contrôle de processus industriel, etc.). Pour la description d'un nouvel événement, le GC prédéfini de la figure 7 est proposé.

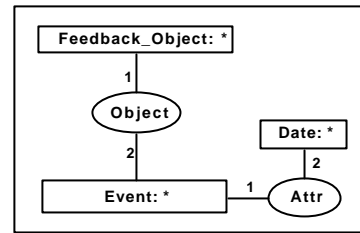


Figure 7. Exemple de graphe conceptuel générique pour la description d'un événement

La possibilité d'ordre partiel entre types de concept du support est exploitée ici afin d'avoir une description suffisamment générique. La traduction en langage naturel est : *Un objet de retour d'expérience est concerné par un événement apparu à une certaine date.* Ainsi, suivant l'événement, le concept « Feedback\_Object » est spécialisé en « Activity », « Process », « Product » ou « Resource ». Similairement, le concept « Event » est spécialisé en « Breaking », « Stop », « Start », « Loss », « Cut », « Late », etc.

Pour la description des analyses et des solutions, aucun GC générique n'est proposé ici. La raison est que l'analyse doit rester « libre », ne pas être influencée ni rigidifiée par un cadre trop stricte qui en briderait nécessairement l'efficacité. Il en est de même pour la solution. En revanche, cette étape de capitalisation pourra être facilitée par la consultation d'expériences similaires grâce au processus de retour d'expérience. Si des événements similaires ont déjà été traités, les experts peuvent bénéficier de l'expérience acquise (voir § 5.4).

### 5.3 Instanciation d'une nouvelle expérience

Le processus d'instanciation d'une nouvelle expérience à partir d'une expérience générique est décrit ci-dessous. Il correspond au processus général présenté figure 2. Après qu'un événement ait été détecté, les acteurs responsables de la résolution du problème doivent instancier une nouvelle expérience à partir d'une expérience générique. Premièrement, un marqueur est affecté au concept « Experience ». Deuxièmement, l'événement est décrit au moyen du GC imbriqué prédéfini (figure 6) tout en utilisant le support. En parallèle, le marqueur de l'événement est défini. Le concept « Feedback\_object » et le concept « Event » doivent être spécialisés correctement et leurs marqueurs définis comme celui du concept « date ». Troisièmement, le contexte est décrit et son marqueur défini. Les étapes suivantes consistent à réaliser l'analyse, trouver une solution, capitaliser l'expérience et mettre en œuvre la solution. Afin d'être assistés, les acteurs peuvent rechercher dans la base d'expériences si un événement semblable s'est déjà produit par le passé.

Ainsi, une requête doit être émise vers la base d'expériences afin de rechercher des expériences potentiellement intéressantes par rapport à l'événement courant. Pour cela, l'opération de projection des GC est utilisée. L'utilisation de cette opération est décrite dans le prochain paragraphe. Si une ou plusieurs expériences

similaires sont trouvées, elles doivent être intégrées par les experts pour établir l'analyse et pour définir une solution au problème courant. Ainsi, l'analyse et la solution sont inspirées et adaptées des expériences précédemment capitalisées.

### 5.4 Extraction d'expériences similaires

Les mécanismes de raisonnement des graphes conceptuels peuvent aider le décideur dans son activité de résolution de problèmes (au moins partiellement). En particulier, l'opération de projection présentée §4.3 met en œuvre des opérations de généralisation/spécialisation dans les GC afin de ne faire apparaître que la connaissance en rapport avec le problème analysé. En utilisant la projection, le système de raisonnement peut trouver non seulement des descriptions des expériences contenant certains concepts et relations mais également des sous-types de ces concepts et relations.

Etant donné un nouvel événement et son contexte, modélisés au moyen de GC, les experts doivent rechercher dans la base les expériences ayant une description de l'événement et/ou du contexte similaire. Pour cela, une requête doit être définie à l'aide d'un GC et l'opération de projection mise en œuvre sur l'ensemble des expériences de la base. Le contenu de la requête est directement déterminé par les experts. Ce peut être une description de l'événement, une description de son contexte (ou une description partielle de l'un et de l'autre). Afin d'être cadré dans la définition de la requête, les GC génériques peuvent être utilisés. La requête n'a pas nécessairement besoin d'être très détaillée. Un simple ensemble de concepts peut suffire. Plus les concepts et les relations de la requête seront génériques, meilleures seront les chances d'obtenir au moins une projection mais,

en revanche, la (ou les) réponses risquent alors d'être éloignées du but recherché.

### 5.4 Exemple d'expérience

Afin d'illustrer la proposition, un exemple d'expérience totalement renseignée est proposé (figure 8 ci dessus). Le GC est réalisé à partir des types de concepts et de relations de l'ontologie proposée §5.1 ainsi que des GC génériques présentés §5.2. Traduit en langage naturel, ce graphe peut être interprété comme suit. *L'expérience Exp1 possède une description : l'événement Evt1 appartient au contexte C1 et nécessite l'analyse A1. Cette analyse produit une solution S1. La description de l'événement est : l'outil de fraisage standard Phi20 s'est brisé le 22/05/2007. La description du contexte est : le produit Px\_10 est l'entrée de l'activité de fraisage qui utilise l'acteur Robert, la machine Huron\_Kx\_10 et l'outil de fraisage standard Phi20. La description de l'analyse est : le produit Px\_10 est en titane avec une dureté incompatible avec l'outil de fraisage standard Phi20. La description de la solution est : remplacer l'outil de fraisage standard Phi20 par l'outil de fraisage en carbure Phi20.*

### 5.5 Exemple de retour d'expérience

Considérant l'expérience de la figure 8 et un nouvel événement se produisant dans son contexte, le GC d'expérience générique est instancié avec le marqueur Exp2. L'événement est décrit par le concept « Event » (marqueur Evt025) et sa description, un GC imbriqué (figure 9). La différence avec l'événement Evt1 concerne le marqueur du concept d'outil (tournage remplace fraisage) et également de la date de l'occurrence.

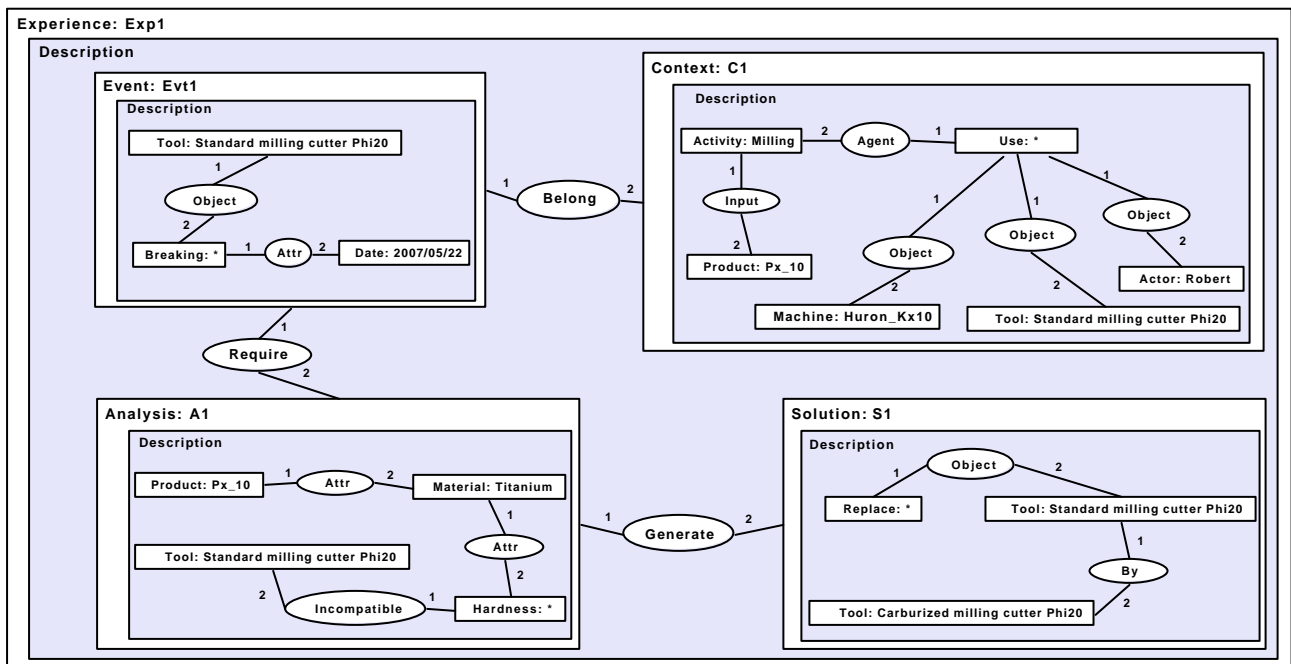


Figure 8. Exemple d'expérience entièrement définie à l'aide du formalisme des Graphes Conceptuels

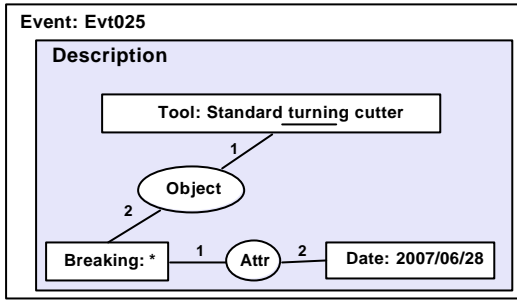


Figure 9. Nouveau concept « Event » avec sa description  
Le contexte C025 a la description suivante (figure 10).

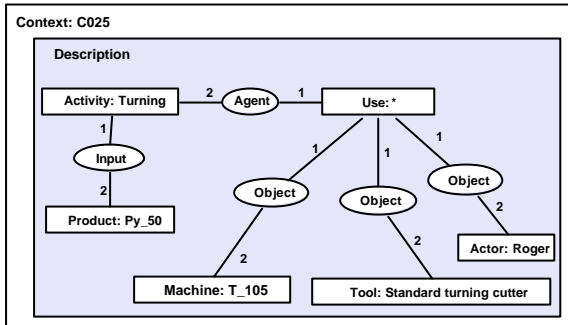


Figure 10. Nouvelle instance du concept « Context » avec sa description

Afin de décrire l'analyse et la solution, l'expert peut exécuter une opération de projection sur les expériences précédemment capitalisées dans la base. Il n'y a qu'une seule expérience (figure 8) capitalisée dans la base d'expériences pour les besoins de cet exemple très simple qui n'a pour ambition que d'illustrer la méthodologie.

Un exemple de requête permettant, par sa projection sur la base, d'extraire des éléments de réponse est représenté figure 11. Cette requête est interprétée comme : *Y a-t-il une expérience pour laquelle la description de l'événement concerne un bris d'outil et où l'analyse et la solution ont des descriptions ?* Ce GC requête est ensuite projeté sur l'expérience Exp1. La projection obtenue (unique dans cet exemple) est représentée sur la figure 12. Cette réponse est interprétée comme : *l'expérience Exp1 concerne l'événement Evt1, l'analyse A1 et la solution S1. La description de l'événement concerne le bris de l'outil de tournage standard Phi20.* Cette expérience précédemment capitalisée ne concerne pas le même outil (une fraise et non pas un outil de coupe fixe), mais la solution peut être utile pour que l'expert trouve une solution. La réponse précise seulement que l'expérience Exp1 semble être utile par rapport à la requête. L'expert doit explorer l'expérience Exp1 afin de trouver (si possible) une solution à son problème. Par conséquent, l'expérience Exp2 peut être entièrement définie en adaptant les concepts d'analyse et de solution. Il est important de préciser que cette activité n'est pas automatisable.

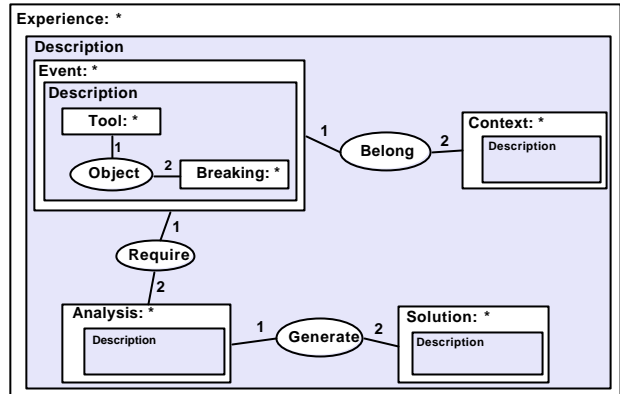


Figure 11. Exemple de graphe conceptuel requête

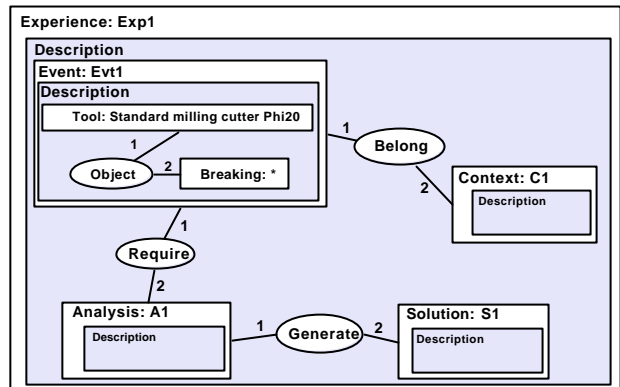


Figure 12. Résultat obtenu par l'opération de projection du GC requête sur le GC expérience Exp1

## 5.6 Leçons apprises

L'étape suivante dans le processus concerne la généralisation à partir d'expériences (leçons apprises). Périodiquement, un comité d'experts analyse la base d'expériences afin de généraliser la connaissance capitalisée. Ce processus de généralisation vise à empêcher la récurrence des événements. Le processus consiste à rechercher dans la base les expériences qui contiennent la connaissance au sujet du thème traité par le comité. Par conséquent, une demande doit être instanciée et une opération de projection effectuée sur la base d'expériences entière. L'ensemble d'expériences obtenu peut contenir la connaissance suffisante pour la généralisation de règles ou la définition de leçons. Il est important de noter également ici que ce processus de généralisation n'est pas automatisable. Son rôle est seulement d'aider les experts pour prendre des décisions appropriées (pour définir les leçons). L'avantage est de capitaliser la connaissance des experts de manière structurée, permettant une assistance de l'ordinateur pour être plus efficace. Une leçon peut être décrite au moyen de deux GC : l'un décrivant l'hypothèse et l'autre la conclusion comme s'il s'agissait d'une règle. Un exemple de leçon est représenté sur la figure 13. Elle peut être interprétée comme : *Si un produit \*x en titane est l'entrée d'une activité de fraisage utilisant l'outil de fraisage standard Phi20, alors : i) le produit \*x est incompatible avec l'outil de fraisage standard Phi20 ; ii) cet outil doit être remplacé par l'outil de fraisage en carbure Phi20.*

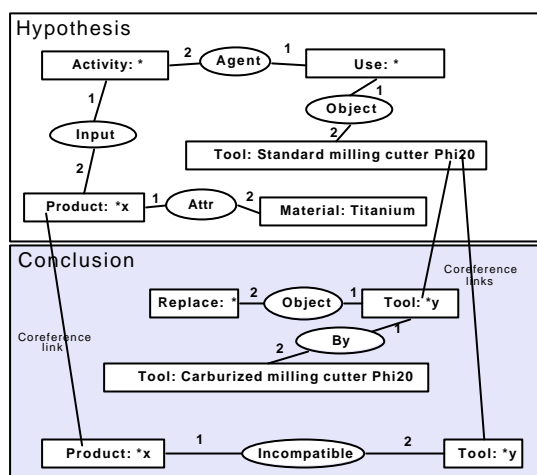


Figure 13. Exemple de graphe conceptuel représentant une leçon apprise

## 6. CONCLUSION

Basé sur un processus de retour d'expérience, l'ontologie du domaine et l'ontologie du Rex, cet article propose une méthodologie permettant de faciliter l'amélioration continue dans les entreprises en utilisant des graphes conceptuels. Ainsi, une méthodologie cadrée par les concepts *événement*, *contexte*, *analyse*, *solution* et *leçon apprise* ainsi que son implémentation grâce aux graphes conceptuels a été proposée. Cette méthodologie permet une réutilisation des expériences passées pour s'aider à résoudre de nouveaux problèmes, capitaliser ces expériences et en induire des leçons apprises. L'idée force est que les acteurs chargés de l'amélioration continue seront cadrés dans les phases de capitalisation et d'exploitation des connaissances en utilisant une ontologie commune. Quatre piliers soutiennent ce cadre : a) une librairie de modèles de Rex réutilisables basée sur les GC ; b) une ontologie formelle pour structurer la représentation des expériences ; c) l'intégration de la méthodologie dans un processus d'amélioration continue bien compris et accepté de tous (PDCA, 6 sigma, etc.) ; d) la base théorique solide des graphes conceptuels et de l'opération de projection (pour le raisonnement) traduisibles en logique du premier ordre et très efficaces dans un contexte de résolution de problèmes. Cette approche est également déclinée selon « l'axe interopérabilité » que le lecteur pourra consulter dans l'article (Kamsu et al., 2008). L'approche présentée ici y est décrite de manière plus précise, placée dans un contexte encore plus général et soutenue par une bibliographie plus conséquente.

Les perspectives de ce travail sont multiples. Dans un premier temps, l'approche mérite d'être évaluée sur des problèmes de taille conséquente afin de la valider. Ensuite, le processus de réutilisation nécessite d'être amélioré par exemple en prenant en compte des connaissances floues ou imprécises. L'étape de modélisation de l'analyse peut également être améliorée en utilisant des outils tels que les arbres de causes, et en calculant l'influence de certains concepts (ou attributs) sur

l'événement étudié. Une approche mêlant graphes conceptuels et réseaux bayésiens est à l'étude.

## 7. BIBLIOGRAPHIE

- Aamodt, A. et E. Plaza, 1994. Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations and system approach. *AI Communications*, 7(1), p. 39-59.
- Baget, J-F. et M.L. Mugnier, 2002. Extensions of Simple Conceptual Graphs: the Complexity of Rules and Constraints, *Journal of Artificial Intelligence Research* (JAIR), vol. 16, p. 425-465.
- Béler C., X. Desforges et L. Geneste, 2006. Architecture de retour d'expérience – Application à la prévention des risques en montagne, MOSIM 06, Rabat.
- Bergmann, R., 2002. Experience Management: Foundations, Development Methodology, and Internet-Based Applications, *vol. 2432 of Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Springer.
- Easterby-Smith, M. et M.A. Lyles (editors), 2003. The Blackwell Handbook of Organizational Learning and Knowledge Management, *Oxford*.
- Faure, A. et G. Bisson, 1999. Modeling the experience feedback loop to improve knowledge base reuse in industrial environment. *Proceedings of KAW 99, Twelfth Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management*, Banff, Canada.
- Hermosillo Worley, J., H. Rakoto, B. Grabot et L. Geneste, 2005. A competence approach in the experience feedback process. In *Integrating Human Aspects in Production Management, IFIP International Federation for Information Processing series*, Vol. 160, p. 220-235, Springer-Verlag.
- Kolb, D., 1984. Experiential learning: Experience as the source of learning and development. *Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall*.
- Kamsu-Foguem B., Coudert T., Beler C., Geneste L., Knowledge Formalization in Experience Feedback Processes: An Ontology-Based Approach, *Journal on Computers in Industry*, 5(59), May 2008.
- Schreiber G., Akkermans H., Anjewierden A., Hoog R.d., Shadbolt N., Velde W. et Wielinga B., 2000. *Knowledge engineering and management*. MIT Press.
- Sowa, J.F., 1984. Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine, *Addison-Wesley Publishing Company*.
- Weber, R., D.W. Aha et I. Becerra-Fernandez, 2001. Intelligent lessons learned systems. *Expert Systems with Applications*, 20(1), p. 17-34.
- Weber, R.O. et D.W. Aha., 2003. Intelligent delivery of military lessons learned. *Decision Support Systems*, 34(3), p. 287-304.
- Zaraté, P., M. Munoz, J.L. Soubie et R. Houé, 2005. Knowledge Management Systems: A process oriented view. *Cybernetics and Systems Analysis, Springer Verlag*, 41(2), p. 274-277.
- Zorn, T.E. et J.R. Taylor, 2004. Knowledge management and/as organizational communication, *D. Tourish and O. Hargie (Eds.), 2004. Key Issues in Organizational Communication*, pp 98-99.