



HAL
open science

Cas d'étude de mission ferroviaire télé-opérée

Sana Debbech, Simon Collart-Dutilleul, Philippe Bon

► **To cite this version:**

Sana Debbech, Simon Collart-Dutilleul, Philippe Bon. Cas d'étude de mission ferroviaire télé-opérée. [Rapport de recherche] IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux. 2018, 11p. hal-02020997v1

HAL Id: hal-02020997

<https://hal.science/hal-02020997v1>

Submitted on 15 Feb 2019 (v1), last revised 16 Jul 2019 (v2)

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.

Cas d'étude de mission ferroviaire télé-opérée

Sana Debbech, Simon Collart-Dutilleul, Philippe Bon

Novembre 2018

Chapitre 1

Introduction

Lors de la conception d'un nouveau système, une analyse préliminaire des risques est requise. Une fois les risques bien identifiés, le but est de formaliser une défense à chaque défaillance vraisemblable. Imaginons par exemple, que dans le cadre d'un nouveau système, on souhaite piloter un train à partir d'un poste de conduite à distance en s'appuyant sur des moyens de télécommunications modernes et un dispositif technique de perception de l'environnement embarqué dans le train ; le nouveau système intégrant ces dispositifs particuliers de perception de l'environnement et de télé-opération nécessite une analyse de sécurité globale. Cette analyse de sécurité doit considérer l'aspect socio-technique du système et son environnement.

Dans cette étude, on va s'intéresser à un aspect particulier de la vie du conducteur de train : les opérations à effectuer lors d'une mission de conduite qui ne sont pas directement des actes de conduite. Dans cette catégorie d'opérations, on trouvera la protection d'obstacles se situant sur la voie et empêchant l'exploitation de l'infrastructure, ainsi que les opérations de sécurisation d'un train lorsqu'il est mis en échec lors d'une circulation sur un plan incliné appelé rampe dans le milieu ferroviaire. En effet, selon le chargement, les conditions d'adhérence et la puissance de la motrice, une rampe peut ne pas être franchie. Dans cette situation, le conducteur peut s'appuyer sur sa vitesse initiale pour prendre son élan et franchir la rampe. Cependant des incidents de circulations peuvent entraîner un arrêt inopiné et dans ce cas particulier, on ne pourra plus s'appuyer sur l'inertie du train. Par conséquent, un démarrage en rampe doit être mis en œuvre si le contexte le permet. En cas d'échec, il est prescrit que le conducteur protège son train contre la dérive arrière en posant des cales. Cependant, dans le cas d'une télé-opération, le conducteur n'est pas présent dans la cabine et ne peut donc pas poser ces cales.

Ce rapport présente un travail académique **conceptuel**. Il vise à formaliser les étapes permettant une organisation de mission télé-opérée en intégrant le fait que les rampes doivent être franchies dans des conditions de sécurité raisonnables. Dans le cadre de l'évolution des infrastructures ferroviaires, on veut s'appuyer sur la valorisation des connaissances utilisées par un conducteur de lignes pour planifier sa mission. La proposition académique formalise la question suivante : « Comment le télé-opérateur pourrait valoriser la connaissance dont il dispose pour planifier sa mission en intégrant le nouveau contexte technologique ? ».

Chapitre 2

Cas d'étude de la préparation de la mission

2.1 Description du scénario

Dans cette étude, nous considérons deux scénarios spécifiant le déroulement de la préparation d'une mission télé-opérée en fonction des circonstances de la mission. Le *scénario nominal* consiste au déroulement de la mission dans les conditions classiques pour lesquelles le conducteur maîtrise parfaitement et de manière quasi-automatique les gestes du métier. Le *scénario nominal* est décrit comme suit :

1. Le conducteur d'un train de fret prend connaissance de la météo et du contexte général de sa mission. Pour cela, il contacte notamment le responsable de l'entrepôt où son train est garé.
2. Le conducteur prend connaissance de la constitution de son train à partir des documents qui lui sont fournis.
3. Le conducteur prend connaissance des capacités effectives de son train à l'aide d'essai des freins.
4. À l'issue de cette étape de prise de connaissance, le conducteur décide d'organiser la mission de manière classique.

À l'issue de l'étape 4, le conducteur peut constater qu'il existe un risque que son train ne soit pas capable de traverser une rampe présente sur son trajet. Le *scénario dégradé* définit ci-dessous se déroule en fonction du contexte de la mission et de l'intention de l'agent :

Il vérifie sur les documents dont il dispose si son matériel est équipé d'un dispositif de dépose de calles automatiques contre le refoulement en dérive et efficace pour la rampe considérée :

1. Si c'est le cas et s'il estime que le risque associé au non passage de la rampe est très faible (par exemple, cas d'une cuvette minimisant le risque de dérive arrière), il décide d'organiser normalement la mission.

2. Sinon (pas de dispositif de cales automatiques ou risque trop important malgré les calles), il reprend contact avec le site de la circulation et l'entrepôt pour demander :
 - (a) Soit la mise à disposition d'une locomotive de remplacement pour être en mesure d'effectuer la mission.
 - (b) Soit l'utilisation d'une deuxième locomotive de manière à être capable de passer la rampe dans des conditions acceptables. Remarquons que l'utilisation d'une locomotive complémentaire télé-opérée va probablement éviter la mise sous astreinte de conducteurs et va diminuer les délais d'acheminement de ces derniers.

Dans ce scénario, le danger consiste en la dérive d'un train en marche arrière, emporté par son poids après un arrêt au milieu d'une rampe sévère suite à un défaut d'adhérence et/ou de puissance lors du franchissement. Dans cette situation critique, le contexte de la mission est constitué de différents éléments liés à la fois au matériel roulant, à la connaissance de l'infrastructure et des règlements de circulation, aux conditions météo et à l'historique des mission effectuée par les train précédents dans des conditions similaires. Le poids du train et sa constitution, ses propres capacités sachant qu'il peut y avoir des dispersions importantes entre les matériels notamment en fonction de l'usure, les conditions météo (rail mouillé, présence de givre, etc..), sont des paramètres critiques à identifier lors des phases de prise de connaissance.

2.2 Analyse & Interprétation

Le déroulement de ce scénario s'appuie notamment sur la prise de connaissance préalable du contexte global de la mission. Dans cette étude, nous formalisons la modélisation conceptuelle d'une mission en considérant les caractéristiques de la connaissance du domaine. Dans cette conceptualisation, trois connaissances de domaine sont considérées, à savoir :

- l'analyse de sécurité,
- l'ingénierie des exigences orientée-but (GORE) [Van Lamsweerde 2001],
- le concept contexte dérivé du modèle de contrôle d'accès basé sur l'organisation (Or-BAC) [El Kalam et al. 2003].

Généralement le modèle de contrôle d'accès (Or-BAC) est utilisé pour assurer la sécurité des systèmes d'informations (SI), une ré-interprétation des concepts de point de vue sûreté des systèmes critiques à la sécurité est nécessaire et a été proposée dans [Debbech et al. 2018a]. Ensuite, une interprétation de ses concepts dans la sémantique du monde réel a été argumentée dans [Debbech et al. 2018b]. Afin d'assurer l'homogénéité sémantique entre les différentes connaissances de domaine, la modélisation conceptuelle doit être établie en se référant à une ontologie de haut niveau. À partir de la définition de l'ontologie proposée par [Gruber 1993], nous définissons une ontologie de haut niveau comme une représentation structurée et explicite d'un domaine avec des concepts et des relations fondamentales. Dans la littérature, les ontologies de niveau supérieur ou fondamentales sont largement utilisés dans le développement des ontologies du domaine dans la sémantique du monde réel. Cette pratique de l'ingénierie de connaissances permet d'approximer la conceptualisation à la représentation idéale du domaine en terme de consistance et de complétude. L'analyse des ontologies fondamentales existantes, tel que BFO [Spear et al. 2016], DOLCE [Borgo & Masolo 2010] et UFO [Guizzardi 2005], nous permet d'affirmer que UFO propose un ensemble de concepts et de caractéristiques fondamentales très utiles pour couvrir les aspects de cette

étude. Ce choix a été justifié dans [Debbech et al. 2018b] en considérant à la fois les aspects des domaines de cette étude et la pertinence de la taxonomie fondamentale proposée par UFO. Par conséquent, la conceptualisation proposée et son développement sont respectivement fondés sur UFO et ses distinctions ontologiques du «pattern design».

Afin de gérer l'aspect dynamique des systèmes critiques de sécurité tel que les systèmes ferroviaires, la notion du contexte est pertinente afin de saisir la connaissance liée à l'adaptation de l'organisation de la mission. En alignant les concepts introduits dans cette étude avec les concepts UFO, nous définissons le contexte comme une situation spécifique qui justifie la validité de la mesure de sécurité considérée pour éviter un risque. Autrement dit, la mesure de sécurité identifiée s'adapte au contexte perçu au moment de l'organisation de la mission. Cependant, le contexte global peut être décomposé en un ensemble de sous-contextes s'il est estimé critique en incluant plusieurs éléments à la fois. À l'issue de cette interprétation, nous proposons le modèle conceptuel illustré par la figure 2.1. Le langage de représentation du modèle conceptuel est OntoUML, une extension des diagrammes de classe UML 2.0 pour assister la modélisation conceptuelle de haut niveau et l'ingénierie des ontologies de domaine [Guizzardi 2005]. Il intègre les importantes distinctions et caractéristiques proposés par UFO pour obtenir une représentation explicite et structurée d'une connaissance de domaine. La relation d'héritage en UML 2.0 est définie comme une relation de subsomption dans OntoUML. La relation de subsomption est une relation binaire entre un super-concept et un sous-concept. Plus de détails concernant les définitions des concepts UFO et l'alignement avec les concepts introduits peuvent être trouvés dans [Debbech et al. 2018b].

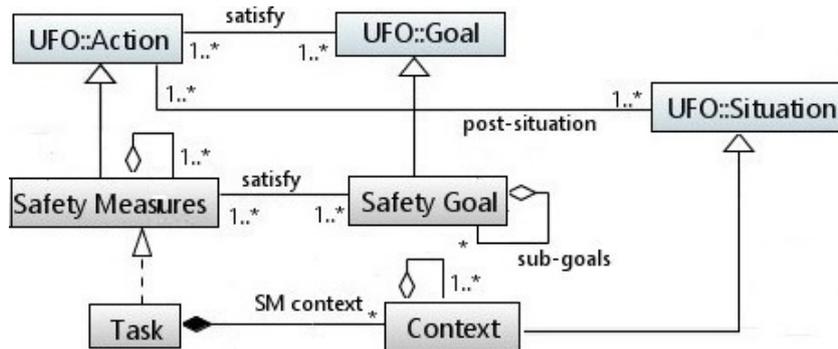


FIGURE 2.1 – Le fragment du modèle conceptuel représentant les relations entre les mesures de sécurité, le but et le contexte

L'ingénierie des exigences orientée-but (GORE) permet la gestion de complexité de la pratique de l'ingénierie des exigences (RE) guidée par les buts. Plusieurs approches de GORE existent dans la littérature notamment i* (i-Star), Techne, KAOS et GORO. Les trois premières approches se distinguent par leurs propres interprétations sémantiques des concepts et des relations entre eux. Tandis que, GORO est une ontologie de référence du domaine GORE, fondée sur UFO et basée sur l'intéropérabilité des approches existantes afin d'obtenir une représentation complète et consistante avec la sémantique du monde réel [Negri et al. 2017]. Comme l'un des principaux avantages des ontologies est la réutilisation, le fragment de GORO est réutilisé en se focalisant sur les relations entre le but, ses types fondamentaux proposés par UFO notamment *Intention*, *Belief* et *Proposition*, les exigences et les agents. Ce choix a été argumenté dans [Debbech et al. 2018b]. Dans ce rapport, nous présentons seulement les relations entre les mesures de sécurité, le but de sécurité, la mission

(Task) et le contexte. La modélisation conceptuelle globale a été détaillé dans [Debbech et al. 2018c].

En fait, le but représente l'exigence globale de plus haut niveau d'abstraction fourni par une organisation. Une organisation peut être une personne, un groupe de personnes ou une agrégation d'organisations. Le but de sécurité est un sous-type de but (UFO), et peut être décomposé en sous-buts. Dans un niveau plus concret dans l'arbre des exigences, les buts sont raffinés en exigences. Ces exigences peuvent être attribués à des agents comme indiqué dans la figure 2.2. De plus, une mesure de sécurité est proposée afin de satisfaire un but global de sécurité. De la même façon, une mesure de sécurité peut être décomposée en un ensemble de mesures de sécurité. La formalisation de ces relations ainsi que les axiomes définis afin de systématiser le processus intégral sont proposés dans [Debbech et al. 2018d, Debbech et al. 2018c, Debbech et al. 2019]. La modélisation proposée dans ce rapport illustre un cas d'étude critique en s'appuyant sur les caractéristiques majeures de l'ingénierie de connaissance.

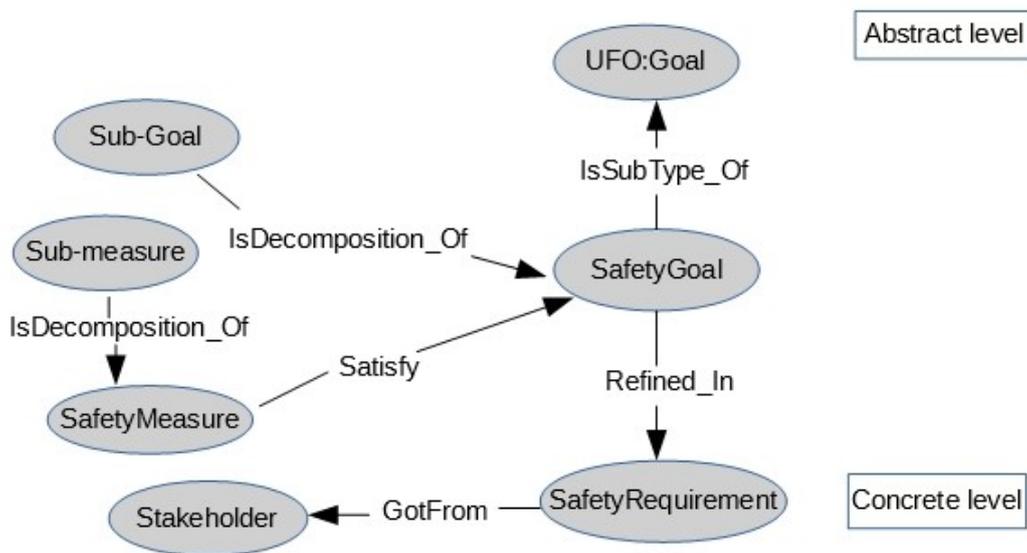


FIGURE 2.2 – La description schématique du pattern

Afin de valider la flexibilité et l'expressivité de la taxonomie proposée, nous procédons à l'alignement des concepts avec les entités du scénario considéré. Les concepts et les relations entre eux sont représentés respectivement par les variables et les prédicats comme illustré par le tableau 2.1.

Relation	Type
$hasContext(t,c)$	Task \times Context
$realize(t,sm)$	Task \times Safety Measure
$satisfy(sm,sg)$	Safety Measure \times Safety Goal

TABLE 2.1 – Les concepts et les relations abstraits du fragment proposé

Afin de valider sa capacité à représenter le scénario ci-dessus, nous avons décomposé les éléments du contexte et nous avons instancié le fragment du modèle conceptuel comme suit :

Soit $c = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5\}$ l'ensemble de contextes décomposés dans le scénario, représentés par la relation $decomposition_of(c_i, c) \mid i \in [1,5]$ où :

- c_1 est la connaissance de la météo ;
- c_2 est la connaissance de la constitution du train ;
- c_3 est la connaissance des capacités effectives du train ;
- c_4 est la connaissance de la présence d'un dispositif de dépose de calles automatiques efficace pour la rampe considérée ;
- c_5 est la connaissance du risque associé au non passage de la rampe est faible en cas d'une cuvette ;

Le processus d'organisation de la mission orienté-but est contraint par l'axiome **(1)** afin de mettre en avant les éléments critiques du contexte nécessaires pour l'analyse de sécurité.

$$(\forall t) (\exists c) hasContext(t, c) \Rightarrow (\exists sm, sf) realize(t, sm) \wedge satisfy(sm, sf) \quad \mathbf{(1)}$$

Étant une relation d'ordre strict partiel, la relation de décomposition est irréflexive, antisymétrique et transitive. En combinant l'axiome **(1)** avec les axiomes de la relation de décomposition du contexte **(2, 3, 4)**, le processus d'organisation de la mission est systématisé de la même façon.

$$(\forall c_1, c_2, c_3) decomposition_of(c_1, c_2) \wedge decomposition_of(c_2, c_3) \Rightarrow decomposition_of(c_1, c_3) \quad \mathbf{(2)}$$

$$(\forall c) \neg decomposition_of(c, c) \quad \mathbf{(3)}$$

$$(\forall c_1, c) decomposition_of(c_1, c) \Rightarrow \neg decomposition_of(c, c_1) \quad \mathbf{(4)}$$

Dans le scénario *nominal*, l'ensemble des contextes c_1, c_2, c_3 représentent les circonstances classiques pour mener la mission t à terme. L'acquisition de ces données et leur intégration dans le processus de sécurité est nécessaire et suffisante pour organiser la mission de manière classique. Le contact du responsable de l'entrepôt (sm_1), la prise de connaissance des documents fournis (sm_2) et l'essai des freins (sm_3) constituent l'ensemble de mesures de sécurité qui sont respectivement adaptées aux contextes c_1, c_2 et c_3 . L'ensemble des sous-mesures de sécurité considérées permettent de satisfaire le but de sécurité global, le franchissement de la rampe en toute sécurité. La figure **2.3** représente l'illustration de l'annotation entre le modèle conceptuel et les instances du scénario nominal (les rectangles représentent les instances et les cercles représentent les concepts).

Le scénario *dégradé* est constitué des éléments critiques de sécurité liés à la fois au contexte et à l'image perçue dans le modèle cognitif de l'agent, basée sur des hypothèses (le concept Belief proposé par UFO). De ce fait, le conducteur vérifie sur les documents à sa disposition si son train est équipé d'un dispositif de calles automatiques efficace pour la rampe considérée (c_4). De plus, il prend en considération le contexte topologique, à savoir le cas d'une cuvette diminuant le risque de dérive arrière (c_5). À l'issue de la prise de connaissance de ces deux éléments du contexte, le conducteur décide d'organiser normalement sa mission. Pour cette partie de préparation de la mission, le processus d'annotation s'effectue de la même façon que le scénario nominal. Dans ce qui suit, nous nous intéressons à la situation d'absence des contextes c_4 ou c_5 . Dans ce cas, le conducteur reprend

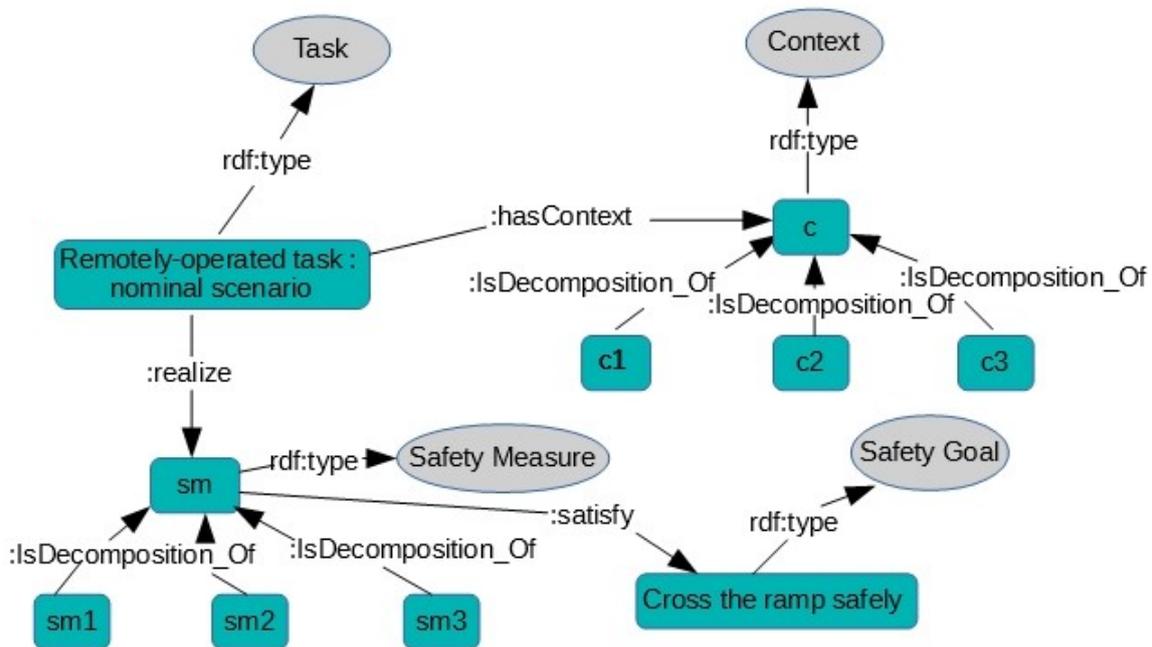


FIGURE 2.3 – La représentation graphique de l’annotation du scénario nominal

contact avec le site de circulation et l’entrepôt. Ceci représente une mesure de sécurité globale (sm) qui peut être décomposée en deux sous-mesures de sécurité tel que :

- sm_4 : la mise à disposition d’une locomotive de remplacement ;
- sm_5 : l’utilisation d’une deuxième locomotive ;

Le «OU exclusif \oplus » des deux sous-mesures de sécurité permet de satisfaire le but de sécurité sg , c’est à dire à franchir la rampe dans des conditions acceptables. Néanmoins, la deuxième sous-mesure sm_2 est considérée meilleure vis-à-vis à la mise sous astreinte d’un autre conducteur et du délai d’acheminement des locomotives. La figure 2.4 représente l’annotation du scénario dégradé et l’intégration de la prise de connaissance des éléments du contexte dans le processus de gestion des décisions de sécurité.

En définitive, la mission consiste en la réalisation d’une ou plusieurs mesures de sécurité dans un contexte spécifique afin de satisfaire un but. Ce processus de gestion de connaissances est défini et contraint par un ensemble d’axiomes afin d’assister la prise de décision de l’agent impliqué dans la mission. La formalisation complète de ce cas d’étude est détaillée et illustrée dans [Debbech et al. 2018d]. La modélisation proposée dans ce rapport met en exergue la pertinence de la taxonomie définie dans la sémantique du monde réel et sa capacité d’analyser des situations critiques. En effet, le modèle conceptuel met en relief le contexte et ses concepts environnants afin de systématiser le processus global de gestion des décisions de sécurité à la fois sur le plan conceptuel et opérationnel. Suite à l’acquisition des connaissances liés au système et à l’environnement, la mission est organisée afin de satisfaire un but global de sécurité, le franchissement sûr de la rampe. Le

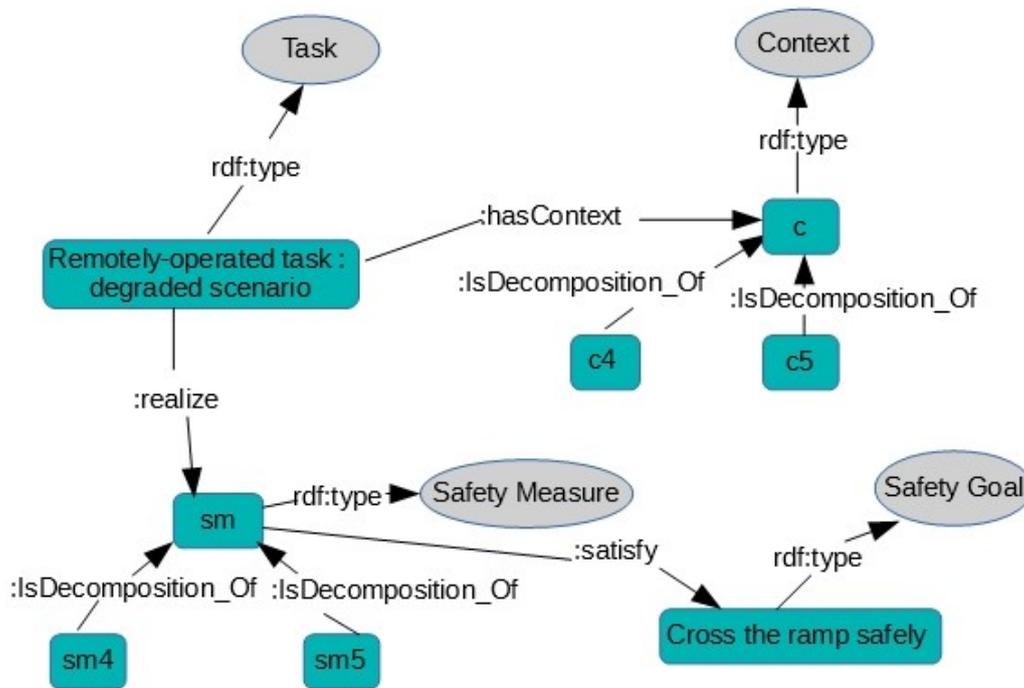


FIGURE 2.4 – La représentation graphique de l’annotation du scénario dégradé

modèle conceptuel proposé peut être instancié afin de représenter des situations du monde réel en s’appuyant sur la flexibilité de la sémantique introduite et le polymorphisme des concepts.

Chapitre 3

Conclusion

Pour une portion d'infrastructure donnée, une information de contexte pourrait avoir un sens critique en fonction de la nature de l'infrastructure. À l'heure où un dictionnaire général des données normalisées est à l'étude au niveau mondial pour l'infrastructure ferroviaire, l'union internationale de chemins de Fer (UIC) propose une ontologie des infrastructures ferroviaire¹. Une extension de cette ontologie permettant d'intégrer des éléments de contexte liés à une étude de sécurité paraît nécessaire. Afin de prendre en considération cet aspect, la taxonomie doit être proposée avec un haut niveau d'abstraction pour établir l'annotation sémantique.

Une représentation explicite avec un haut niveau d'abstraction des informations liées au contexte et son intégration dans le processus de l'organisation d'une mission télé-opérée est un atout majeur pour atteindre le niveau de sécurité requis. En effet, la perception préalable de ces données par l'agent au moment de l'organisation de la mission est nécessaire afin de gérer les décisions liées à la sécurité d'une manière plus restrictive. Le processus d'alignement des concepts fondamentales de UFO avec la taxonomie introduite permet d'avoir une clarification conceptuelle et une systématisation du processus de gestion des connaissances. La conceptualisation du processus orienté-but de gestion des décisions de sécurité permet d'avoir une vue partagée sans ambiguïté entre les connaissances de conception et de sécurité.

La taxonomie proposée dans la sémantique du monde réel, dont la définition des concepts est basée sur les modèles de référence et les standards, est nécessaire dans le domaine des systèmes critiques de sécurité tel que les systèmes ferroviaires. Grâce à ses caractéristiques fondamentales formalisées, l'ontologie proposée pourrait être ré-utilisée pour d'autres domaines critiques de sécurité. Dans ce rapport, notre proposition vise essentiellement la valorisation de la gestion des connaissances de l'agent pour planifier sa mission télé-opérée. D'un autre point de vue, l'ontologie a été développée en se basant sur une approche systématique commençant par l'élicitation des questions de compétence jusqu'à la phase de tests. En considérant d'autres perspectives telles l'ingénierie des exigences et l'analyse de sécurité, cette proposition sera étendue pour intégrer de nouveaux aspects notamment le processus de développement des mesures de sécurité, la gestion des décisions de sécurité guidée par les buts et la traçabilité des exigences.

1. Hlubuček, A. (2017). RAILTOPOMODEL AND RAILML 3 IN OVERALL CONTEXT. Acta Polytechnica CTU Proceedings, 11, 16-21.

Bibliographie

- [Borgo & Masolo 2010] Borgo, S., & Masolo, C. (2010). Ontological foundations of DOLCE. In *Theory and applications of ontology : Computer applications*. pp. 279-295. Springer, Dordrecht.
- [Debbech et al. 2018a] Debbech, S., Collart-Dutilleul, S., Bon, P. (2018). A Model-based system engineering approach to manage railway safety-related decisions. *International Journal on Transport Development and Integration* (submitted).
- [Debbech et al. 2018b] Debbech, S., Collart-Dutilleul, S., Bon, P. (2018). Towards Semantic Interpretation of Goal-Oriented Safety Decisions based on Foundational Ontology. In ICCSIT proc. International Conference on Computer Science and Information Technology.
- [Debbech et al. 2018c] Debbech, S., Collart-Dutilleul, S., Bon, P. (2018). Towards an Ontology of Goal-Oriented Safety Management for Safety Critical Systems. In Extended Semantic Web Conference (submitted)
- [Debbech et al. 2018d] Debbech, S., Collart-Dutilleul, S., Bon, P. (2018). An Ontological Approach to Support Dysfunctional Analysis for Railway Systems Design. *Journal of Universal Computer Science* (submitted)
- [Debbech et al. 2019] Debbech, S. & Bon, P. (2019). An Ontology for Requirements Management Process of Safety Critical Systems. In RSSRail conference (submitted)
- [El Kalam et al. 2003] El Kalam, A. A., El Baida, R., Balbiani, P., Benferhat, S., Cuppens, F., Deswarte, Y., & Trouessin, G. (2003). Or-BAC : un modèle de contrôle d'accès basé sur les organisations. *Cahiers francophones de la recherche en sécurité de l'information*, 1, 30-43.
- [Guizzardi 2005] Guizzardi, G. (2005). Ontological Foundations for Structural Conceptual Model. PhD thesis, University of Twente, The Netherlands.
- [Gruber 1993] Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge acquisition*, 5(2), 199-220.
- [Negri et al. 2017] Negri, P. P., Souza, V. E. S., de Castro Leal, A. L., de Almeida Falbo, R., & Guizzardi, G. (2017). Towards an Ontology of Goal-Oriented Requirements. In CIbSE pp. 469-482.
- [Van Lamsweerde 2001] Van Lamsweerde, A. (2001). Goal-oriented requirements engineering : A guided tour. In Requirements Engineering Proceedings. 5th IEEE International Symposium on Requirements Engineering (RE'01). pp.249-262.
- [Spear et al. 2016] Spear, A. D., Ceusters, W., & Smith, B. (2016). Functions in basic formal ontology. *Applied Ontology*, 11(2), 103-128.