HAL
open science

”Acasya” et ”Sautrel”: Deux mécanismes d’apprentissage d’aide au retour d’expérience

Habib Hadj-Mabrouk

To cite this version:

Habib Hadj-Mabrouk. ”Acasya” et ”Sautrel”: Deux mécanismes d’apprentissage d’aide au retour d’expérience. 4th International Conference on Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications (SETIT’2007), Mar 2007, Hammamet, Tunisie. pp.1-7. hal-03024443

HAL Id: hal-03024443

https://hal.science/hal-03024443v1

Submitted on 31 May 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SETIT 2007
4th International Conference: **S**ciences of **E**lectronic, **T**echnologies of **I**nformation and **T**elecommunications
March 25-29, 2007 – TUNISIA

ACASYA et SAUTREL : Deux mécanismes d'apprentissage d'aide au retour d'expérience

Habib HADJ-MABROUK

2 avenue du Général Malleret-Joinville, 94114 Arcueil, France
mabrouk@inrets.fr

Abstract: L'analyse, l'évaluation et l'exploitation des connaissances de sécurité représentent les tâches fondamentales du processus de retour d'expérience (Rex) d'un système de transport ferroviaire guidé, elle n'en demeure pas moins aujourd'hui le "goulet d'étranglement". En effet, la capitalisation et l'exploitation des connaissances de sécurité se révèlent être des exercices particulièrement délicats et fastidieux qui ne sont pas toujours soutenus par une stratégie formalisée. Afin de rationaliser et renforcer le processus du retour d'expérience, la recherche a pour ambition d'améliorer sensiblement les activités d'analyse et d'exploitation des différentes études de sécurité, en traquant l'erreur au niveau système, matériel, logiciel et humain. L'approche retenue pour atteindre ces objectifs repose en grande partie sur l'emploi des techniques d'intelligence artificielle et notamment sur l'utilisation des méthodes d'acquisition et de modélisation des connaissances, des systèmes à base de connaissances et des méthodes d'apprentissage automatique (notamment le raisonnement à partir de cas). Cet article propose une description détaillée de deux outils complémentaires d'aide au retour d'expérience dans les transports ferroviaires guidés:
- " ACASYA " : Système d'aide à la capitalisation et à l'exploitation des scénarios d'accidents, basé sur des techniques d'apprentissages inductives ;
- "SAUTREL " : Système d'aide à la capitalisation et à l'exploitation des analyses des effets des erreurs de logiciels de sécurité, basé sur le raisonnement à partir de cas.

Key words: Intelligence artificielle, Apprentissage automatique, Raisonnement à partir de cas, Systèmes experts, Transports ferroviaires, Analyses des effets des erreurs de logiciels (AEEL), Scénarios d'accidents/incidents, Retour d'expérience.

INTRODUCTION

L'évaluation de la conception et de la réalisation d'un nouveau système ainsi que la vérification de ses capacités au regard de l'objectif de sécurité, et du maintien dans le temps de ces capacités, sont assurés par un Organisme ou Service Technique Indépendant (OSTI). Cet organisme vérifie notamment que la conception et la réalisation d'un système sont effectuées conformément aux règlements en vigueur et aux règles de l'art qui sont généralement spécifiées dans un dossier préliminaire de sécurité. Ce dernier expose les objectifs et exigences de sécurité poursuivis, les méthodes et techniques mises en œuvre pour atteindre ces objectifs ainsi que la démonstration et la preuve que ces objectifs ont été atteints [1]. Dans ce contexte, les avis émis par l'INRETS, pour aider l'État et l'OSTI à fonder une appréciation sur le respect des exigences de sécurité, portent notamment sur l'adéquation, la complétude, et la traçabilité des méthodes utilisées par le maître d'œuvre pour construire la sécurité au niveau système, logiciel et matériel [2].

Généralement, le processus de construction de la sécurité d'un système de transport ferroviaire comporte plusieurs analyses complémentaires hiérarchisées [3,4] : l'Analyse Préliminaire de Risques (APR), l'Analyse Fonctionnelle de la Sécurité (AFS), et l'analyse de la sécurité du produit réalisé. L'APR a pour but d'identifier essentiellement les accidents potentiels liés au système et à ses interfaces afin de les évaluer et de proposer des solutions pour les supprimer, les réduire ou les contrôler. L'AFS a comme objectif de justifier que l'architecture de conception du système est sécuritaire vis-à-vis des accidents potentiels identifiés par l'APR. L'analyse de la sécurité du produit réalisé concerne l'Analyse de la Sécurité des Logiciels (ASL) et l'Analyse de la Sécurité des Matériels (ASM). L'ASL est généralement basée sur la méthode d'Analyse des

Effets des Erreurs du Logiciel (AEEL). L'ASM met en œuvre plusieurs types d'analyses [5] : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC), Méthode des Combinaisons de Pannes Résumées (MCPR) et Méthode de l'Arbre des Causes (MAC). Dans ce processus, l'une des difficultés consiste à s'assurer de l'exhaustivité et de la cohérence des différentes analyses de sécurité (APR, ASF, ASL, ASM).

Afin d'appréhender cette difficulté, nous avons défini un axe de recherche baptisé " AVIS " (Acquisition et Validation des connaissances de Sécurité). Cet axe de recherche a pour ambition d'améliorer l'élaboration, l'évaluation et l'exploitation des différentes analyses de sécurité, en traquant l'erreur non seulement au niveau système, matériel et logiciel, mais aussi au niveau humain, selon deux axes d'investigation [2,6] :

- Un axe méthodologique, en s'interrogeant sur les perfectionnements possibles des démarches usuelles d'analyse de sécurité et en proposant des méthodes et stratégies d'évaluation de ces analyses en termes de cohérence, de complétude et de traçabilité.
- Un axe opérationnel, en développant des outils logiciels d'aide à la conception et à l'examen des analyses de sécurité qui intègrent notamment des systèmes d'acquisition, de modélisation, de capitalisation et d'exploitation de ces analyses.

L'axe de recherche "AVIS " est composé de huit projets complémentaires [2]. Cet article présente seulement une description simplifiée des deux projets complémentaires dont l'objectif est de renforcer et systématiser le processus du retour d'expérience :

- "ACASYA" : Système d'aide à la capitalisation et à l'exploitation des scénarios d'accidents, basé sur des techniques d'apprentissages inductives ;
- "SAUTREL" : Système d'aide aux analyses des effets des erreurs de logiciels (AEEL) de sécurité, basé sur le raisonnement à partir de cas.

L'approche suivie pour concevoir et mettre en œuvre ces deux outils (ACASYA et SAUTREL) d'aide au retour d'expérience fait intervenir deux grandes activités complémentaires [2,3] :

1. Extraire, formaliser et archiver les situations d'insécurité de façon à constituer une bibliothèque de cas types couvrant l'ensemble du problème. Cette activité a nécessité le recours aux techniques d'acquisition et de modélisation des connaissances ;
2. Exploiter les connaissances archivées afin d'en dégager un savoir-faire en analyse de sécurité susceptible d'aider les experts à juger l'exhaustivité de l'analyse de sécurité proposée par le constructeur. Les approches mises en œuvre pour cerner cette deuxième activité sont fondées essentiellement sur l'emploi des méthodes d'apprentissage automatique (induction, déduction, analogie) et des systèmes experts.

1. ACASYA : Outil d'aide a la capitalisation des scénarios d'accidents

L'objectif de la recherche consiste à développer un système à base de connaissances d'aide à la formalisation, à l'archivage, à la classification et à l'évaluation des scénarios contraires à la sécurité. ACASYA a pour ambition d'améliorer les analyses de sécurité fonctionnelles (ASF) notamment en termes de complétude [7,8,9,10]. Le but des ASF est de justifier que l'architecture de conception du système est sécuritaire vis-à-vis des risques identifiés par l'Analyse Préliminaire de Risques (APR) et par conséquent de s'assurer que toutes les dispositions de sécurité sont prises en compte pour couvrir les risques. Ces analyses fournissent des critères de sécurité pour la conception du système et la réalisation des équipements matériels et logiciels de sécurité. Elles imposent aussi des critères de sécurité liés au dimensionnement, à l'exploitation et à la maintenance du système. Les ASF peuvent mettre en évidence des scénarios contraires à la sécurité qui nécessitent une reprise de la spécification. Les travaux réalisés dans le cadre du projet ACASYA ont permis [3,9] :

1. De constituer une base qui regroupe une soixantaine de scénarios d'accidents ;
2. D'élaborer un formalisme de représentation des scénarios d'accidents (description statique et description dynamique) ;
3. De développer une maquette ACASYA qui s'articule autour de deux principaux modules :

- CLASCA (figure 2) est une maquette de système d'apprentissage inductif destiné à la classification des scénarios ;
- EVALSCA (figure 3) est une maquette de système expert d'aide à l'évaluation des scénarios d'accidents. Cette maquette, développée autour du système d'apprentissage de règles CHARADE [20], a pour objectif de suggérer aux experts d'éventuelles pannes non considérées lors de l'analyse de sécurité.

1.1. Caractérisation d'un scénario d'accident

Un scénario d'accident décrit un concours de circonstances qui peut conduire à une situation non désirable, voire dangereuse. Il est caractérisé par un contexte et un ensemble d'événements et de paramètres. L'acquisition des connaissances a débouché sur la mise en forme d'un modèle fondé notamment sur l'identification des huit paramètres décrivant un scénario d'accident (figure 1).

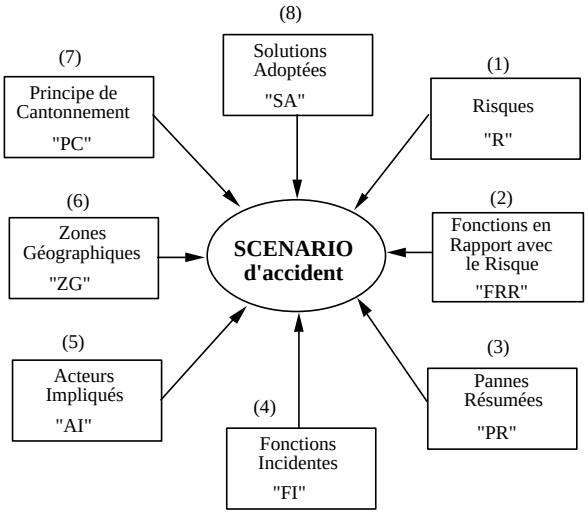

Fig 1. Paramètres descriptifs d'un scénario d'accident [3,8]

- *Risque :* Le risque est généralement caractérisé par le couple probabilité d'occurrence de l'accident potentiel et la gravité des conséquences engendrées. Dans le domaine de la sécurité des transports automatisés, plusieurs risques (ou accidents potentiels) ont été recensés, tels que la collision, le déraillement, l'électrocution.
- *Fonctions en rapport avec le risque :* Ce sont des fonctions de protection destinées à rendre le risque nul ou acceptable pour l'usager. Par exemple, les fonctions commutation de redondance, accostage, localisation des trains, sont relatives au risque de collision.
- *Pannes résumées :* Une panne résumée (PR) est une panne générique, résultant du groupement d'un ensemble de pannes élémentaires ayant la même conséquence sur le comportement du système. Chaque scénario fait intervenir une ou plusieurs PR. Une liste des PR de l'ensemble des scénarios acquis à ce jour, relatives au risque de collision, a été établie. Un échantillon de quelques PR est donné ci-dessous :
  - PR1 : pénétration d'une rame sur un canton occupé
  - PR2 : rame en panne d'émetteur anticollision
  - PR3 : masquage d'alarme par initialisation
- *Fonctions incidentes :* Ce sont des fonctions liées à l'exploitation du système qui peuvent favoriser l'impact et les conséquences d'un scénario d'accident. Ces fonctions peuvent jouer le rôle de déclencheur de situations contraires à la sécurité. On a pu distinguer quatre fonctions incidentes fondamentales : gestion des itinéraires, régulation de trafic, transmission, consignes d'exploitation (consistance des consignes et vigilance des opérateurs).
- *Acteurs impliqués :* On a pu déterminer une liste des acteurs impliqués dans l'ensemble des scénarios d'accidents tels que les rames, l'opérateur au poste de commande centralisé (PCC), le pilote automatique (PA).
- *Zones géographiques :* Les cinq principales zones géographiques recensées sont : terminus, station, ligne, zone d'injection de rame, limite de tronçon.
- *Principe de cantonnement :* On distingue actuellement trois principes de cantonnement dans les systèmes de transports automatisés : canton fixe (VAL de Lille), canton mobile (MAGGALY de Lyon) ou canton virtuel (METEOR de Paris).
- *Solutions adoptées :* Le constructeur propose plusieurs solutions pour chaque scénario qui met en défaut la sécurité, dont une est réalisée. Une liste des solutions adoptées (SA) relatives à l'ensemble des scénarios acquis a été établie. On peut en citer l'extrait suivant :
  - SA1 : faire intervenir la position d'aiguillage
  - SA4 : faire le bilan des rames présentées en ligne
  - SA7 : augmenter la longueur du canton mobile

1.2. Modèle de représentation des scénarios

L'analyse du concept de scénario a révélé deux aspects fondamentaux [3,7]. Le premier, statique, permet de caractériser le contexte, et le second, dynamique, met en évidence les possibilités d'évolution dans ce contexte, tout en soulignant le cheminement qui débouche sur une situation d'insécurité. Le formalisme retenu pour la description statique est celui d'une fiche (attributs/valeurs) dans laquelle plusieurs paramètres descriptifs essentiels sont décrits en termes de paires attribut/valeur. Très schématiquement, les systèmes de transport guidés sont considérés comme un assemblage de briques de base et un nouveau système possède des briques communes avec des systèmes déjà connus. Dans le cadre de la présente étude, les briques de base identifiées à ce jour sont regroupées dans la fiche descriptive, alors que les briques communes sont recherchées puis exploitées par l'outil ACASYA pour déduire la classe d'appartenance d'un nouveau scénario (module CLASCA) ou évaluer sa complétude (module EVALSCA).

Pour la description dynamique nous avons repris le formalisme déjà utilisé des réseaux de Pétri, tout en le structurant de façon à mettre en évidence trois composantes essentielles : l'environnement externe du système (partie opérative), l'environnement interne (partie commande) et l'interface qui assure la communication entre les deux environnements. Le réseau de Pétri permet de focaliser l'étude sur un environnement particulier du système pour lequel diverses séquences d'animation peuvent être envisagées. Chacune de ces séquences correspond à un scénario et est décrite sous forme d'un tableau dit tableau de séquencement du marquage [3,7,8].

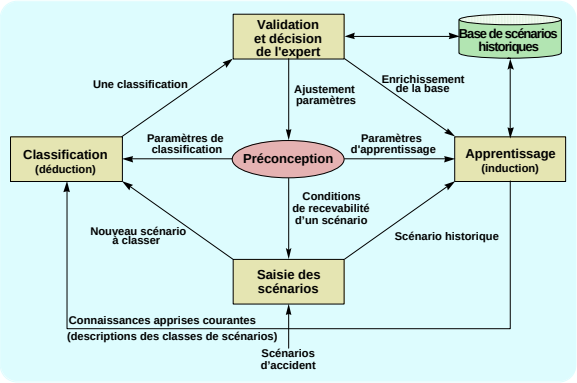

Fig 2. Architecture fonctionnelle de la maquette du système CLASCA [3,9]

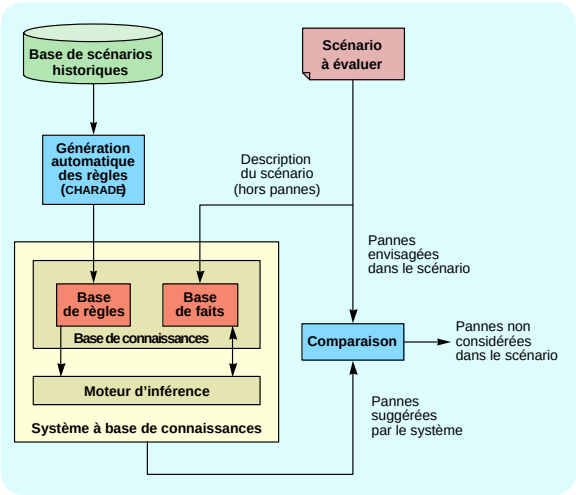

Fig 3. Architecture fonctionnelle de la maquette du système EVALSCA [3,8]

1.3. Intérêts, limites et extensions d'ACASYA

Le système ACASYA réalisé pour l'aide à l'analyse de la sécurité des systèmes de transport terrestres automatisés répond aux objectifs de classification et d'évaluation des scénarios d'accidents. Il montre la complémentarité des techniques d'apprentissage automatique et d'acquisition de connaissances pour faciliter le processus de transfert des connaissances de certification. Le formalisme de représentation des scénarios d'accidents composé des deux descriptions statique et dynamique permet d'aider les experts à mieux structurer et conceptualiser leur savoir et de proposer éventuellement aux constructeurs des systèmes de transport un cadre méthodologique pour une définition plus exhaustive des scénarios. Renforcer en aval les méthodes classiques d'analyse de sécurité constitue l'un des apports originaux d'ACASYA. Contrairement aux systèmes d'aide au diagnostic, ACASYA se présente comme un outil d'aide à la prévention des défauts de conception. Lors de la conception d'un nouveau système, le constructeur s'engage à respecter les objectifs de sécurité définis. Il doit démontrer que le système est réalisé de telle sorte que l'ensemble des risques est couvert. À l'opposé, les experts de certification visent à montrer que le système n'est pas sécuritaire et dans ce cas à déceler les causes d'insécurité. Construit dans cette seconde optique, ACASYA est un outil qui évalue la complétude de l'analyse proposée par le constructeur. ACASYA est au stade d'une maquette dont la première validation montre l'intérêt de la méthode d'aide au retour d'expérience proposée et qui requiert certaines améliorations et extensions.

2. " SAUTREL " : Outil d'aide a l'analyse des effets des erreurs de logiciel

Le projet " SAUTREL " d'aide à la capitalisation et à l'exploitation des analyses des effets des erreurs de logiciels (AEEL) est basé sur le raisonnement à partir de cas.

2.1. Le raisonnement à partir de cas

Le raisonnement à partir de cas (ou Case Based Reasoning : C.B.R.) est un des types de raisonnement en IA, dans le domaine de l'apprentissage automatique. Raisonner à partir de cas signifie se remémorer des situations passées, similaires à la situation courante et utiliser ces situations pour aider à résoudre la situation courante [11,12,13]. Le principe général du CBR consiste à traiter un nouveau problème (cas cible) en se remémorant des expériences passées voisines (cas de référence).

Ce type de raisonnement repose sur l'hypothèse suivante: si une expérience passée et la nouvelle situation sont suffisamment similaires, alors tout ce qui peut être expliqué ou appliqué à l'expérience passée (base de cas) reste valide si on l'applique à la nouvelle situation qui représente le nouveau problème à résoudre. D'un point de vue très global, le CBR met en œuvre une base d'expériences ou de cas, un mécanisme de recherche et d'extraction des cas similaires et un mécanisme d'adaptation et d'évaluation des solutions des cas extraits pour résoudre le problème spécifié (figure 4).

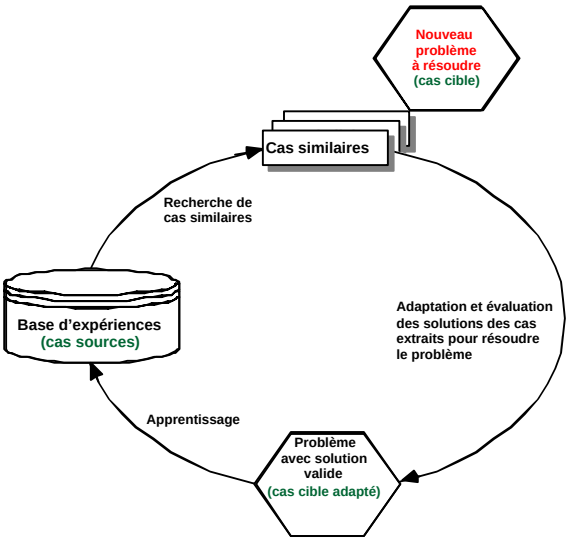

Fig 4. Cycle du raisonnement à partir de cas [2]

2.2. La méthode d'analyse des effets des erreurs de logiciel (AEEL)

Il est actuellement impossible de démontrer de manière irréfutable qu'un logiciel est exempt de toute erreur. En France et dans le domaine de la sécurité ferroviaire, la technique du monoprocesseur codé est utilisée pour assurer la sécurité d'exécution des logiciels. Cependant, cette technique n'assure pas de protection vis-à-vis des erreurs de conception du logiciel, des erreurs de conformité du code, des erreurs du logiciel de sécurité non codé et enfin des erreurs d'implémentation du processeur codé. L'AEEL peut, quant à elle, prendre en charge, entre autres, l'analyse de ces erreurs [14,15,16,17]. L'AEEL est une démarche d'analyse inductive dont le but est la détermination de la nature et de la gravité des conséquences des défaillances du logiciel. Elle permet également de guider les activités de validation et de maintenance du logiciel en indiquant les modules les plus critiques vis-à-vis de la sécurité. En effet, l'AEEL permet d'estimer le niveau d'effort de validation à effectuer sur les divers éléments du logiciel et en particulier, de guider les relectures de code et de mieux cibler les tests.

2.3. Maquette de faisabilité du système SAUTREL

L'approche retenue pour concevoir et mettre en œuvre l'outil "SAUTREL" repose en grande partie sur l'emploi du raisonnement à partir de cas, et fait intervenir les trois grandes étapes suivantes : acquisition et modélisation des connaissances d'AEEL, constitution d'une base de cas d'AEEL et enfin développement de l'outil "SAUTREL". L'étape d'acquisition et de modélisation a débouché sur l'élaboration d'un formalisme d'AEEL qui tient compte des usages et de l'expérience de l'INRETS en la matière. Ce modèle est fondé sur huit paramètres caractéristiques : Système étudié, Sous-système étudié, Module étudié, Erreur envisagée (famille, classe, type), Critère de sécurité non respecté par l'erreur, Événement redouté, Type et gravité du dommage, Barrière et moyens de détection de l'erreur. Ce formalisme a été établi à partir de l'examen de 800 fiches AEEL relatives à deux systèmes de transport certifiés. Sur la base du modèle de représentation précédent, nous avons constitué une bibliothèque de 224 cas types. Ces exemples historiques d'AEEL sont issus de l'examen de deux systèmes de transport guidés : MAGGALY de Lyon et TVM 430 du TGV Nord.

La maquette "SAUTREL" a été réalisée sur PC à l'aide du logiciel ReCall de la société ISOFT et comporte quatre principaux modules [2, 16] (figure 5):

1. Interface Homme/Machine pour l'introduction, la mise à jour et la consultation des connaissances relatives aux AEEL ;
2. Module de formalisation et d'acquisition des fiches AEEL (figure 6) ;
3. Base de connaissances qui regroupe 224 cas d'AEEL (base d'expériences) ;
4. Processus de raisonnement à partir de cas qui comporte principalement :
   - Un mécanisme d'indexation (ou de caractérisation) de cas cible (figure 7) ;
   - Un mécanisme de recherche et de recueil de cas similaires ou cas source (figure 8) ;
   - Un mécanisme d'adaptation des solutions des cas extraites afin de résoudre le problème spécifié par le cas cible.

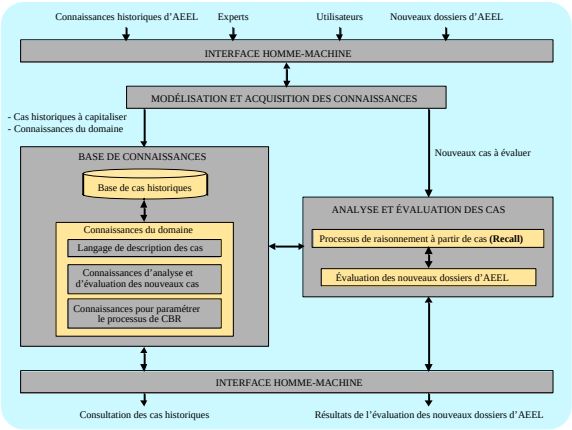

Fig 5. Architecture fonctionnelle de la maquette du système " SAUTREL " [2,16,17]

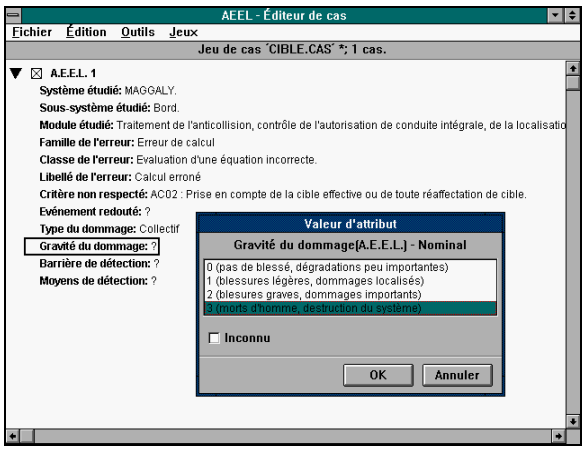

Fig 6. Exemple de cas cible en cours de saisie [16]

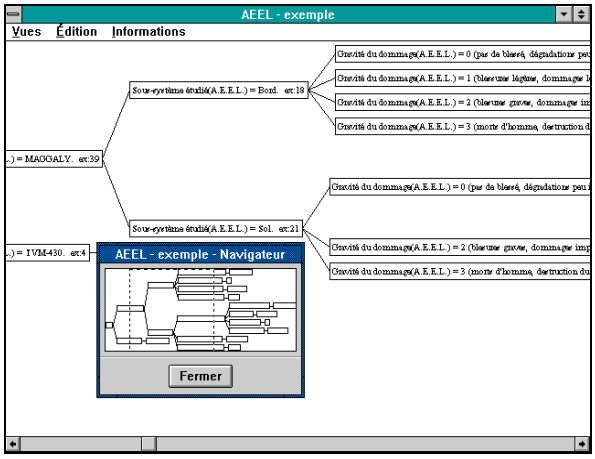

Fig 7. Exemple d'arbre d'indexation [16]

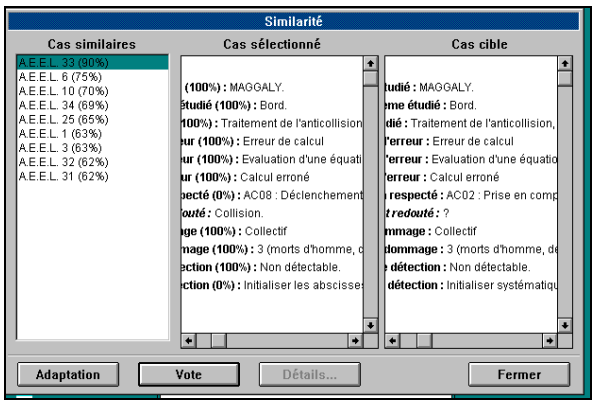

Fig 8. Visualisation des cas similaires [16]

2.4. Apports et limites de l'outil "SAUTREL"

L'originalité de l'outil "SAUTREL" d'aide à l'Analyse des Effets des Erreurs du Logiciel (AEEL) réside non seulement au niveau de sa capacité à capitaliser, à pérenniser et à diffuser l'expertise en matière d'AEEL, mais il représente aussi les premiers travaux de recherche sur l'application du raisonnement à partir de cas aux AEEL [19]. En effet, il n'existe pas actuellement, à notre connaissance, d'outil d'aide à l'élaboration et à l'évaluation des AEEL dans le domaine des systèmes de transport guidés. L'outil " SAUTREL " est à ce jour une maquette dont la première validation montre l'intérêt de la démarche d'aide aux AEEL proposées et qui, de ce fait, requiert certaines améliorations et extensions. Ces améliorations portent notamment sur le choix des critères d'évaluation des nouveaux cas d'AEEL, l'amélioration des stratégies d'adaptation des solutions proposées par le système, l'enrichissement de la base de cas d'AEEL pour couvrir l'ensemble du problème et enfin l'amélioration et la validation du formalisme de représentation des AEEL élaborées. En effet, ce modèle est perfectible et il ne s'agit encore que d'une base de travail pour la définition d'un modèle générique. En particulier, l'exhaustivité et la pertinence des descripteurs (ou paramètres) retenus pour caractériser une AEEL nécessitent pour certains une étude plus approfondie.

3. Conclusion

Cet article a présenté notre contribution à l'amélioration des méthodes usuelles d'analyse et d'évaluation de la sécurité employées dans le cadre de la certification des automatismes des systèmes de transports ferroviaires guidés. Cette contribution, basée sur l'utilisation des techniques d'intelligence artificielle, s'est concrétisée par l'élaboration de plusieurs approches et outils d'aide à la modélisation, à la capitalisation, à l'évaluation et à l'exploitation des connaissances de sécurité. Les outils logiciels développés ont deux principales vocations : d'une part archiver et pérenniser l'expérience en matière d'analyse de sécurité et d'autre part aider les acteurs impliqués dans le développement et la certification des systèmes dans leur tâche laborieuse d'évaluation des études de sécurité. A ce jour, ces outils sont au stade de maquettes dont la première validation montre l'intérêt des approches proposées et qui requièrent certaines améliorations et extensions afin qu'ils puissent être non seulement exploitables en milieu industriel, mais aussi adaptables à d'autres domaines où le problème d'examen de la sécurité se pose.

REFERENCES

[1] HADJ-MABROUK H., DESFRAY P., Législation et réglementation de la sécurité dans les transports publics guidés. Revue Générale des Chemins de Fer, Éditions DELVILLE, n° 7, juillet/août 2000, pp 11-23.

[2] HADJ-MABROUK H., Acquisition et évaluation des connaissances de sécurité des systèmes industriels. Application au domaine de la certification des systèmes de transport guidés. Thèse d'Habilitation à Diriger des Recherches. Université de Compiègne, Février 1998.

[3] HADJ-MABROUK H., Apprentissage automatique et acquisition des connaissances : deux approches complémentaires pour les systèmes à base de connaissances. Thèse de doctorat en Automatique Industrielle et Humaine. Université de Valenciennes, Décembre 1992.

[4] HADJ-MABROUK H., Méthodes et outils d'aide à l'évaluation du processus de construction de la sécurité des systèmes de transport automatisés. Conférence Internationale sécurité des systèmes industriels automatisés, Montréal, 1999.

[5] HADJ-MABROUK H., " L'acquisition des connaissances pour l'élaboration d'une base de scénarios d'accidents ". Lettre de la sûreté de fonctionnement, n° 50, Édition EC2 & Développement, Paris, septembre 1997, pp 3-16.

[6] HADJ-MABROUK H., Contribution des techniques d'intelligence artificielle à l'analyse de la sécurité des transports ferroviaires. STA'2005 : 6e Conférence Internationale des Sciences et des Techniques de l'Automatique. Sousse, Tunisie, 19-21 décembre 2005

[7] HADJ-MABROUK H., HOURIEZ B., EL KOURSI M., LE TRUNG B. " Méthodologie d'analyse et d'évaluation de la sécurité basée sur les techniques d'intelligence artificielle ". Revue européenne de diagnostic et sûreté de fonctionnement. Vol.2, n° 1/1992

[8] HADJ-MABROUK H., " ACASYA : a learning system for functional safety analysis ". Revue Recherche Transports Sécurité, n° 10, pp 9-21, France, Septembre 1994.

[9] HADJ-MABROUK H., " CLASCA, EVALSCA et GENESCA : trois mécanismes d'apprentissage dédiés respectivement à la classification, à l'évaluation et à la génération des scénarios d'accidents ". La lettre de l'intelligence artificielle, n° 126/127, Éditions EC2 & Développement, Paris, septembre/octobre 1997, pp 9-15.

[10] HADJ-MABROUK H., MEJRI L. "ACASYA : a knowledge-based system for aid in the storage, classification, assessment and generation of accident scenarios ". Congrès IEEE, Computational engineering in systems applications. Nabeul-Hammamet, Tunisia, April 1-4, 1998.

[11] KOLODNER J., Case-Based Reasoning. Morgan-Kaufmann Publishers, Inc., 1993.

[12] PINSON S., MAURICE-DEMOURIOUX M., LAASRI B., LEVALLET C., Le Raisonnement à Partir de Cas : Panorama et Modélisation Dynamique, Séminaire Raisonnement à Partir de Cas, LAFORIA, rapport 93/42, 1er octobre 1993.

[13] SLADE S., Case-Based Reasoning : a Research Paradigm, Artificial Intelligence Magazine vol.12, spring, 1991, pages 42 à 55.

[14] THIREAU PH., Méthodologie d'Analyse des Effets des Erreurs du Logiciel (A.E.E.L.) appliquée à l'étude d'un logiciel de haute sécurité, 5° colloque international de fiabilité et de maintenabilité, Biarritz, 1986.

[15] Norme AFNOR, Installations fixes et matériel roulant ferroviaires. Informatique - Sûreté de fonctionnement des logiciels, Norme F 71 012 et F 71 013, 1990.

[16] DARRICAU M., Apport du raisonnement à partir de cas à l'analyse des effets des erreurs de logiciels. Application à la sécurité des logiciels critiques dans les transports guidés, Rapport de fin d'études d'ingénieur, sous la direction de Hadj-Mabrouk, INRETS, juin 1995

[17] DARRICAU M., HADJ-MABROUK H., “ Étude de faisabilité d’un outil d’aide aux analyses des effets des erreurs des logiciels, basé sur le raisonnement à partir de cas. Application à la sécurité des systèmes de transport guidé ”. Huitièmes journées internationales du génie logiciel et de ses applications. Paris-La-Défense, 15-17 novembre 1995, pp 677-689.

[18] HADJ-MABROUK H., DARRICAU M., MEJRI L., Contribution of case-- based reasonning to the software error effect analysis. International conference on artificial and computational intelligence for decision, control and automation in engineering and industrial application. ACIDCA’2000, Tunisie 22-24 march 2000, pp 83-89

[19] HADJ-MABROUK H., Apport du raisonnement à partir de cas à l’analyse de la sécurité des logiciels, SETIT 2005, 3rd International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications, March 27-31, 2005 – TUNISIA

[20] GANASCIA J.-G., AGAPE et CHARADE : deux mécanismes d'apprentissage symbolique appliqués à la construction de bases de connaissances, Thèse d'État, Université Paris-Sud, mai 1987.