

Contribution du persona à la résilience des systèmes, Impacts sur les interfaces utilisateur

Jean-René Ruault^{1,2}, Christophe Kolski¹, Frédéric Vanderhaegen¹

1. Univ. Lille Nord de France, F-59000 Lille, France
UVHC, LAMIH, CNRS, UMR 8201, F-59313, Valenciennes, France
prenom.nom@univ-valenciennes.fr

2. DGA - 7-9 rue des Mathurins
F-92221 Bagneux cedex, France
jean-rene.ruault@intradef.gouv.fr

RESUME. Les systèmes sociotechniques sont résilients quand ils ont la capacité pour faire face aux situations imprévues sans précédent, pour lesquelles la sécurité n'a pas été spécifiée. Les quatre fonctions de la résilience sont : éviter l'accident, résister à un accident, adapter, restaurer une situation viable et stable après un accident. Nous proposons d'adopter et adapter le concept de persona pour formuler les caractéristiques fonctionnelles et non fonctionnelles des opérateurs humains de systèmes complexes, ainsi les impacts du fonctionnement des organisations. Cela nous permet d'identifier des solutions de conception pour les fonctions « éviter » et « s'adapter ». Nous appliquons la démarche à deux accidents de train en proposant ces solutions de conception sur l'architecture système et les IHM.

ABSTRACT. The sociotechnical systems are resilient when they have the capacity to face the unprecedented unforeseen situations, for which the safety was not specified. The four functions of the resilience are: to avoid the accident, to resist to an accident, to adapt, and to restore a viable and stable situation after an accident. We suggest adopting and adapting the concept of persona to formulate the functional and not functional characteristics of the human operators of complex systems, so the impacts of the functioning of organizations. It allows us to identify design solutions for the following functions: "to avoid" and "to adapt ". We apply this approach to two railways accidents by proposing these solutions of design on the system architecture and the HCI.

MOTS-CLES : persona, IHM, résilience, ingénierie système, système sociotechnique.

KEYWORDS: persona, HCI, resilience, systems engineering, sociotechnical system.

1. Introduction

L'ingénierie des systèmes sociotechniques présente des difficultés. Ces systèmes rencontrent en opération des situations qui ne peuvent être identifiées *a priori* en conception, même en appliquant rigoureusement les méthodes d'analyse des risques (Hardy, 2010). Ces systèmes sortent des trajectoires qui leur sont assignées, ce qui génère des accidents (Ruault *et al.*, 2013). En complément des autres méthodes de l'ergonomie, l'adoption et l'adaptation de la notion de persona nous permet de formuler des caractéristiques des opérateurs humains des systèmes complexes résilients, c'est-à-dire capables de faire face à des situations imprévues et de traiter les situations hors du périmètre de sécurité spécifié. Le persona est une représentation fictive, archétypique, d'un acteur humain (opérateur, concepteur...), du futur système, dans une situation où, pour des raisons éthiques ou matérielles, il n'est pas possible de faire appel à des êtres humains en chair et en os, pour mener des expérimentations.

Après l'état de l'art présentant la résilience et le persona, nous proposons une démarche basée sur le persona pour l'élaboration de profils de comportements humains adaptés aux systèmes complexes résilients. Nous poursuivons en appliquant cette démarche sur l'étude de cas d'accidents de train pour proposer des solutions de conception d'IHM (interface homme-machine) contribuant à la résilience des systèmes.

2. État de l'art

Dans un premier temps, nous présentons les concepts clés sur lesquels s'appuie notre proposition. Il s'agit d'appliquer les méthodes de l'ingénierie système et les concepts de la résilience aux systèmes sociotechniques, ainsi que la méthode du persona en support de la conception et de l'évaluation des systèmes hautement interactifs.

2.1. L'ingénierie système appliquée aux systèmes sociotechniques

L'ingénierie système traite de systèmes artificiels conçus par les êtres humains. Ces systèmes sont des combinaisons d'éléments matériels, logiciels, procéduraux, visant un ou plusieurs buts définis (ISO, 2008 ; Meinadier et Fiorèse, 2012 ; Luzeaux et Ruault, 2013). Un système sociotechnique comprend une partie technique, relevant de l'ingénierie système, et une partie humaine et organisationnelle relevant des sciences humaines et sociales. Le concepteur recherche que ces deux parties se complètent dans leurs interactions en prenant en compte les spécificités de chacune d'elles. En particulier, l'approche sociotechnique s'appuie sur l'autorégulation, le contrôle interne plutôt qu'au contrôle externe, ainsi que sur le processus d'appropriation de la partie technique par les opérateurs (Ruault, 2011).

La résilience concerne la capacité d'un système sociotechnique à s'ajuster face à des événements perturbateurs, à s'adapter face à des situations sans précédent. En effet, la diversité des situations est extrêmement importante et il est impossible d'en faire une analyse exhaustive *a priori* lors de la conception, pour un système dont la vie opérationnelle peut durer plus de 50 ans. Il est nécessaire d'élaborer des modes de régulation permettant au système de continuer de fonctionner dans ces différentes situations (Ruault *et al.*, 2011 ; 2012). La résilience comprend aussi la détection de l'atteinte des limites des capacités d'adaptation. Elle concerne donc ce qui ne peut pas être anticipé (Ruault *et al.*, 2011).

Amalberti (2006) montre que les systèmes évoluent et migrent en silence, en s'éloignant de leur zone de sécurité. Dans cette logique, il arrive souvent que les dispositifs de sécurité intégrés au système soient retirés ou désactivés par les opérateurs pour répondre aux exigences de maintien, voire d'accroissement des performances du système (Vanderhaegen, 2003 ; Ruault *et al.*, 2012b). L'analyse que font les opérateurs en termes de bénéfice, de coût et de déficit que génère ce retrait des barrières, subit des biais cognitifs, avec une surestimation des gains et une sous-estimation des risques (Vanderhaegen, 2003 ; Ruault *et al.*, 2012b). Face à des contraintes externes ou à des exigences croissantes de performance, les systèmes sociotechniques compensent pour maintenir leur capacité opérationnelle. Ce mécanisme de compensation réduit leur marge de sécurité et augmente leur vulnérabilité par rapport à des situations accidentelles qui génèrent alors des phénomènes de décompensation (Woods et Cook, 2006 ; Ruault *et al.*, 2011).

Galara (2011) soulève les mêmes préoccupations dans le domaine de la conduite d'installations nucléaires. De mauvais choix en conception peuvent conduire les opérateurs à « percevoir et interpréter de façon erronée la situation de l'installation, être en surcharge cognitive face à une situation non vécue et faire de mauvais compromis entre sûreté et performances ». Galara montre que l'acceptabilité de l'erreur humaine « consisterait à surveiller que le système technique évolue dans des conditions explicites de fonctionnement normal, à surveiller les excursions de fonctionnement du système technique qui se rapprochent des exigences explicites de conception et réglementaires à satisfaire, à alerter les opérateurs de ces excursions et à proposer des stratégies de conduite pour revenir au fonctionnement nominal » pour éviter les accidents. Ces différentes situations amènent à dépasser la démarche traditionnelle de sûreté de fonctionnement menée *a priori*, sur des probabilités de risques, des conséquences et des dispositifs de sécurité (dont les barrières) pour empêcher les accidents afin de mettre en œuvre une démarche dynamique tenant compte des situations réellement rencontrées. C'est dans cette démarche que nous nous situons.

2.2. Notion de résilience des systèmes sociotechniques

Dans la mesure où toutes les situations ne peuvent pas être envisagées, que les opérateurs humains peuvent être face à des situations sans précédent, imprévisibles, que les dispositifs de sécurité sont inopérants face à ces situations, les opérateurs doivent pouvoir naviguer à vue et disposer des moyens pour faire face à l'adversité.

De nombreux travaux ont été menés, ces dix dernières années, consacrés à la résilience des systèmes sociotechniques (Jackson, 2009 ; Ruault *et al.*, 2012 ; Jackson et Ferris, 2013). Parmi l'ensemble de ces travaux, nous nous appuyons sur ceux de Luzeaux (2011), en particulier sa définition des quatre fonctions de la résilience. Ces quatre fonctions sont respectivement (Luzeaux *et al.*, 2011) : 1) éviter l'accident, qui repose sur la capacité d'anticipation ; 2) résister face à l'accident, qui se traduit par une capacité d'absorption et de réduction des dommages ; 3) s'adapter, qui se traduit par la capacité à évoluer face à des situations non envisagées et à se reconfigurer en conséquence ; 4) restaurer, qui consiste à recouvrer un état opérationnel stable, au minimum dans une position de survie, voire avec des capacités et des performances opérationnelles réduites.

Dans cet article, nous approfondissons les fonctions « éviter » et « s'adapter » et leurs impacts sur les IHM.

La fonction « éviter » consiste à donner aux opérateurs les informations concernant la situation opérationnelle dans laquelle est le système ainsi que l'état du système, afin qu'ils puissent manœuvrer et éviter l'accident. Cette fonction se décompose en (Ruault *et al.*, 2012b) : 1) obtenir une représentation de l'environnement ; 2) obtenir une représentation de la dynamique du système ; 3) identifier les états de l'environnement qui n'ont pas été envisagés ; 4) évaluer les tendances instantanées et les dérives ; 5) évaluer la distance, voire la proximité, du système par rapport aux zones de danger.

La fonction « s'adapter » se décompose ainsi (Ruault *et al.*, 2012b) : 1) permettre aux opérateurs de faire évoluer les procédures pour prendre en compte les évolutions de l'environnement ; 2) analyser les évolutions des procédures dans une logique de retour d'expérience pour généraliser les bonnes pratiques, de façon synchrone (toutes les équipes qui opèrent le système à un moment donné), et de façon asynchrone (les générations qui opèrent successivement le système) ; 3) concevoir une architecture de système supportant les futures évolutions.

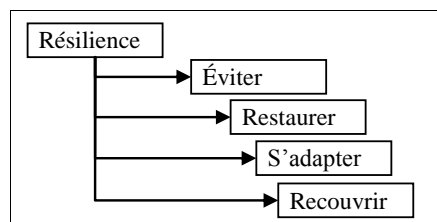


Figure 1. Les quatre fonctions de la résilience (Ruault, 2012b)

Ces fonctions ont des impacts sur l'ingénierie et l'architecture du système sociotechnique, à savoir (Ruault *et al.*, 2012b) : 1) mise en œuvre de la conception centrée sur l'opérateur humain au sein de l'ingénierie système, en termes d'expérience utilisateur et de processus d'appropriation ; 2) prise en compte du retour d'expérience des opérateurs et de leur apprentissage, d'une part dans les évolutions du système, d'autre part dans la conception de nouveaux systèmes ; 3) conception d'IHM basées sur le modèle conceptuel des opérateurs et reflétant les états réels du système et de son environnement, ainsi que les écarts entre ces états et les états de référence tels que spécifiés ; 4) nécessité d'architecture du système offrant des moyens « d'introspection » afin de montrer aux opérateurs ces différents états.

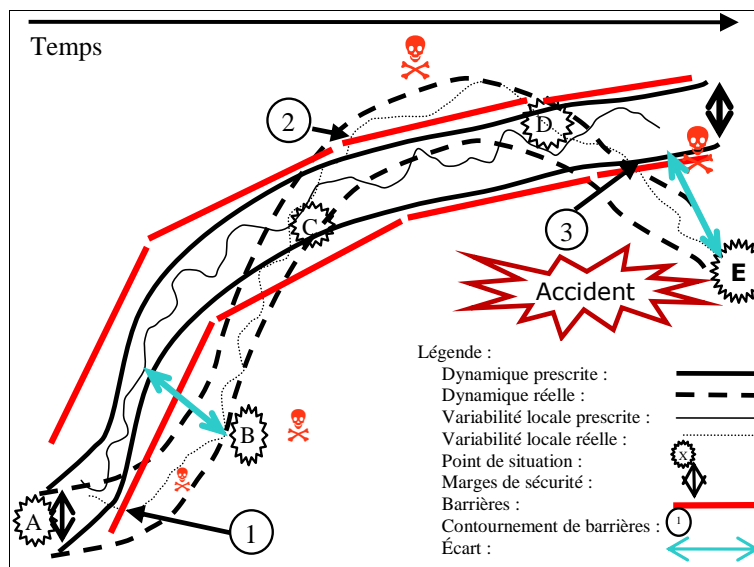


Figure 2. Dynamique prescrite et dynamique réelle (Ruault *et al.*, 2013)

La figure 2 exprime la différence entre ces deux comportements : d'une part, la dynamique prescrite, d'autre part, la dynamique réelle, en s'appuyant sur les travaux de Leplat (1985). La première prend en compte la variabilité locale prescrite incluse dans des marges de tolérance, c'est la variabilité habituelle, ou normale (Hollnagel, 2012) comme définie *a priori*. Les barrières de sécurité sont aux limites de la dynamique prescrite pour préserver des actions dangereuses. La dynamique réelle présente, elle aussi, une variabilité locale réelle qui dépend des aléas rencontrés, des conditions inhabituelles, dont l'évolution des situations environnementales ou des conditions de travail nouvelles et imprévisibles. La dynamique réelle prend en compte le contournement de barrières (Polet *et al.*, 2009). Outre les conditions inhabituelles, l'écart entre ces deux dynamiques est dû aux dérives qui ne sont pas quelques cas isolés, mais une tendance structurelle. Ces dérives se caractérisent par le retrait de barrières, des nouvelles procédures non écrites ou la normalisation de la déviance. Cette dernière montre comment des pratiques dérogatoires, comprenant des risques et à ce titre doivent être mises en œuvre dans des situations exceptionnelles, deviennent régulières, routinières. Leur caractère risqué est caché par la banalité des routines. Cette normalisation de la déviance procède d'une migration silencieuse, la banalisation des pratiques dérogatoires s'établissant petit à petit (Vaughan, 1996).

L'illustration de la figure 2 présente un scénario possible parmi une infinité de scénarios. Pour faciliter la lecture et la lisibilité de ce schéma, un seul scénario est représenté. En venant d'A, la dynamique réelle contourne la barrière à 1 se déplace vers B, puis C, pour rejoindre D et E en contournant de nouveaux la barrière en 2 et 3 (cf. figure 2). Cette dynamique réelle de A à E exprime un écart qui peut être loin de la dynamique prescrite, comme c'est le cas en B. Personne ne peut évaluer cet écart. Il n'y a aucune conscience de situation, aucune capacité d'évaluer le risque induit par la dérive. Étape après étape, les actions dangereuses augmentent les risques (⚡), jusqu'à l'accident (E).

Les éléments clés de la résilience résident en partie dans la qualité des IHM (Ruault *et al.*, 2012) et leur capacité à donner aux opérateurs les moyens de comprendre la situation et l'état du système réel par rapport à la situation et à l'état de référence (Ruault *et al.*, 2013), pour détecter les migrations et les compensations qui ont lieu et pour permettre une navigation à vue. Pour cela, il est nécessaire de recueillir l'état réel du système et celui de son environnement, et de les comparer avec leurs états de référence. Pour atteindre cet objectif, les IHM doivent être adaptés aux modèles que les opérateurs ont du système et de son fonctionnement (Galara, 2011). En revanche, des IHM qui ne représenteraient pas l'état réel du système ou dont la représentation ne seraient pas adaptée aux modèles qu'en ont les opérateurs généreraient des confusions et seraient une source d'accidents.

Ce sont ces points, qui doivent être mis en avant *via* des persona, que nous développons dans cet article.

2.3. Le persona comme outil pour la conception/évaluation des systèmes

La plus grande partie des nombreux travaux consacrés à l'ergonomie et aux IHM s'appuie sur l'analyse de l'activité laquelle exploite des données empiriques (Leplat et Hoc, 1983 ; Leplat, 2002).

Ces démarches (Broadbent, 2010 ; Cahour et Lancry, 2011 ; Karsenty, 2011) se caractérisent par l'absence de prise en compte : 1) des dimensions sociales et émotionnelles ayant des impacts sur les activités des opérateurs, sur les performances et sur la sécurité ; 2) des aspects intimes des opérateurs qui ont des impacts sur leurs activités ; 3) des caractéristiques de futurs utilisateurs pour lesquels il n'est pas possible de disposer de données empiriques (par exemple les opérateurs qui exploiteront dans 20 ans les systèmes conçus actuellement) ; 4) de la dynamique des organisations.

Les tentatives d'articuler ces démarches, d'introduire des caractéristiques plus fines dans la notion générique d'utilisateur, et, le développement de la notion d'expérience utilisateur¹ (ISO, 2010) ont contribué à la définition d'un concept et d'une méthode permettant de résoudre ces difficultés. Ce sont ceux de persona. Ils ont d'abord été utilisés dans le domaine du marketing et sont maintenant mis en œuvre pour la conception des IHM, avec pour objectif d'incarner les futurs utilisateurs du système, de prendre en compte l'ensemble des points structurant dans la conception des IHM et de stimuler les idées des concepteurs (Courage et Baxter, 2005 ; Brangier *et al.*, 2011). Cette démarche complète les analyses de l'activité menées en prenant en compte les caractéristiques ci-dessus, et ne s'y substitue pas.

Le persona est une représentation fictive, archétypique, d'un acteur humain (opérateur, agent de maintenance, agent de maîtrise...), du futur système, dans une situation où, pour des raisons éthiques ou matérielles, il n'est pas possible de faire appel à des êtres humains en chair et en os, pour mener des expérimentations. Il s'agit de l'archétype d'une classe d'utilisateurs. L'archétype est différent de l'individu moyen. Il n'est pas défini par ses valeurs moyennes mais par les caractéristiques essentielles communes à tous les sujets qui doivent être prises en compte dans un domaine particulier. Dans la mesure où plusieurs classes d'utilisateurs ont des liens, à un titre ou à un autre, avec le système, il y a autant de personas différents qu'il y a de classes d'utilisateurs. Le persona synthétise les traits dimensionnant et structurant des objectifs, des comportements et des caractéristiques des utilisateurs, en complément et en profitant des méthodes de l'ergonomie ou de l'IHM et des formalismes existant.

Le choix des méthodes de recueil à mettre en œuvre, des informations à récolter, de l'organisation de ces informations dépend des objectifs, des missions et des contraintes du système à faire. Le persona complète les autres méthodes de conception centrées sur l'opérateur humain (ISO, 2002 ; ISO, 2010). Dans ce contexte, le persona est élaboré à partir de données d'enquêtes, d'entretiens, d'observations, d'analyse de l'activité et d'analyse des traces. Dans le domaine des systèmes critiques, il peut être complété par les résultats de rapports d'enquêtes techniques faisant suite à des accidents.

1. « Expérience utilisateur : perceptions et réactions d'une personne qui résultent de l'utilisation effective ou anticipée d'un produit, système ou service » (ISO, 2010).

Enfin, le persona peut être enrichi de données prospectives, en particulier lorsque le système est nouveau et/ou présente une longue durée de vie, ce qui fait que les futurs utilisateurs peuvent être différents des utilisateurs actuels (Ruault *et al.*, 2014).

L'expression d'un persona peut être formulée sous forme tabulaire, comprendre une photographie ou tout autre éléments incarnant l'utilisateur. Elle peut être formulée sous une forme narrative, propice à être intégrée dans un scénario. Enfin, comme le suggèrent Idoughi *et al.* (2010 ; 2012), elle peut s'appuyer sur les méthodes et outils du génie logiciel, dont le diagramme des cas d'utilisation enrichi des caractéristiques de la notion d'acteur (Ruault, 1997).

Les différentes caractéristiques qui peuvent être intégrées dans un persona selon (Brangier *et al.*, 2011), principalement, ainsi que (Idoughi *et al.*, 2010 ; 2012 ; Pruitt et Adlin, 2006 ; Seffah *et al.*, 2009) sont les suivantes :

- données personnelles / identité : photographie, nom, prénom, date de naissance, lieu de naissance, nationalité, adresse postale, adresse électronique ;
- données physiologiques : sexe, âge, poids, handicap physique ;
- personnalité : type de personnalité, sexualité, objectifs personnels, amertume, croyances, attitudes, loisirs pratiqués ;
- socialité : besoin de leadership, ambition sociale, appartenance à des réseaux sociaux, influence sociale ;
- données économiques et financières : statut professionnel, classe sociale, revenus, propriétaire /locataire de son logement ;
- mode de vie : type d'habitat, mode de vie urbain ou rural ;
- formation, compétences, habiletés : formation initiale, formation professionnelle, compétences professionnelles, compétences linguistiques ;
- contexte de l'activité : activité professionnelle/ domestique, contraintes de sécurité/réglementaires, fréquence d'usage, niveau de difficulté de l'activité, disponibilité d'aide et de documentation, niveau d'activité (novice/confirmé/expert).

La résilience est en particulier recherchée pour les systèmes à longue durée de vie puisqu'ils doivent pouvoir faire face à des situations imprévues et imprévisibles. Une des clefs pour répondre à ces enjeux réside dans la mise en œuvre du persona (Ruault *et al.*, 2014).

Après cet état présentant l'ingénierie système, la résilience des systèmes sociotechniques et le persona comme outil pour mieux prendre en compte les utilisateurs dans le processus de conception de systèmes, nous articulons ces notions pour adapter le persona à la conception de systèmes sociotechniques complexes dans une démarche visant à accroître leur capacité de résilience.

3. Adaptation du persona aux systèmes complexes résilients

Après avoir présenté la méthode de persona dans la précédente partie, nous appliquons cette notion dans une démarche d'élaboration de profils de comportements humains adaptés aux systèmes complexes résilients. Cela implique d'adapter cette notion aux enjeux de cette démarche. En effet, ainsi que nous l'avons vu, le persona a été principalement utilisé dans une logique de production de masse pour exprimer les besoins des consommateurs (Brangier *et al.*, 2011). Il y a des caractéristiques de la notion de persona, pertinentes dans le contexte du marketing et de la production de masse, qui le sont moins dans le domaine des systèmes complexes. Il y a des caractéristiques pertinentes dans le domaine des systèmes complexes mais qui sont de peu d'intérêt dans le domaine du marketing. Nous chercherons donc à identifier les caractéristiques du persona, nécessaires et suffisantes en priorité, dans le contexte des systèmes complexes, que nous compléterons avec des caractéristiques moins prioritaires. Après avoir identifié ces caractéristiques, nous compléterons le persona.

3.1. Caractéristiques du persona à prendre en compte pour les systèmes complexes

Dans un premier temps, nous identifions les caractéristiques du persona pertinentes à prendre en compte pour la conception de systèmes complexes, étape préalable à l'extension de la notion de persona.

Pour identifier ces caractéristiques, nous développons quatre thématiques, détaillées ci-dessous, qui se révèlent être des sources majeures d'écart entre la situation de référence et les situations réelles que rencontre le système tout au long de sa vie opérationnelle. Pour autant, de nombreuses autres sources interviennent dont nous ne pourrions faire une analyse exhaustive dans le cadre de cet article (Hardy, 2010).

3.1.1. Evolution temporelle des caractéristiques des acteurs

Quelque soit leur rôle vis-à-vis du système, opérateurs, agent de maintenance, ou tout autre rôle, les acteurs humains évoluent. Ils s'approprient le système (Ruault *et al.*, 2014), apprennent de nouvelles pratiques. Sur des périodes longues, ils gagnent du poids et/ou perdent de l'acuité visuelle. En outre, les évolutions du droit du travail amènent des évolutions des opérateurs générant des situations qui n'avaient pas été envisagées initialement. C'est par exemple le cas de la féminisation de l'armée (Kirke, 2004 ; Kirke, 2005).

3.1.2. Contournement des barrières, normalisation de la déviance

La violation des règles de sécurité, le contournement de barrières (Vanderhaegen, 2003), la normalisation de la déviance (Vaughan, 1996) sont des situations accidentogènes. Vanderhaegen décrit comment les opérateurs contournent les dispositifs de sécurité ou créent de nouvelles procédures afin d'atteindre les niveaux de performance attendus et de réduire la charge de travail. Vaughan décrit la normalisation de la déviance comme une déviation des performances par rapport à la définition du système, se caractérisant par une augmentation régulière des critères de risques résiduels acceptables. Cette déviation devient une pratique routinière du groupe et s'institutionnalise. C'est le cas des ingénieurs de la NASA qui considéraient que la navette Challenger pouvait voler de façon normale et acceptable avec le défaut affectant le joint torique (Vaughan, 1996).

3.1.3. Routines, biais cognitifs

Les opérateurs élaborent des routines correspondant aux situations qu'ils rencontrent régulièrement. Les routines décrites de différentes manières (Rasmussen, 1983 ; Soulier *et al.*, 2008) et les biais cognitifs (Tversky et Kahneman, 1974) ont pour objectif de réduire la charge de travail. Lorsque apparaissent des situations exceptionnelles relatives à la sécurité, hors du cadre de ces routines et ces biais, la prégnance de ces routines et biais réduit la perception et la compréhension de ces situations exceptionnelles (Carrol, 1976). Ces biais génèrent des accidents, tels que celui du DC8 d'United Airlines en 1978 à Portland (Morel, 2002). L'équipage détecta un problème avec les indicateurs de sortie du train d'atterrissage, et focalisa toute son attention sur ce problème au détriment des autres paramètres, en particulier les limites des réserves en carburant. Il s'avéra que le train fonctionnait correctement. L'équipage s'éloigna excessivement de l'aéroport et se crasha à cause d'une panne sèche.

3.1.4. Événement personnel affectant la vie des parties prenantes

Des événements peuvent affecter la vie des parties prenantes (opérateur, agent de maintenance...), les amenant à avoir des pensées errantes (Lemercier *et al.*, 2014). Ces pensées errantes apparaissent lorsque les acteurs réalisent des tâches monotones. Elles peuvent être conscientes ou inconscientes, parfois avec une charge émotionnelle importante, voire relever de la rumination. Elles fonctionnent comme des secondes tâches, réduisant l'attention des personnes qui en sont affectées. Les auteurs montrent que ces pensées qui distraient l'attention sont à l'origine du quart des accidents de la route et que les épisodes de pensée errante représentent plus d'un tiers de la vie quotidienne.

3.2. Extension de la notion de persona

Au regard de l'analyse à laquelle nous venons de procéder, nous proposons de sélectionner et d'adapter les caractéristiques du persona appropriées aux systèmes complexes résilients en intégrant les caractéristiques liées aux acteurs ou au contexte de l'activité que nous venons d'identifier. Nous proposons d'élargir le domaine de définition du persona en l'appliquant à d'autres acteurs qui ont un rôle vis-à-vis du système, outre les opérateurs, il y a aussi les agents de maintenance, les ingénieurs de conception, ainsi que les responsables des services dans lesquels travaillent les opérateurs (Ruault *et al.*, 2014).

À chaque caractéristique est attachée une clef, entre crochets, utilisée pour la description d'un persona (figure 3). Nous reprenons la notion d'acteur du diagramme des cas d'utilisation de SysML que nous enrichissons des caractéristiques du persona. Ces caractéristiques sont les suivantes :

- [Info_Perso] données personnelles: nom, prénom et date de naissance ;
- [Physio] données physiologiques : sexe, âge, poids, handicap ;
- [Personnalité] personnalité : objectifs personnels ;
- [Socialité] socialité : besoin de leadership, influence sociale, confiance, partage, don ;
- [Formation] formation, entraînement : formation initiale et continue, entraînement, certification ;
- [Expérience] compétences, habiletés : durée de l'expérience professionnelle dans le domaine, niveau de maîtrise des modes opératoires, des règles établies, de la langue dans laquelle sont écrits ces modes opératoires et ces règles ;
- [Activité] contexte de l'activité : propriétés de l'activité en termes logique et temporels ;
- [Routines] charge de travail, vigilance : durée du poste, durée quotidienne de travail, caractère routinier de l'activité ;
- [Contournement] contournement des barrières, normalisation de la déviance ;
- [Événement] événement personnel affectant la vie des parties prenantes : séparation, deuil ;
- [Évolution] évolution de ces caractéristiques au fil du temps.

Dérivé d'UML (*Unified Modelling Language*), le langage de modélisation SysML (*Systems Modelling Language*) est de plus en plus adopté comme le langage de référence. Il est largement utilisé dans le milieu industriel, en particulier, dans le domaine de l'automatisme. Le langage SysML (Roques, 2013) comprend un ensemble de neuf diagrammes, dont quatre diagrammes comportementaux (diagramme d'activité, diagramme d'états, diagramme de séquence et diagramme des cas d'utilisation), trois diagrammes structuraux (diagramme de définition de blocs, diagramme de bloc interne et diagramme de package), un diagramme paramétrique rattaché au diagramme de bloc interne, et un diagramme d'exigences. Le diagramme paramétrique ouvre la voie à la modélisation des systèmes continus et en cela, marque une rupture importante

avec UML. Dans la suite de l'article, nous ferons appel au diagramme de cas d'utilisation, et en particulier à la notion d'acteur, que nous enrichissons des caractéristiques du persona.

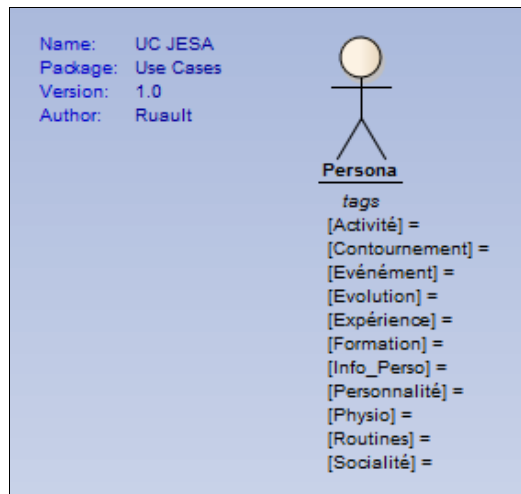


Figure 3. Modélisation SysML des caractéristiques du persona (effectuée avec Enterprise Architect©)

Après cette identification des caractéristiques, nous les déclinons dans l'étude de cas afin de concevoir des IHM adaptées.

4. Étude de cas

Dans cette étude de cas, nous élaborons deux personas, celui d'un conducteur de train, Monsieur Patrick Davidson repris et complété de Ruault *et al.* (2012a), et celui d'un contrôleur de trafic, Madame Sarah Sanchez, pour évaluer les impacts du persona sur la conception du système. Ces personas sont élaborés à partir d'éléments repris et adaptés d'analyses des rapports d'enquête technique d'accidents. Nous nous appuyons sur des rapports d'enquêtes techniques, suite à des accidents, mettant en évidence les comportements qui ont des effets sur les accidents et sur l'analyse que nous en faisons en termes ergonomiques au regard de l'état de l'art sur la résilience des systèmes sociotechniques. L'adaptation de la notion de persona effectuée dans cet article est basée sur l'analyse des rapports d'enquête des accidents de Chatsworth (NTSB, 2010), de Zoufftgen (BEA TT, 2009) et d'Aldershot (BST, 2013). Cette adaptation est menée en identifiant les points qui ont contribué à ces accidents ainsi que ceux mis en œuvre pour les empêcher ou en réduire les effets (Ruault *et al.*, 2012b), par exemple des migrations silencieuses, l'absence de représentation partagée de la situation, des violations de procédure.

La résilience consiste à détecter les accidents et à les éviter, ou, à défaut, d'en réduire les impacts si les accidents surviennent. Les accidents qui sont présentés dans cet article se caractérisent par l'absence de détection des situations à risque et, du coup, d'absence de stratégie d'évitement. Dans ces situations d'accident, les opérateurs ne disposaient pas d'une représentation partagée de la situation, en particulier dû à des modes opératoires s'écartant du périmètre de sécurité.

L'accident de train de Chatsworth, en Californie en 2008, entraîna la mort de 25 personnes (NTSB, 2010). Le train roulait sur une voie unique. Le conducteur du train de passagers n'avait pas vu le feu rouge, il envoyait des SMS avec son téléphone portable (écart par rapport à la procédure de sécurité, absence de représentation de l'état du trafic sur la voie unique). Durant son temps de travail, il avait envoyé 62 SMS (normalisation de la déviance). Lorsque le train est passé alors que le feu était rouge, rien ni personne n'a pu avertir le conducteur. Il n'y avait pas, non plus, de dispositif permettant d'arrêter le train à distance. Le conducteur est seul dans sa cabine, pour un travail largement automatisé dont la durée journalière est longue et fractionnée, réduisant son niveau de vigilance.

Le second cas concerne un accident qui a eu lieu à Zoufftgen, à la frontière entre le Luxembourg et la France, en 2006, entraînant la mort de cinq personnes (BEA TT, 2009). Le chef de circulation de la gare de Bettembourg a communiqué un ordre de franchissement d'un signal d'arrêt au conducteur d'un train de voyageurs (écart par rapport à la procédure de sécurité, absence de représentation de l'état du trafic entre le Luxembourg et la France). Le train s'est engagé sur la zone déjà occupée par un train circulant en sens inverse, lequel s'est engagé régulièrement sur cette voie en franchissant un signal ouvert (vert). Un ordre de franchissement d'un signal d'arrêt, qui doit être une procédure exceptionnelle, était devenu une procédure routinière avec 107 ordres de franchissement formulés dans les trois mois qui ont précédé l'accident (normalisation de la déviance).

Le troisième cas concerne un accident qui a eu lieu à Aldershot, Ontario, au Canada, en 2012, entraînant la mort des trois membres de l'équipe d'exploitation (BST, 2013). Dans 99 % des cas, le train de la compagnie circulait sur la voie 2. Ce jour-là, des travaux étaient réalisés sur la voie 1 et la voie 2 faisait partie de l'emprise des travaux. Un permis d'occuper la

voie (POV) fut octroyé à l'équipe en charge de ces travaux par le contrôleur de la circulation ferroviaire (CCF). L'équipe d'exploitation du train n'a pas été informée de ces travaux (absence de représentation des travaux et des impacts de ces travaux sur le changement de voie). Le train devait passer de la voie 2 à la voie 3, *via* un aiguillage et une liaison entre les voies 2 et 3. Cette consigne était communiquée par les signaux de voie que l'équipe d'exploitation est supposée appliquer scrupuleusement. La vitesse sur cette liaison était limitée à 24 km/h (15 mph). L'équipe d'exploitation n'a compris que trop tard la situation. Le train entra sur la liaison à une vitesse de 108 km/h (67 mph) et dérailla.

4.1. De l'analyse des accidents à la conception du persona

L'analyse des accidents met en évidence les points relatifs au système sociotechnique.

Pour Chatsworth :

- le système sociotechnique de référence, tel qu'il a été conçu, largement automatisé, et sans dispositif de communication personnel (la motrice du train date de 1992) est différent du système sociotechnique réel puisqu'il y a insertion des téléphones portables, à la fois professionnels et personnels ;

- il y a détournement de l'IHM et des procédures pour rompre la solitude, l'ennui et la baisse de vigilance ; ce détournement est indépendant du contexte réel de l'activité, il n'y a pas de régulation entre la part consacrée à l'activité principale et celle consacrée à la double tâche ; la solution correctrice privilégie le mode contrôlé au dépend du mode régulé (Pariès, 2006 ; 2010).

Pour Zoufftgen :

- une des deux voies était en travaux, impliquant que l'autre voie soit utilisée dans les deux sens en alternance ;

- le passage de relais entre l'équipe du matin et l'équipe de l'après-midi ne s'est pas déroulé conformément à la règle. L'équipe de l'après-midi s'est construite une représentation incomplète de la dynamique de la situation ;

- supposant un dysfonctionnement de la signalisation après deux échecs d'établissement d'un itinéraire, le chef de circulation a délivré un ordre écrit de franchissement au conducteur de train. Un tel ordre écrit de franchissement d'un signal est une procédure dérogatoire qui doit rester exceptionnelle ;

- après s'être aperçu de son erreur, le chef de circulation a essayé d'arrêter le train, en vain puisque l'alerte radio n'a pas fonctionné.

Pour Aldershot :

- une des voies (voie 1) était en travaux, la voie adjacente (voie 2) était sous l'emprise de ces travaux, les trains étaient aiguillés sur la troisième voie (voie 3) ; cette situation était exceptionnelle puisque les trains de la compagnie circulaient sur la voie 2 ; l'équipe d'exploitation n'avait pas été informée de ces travaux. Seuls les signaux sur la voie ordonnaient la vitesse à suivre ; il n'y avait aucun système automatique de sécurité.

4.2. Contournement des barrières, normalisation de la déviance

Dans le cas de Chatsworth, le conducteur du train a échangé une quarantaine de SMS par jour, durant le mois précédent l'accident, à la fois avec des collègues, mais aussi avec des personnes étrangères au service, des adolescents passionnés par le domaine ferroviaire. L'avant-veille de l'accident, il a échangé 125 SMS. Le conducteur avait eu deux avertissements oraux à ce sujet, en septembre 2006 et en août 2008 (NTSB, 2010). Cette situation n'est pas spécifique à ce conducteur de train. Une enquête menée depuis 2005 a montré que sur 14 observations, 10 n'étaient pas conformes aux règles appliquées au sein de l'entreprise relatives à l'usage des téléphones portables et d'autres dispositifs de télécommunications et 3 personnes avaient leur téléphone personnel allumé. Nous sommes là dans une situation de déviance (NTSB, 2010).

Dans le cas de Zoufftgen, le chef de circulation a demandé à l'aiguilleur d'établir un itinéraire alors qu'un train circulait déjà sur la voie dans l'autre sens. Après deux tentatives d'établissement d'itinéraire, le chef de circulation donne un ordre écrit de franchissement du signal au conducteur de train. Dans les trois mois qui ont précédé l'accident, les chefs de circulation de Bettembourg ont émis 107 ordres écrits de franchissement. L'ordre écrit de franchissement d'un signal est une procédure dérogatoire qui a été banalisée et est devenue routinière. Cette banalisation de l'ordre écrit relève de la normalisation de la déviance.

4.3. Routines, biais cognitifs et vigilance

Dans le cas de Chatsworth, le conducteur conduisait souvent des trains sur cette section. Il avait le même service les quatre jours précédents l'accident, générant une activité routinière, automatisée, propre à réduire l'attention (NTSB, 2010). En revanche, la structure du réseau ferroviaire, en grande partie à voie unique entre les stations Montalvo et Van Nuys (NTSB, 2010), génère des risques élevés d'accident. Le tronçon où eut lieu l'accident disposait d'une seule barrière de type feu rouge laquelle ne nécessite pas un acquittement ou un geste volontaire de violation. Le conducteur doit faire preuve d'une attention soutenue pour éviter les accidents. Dans le cas d'Aldershot, les trains de la compagnie circulaient sur la voie 2 dans 99 % des cas. Le jour de l'accident, cette routine était rompue, puisque le train devait circuler sur la voie 3. Dans les deux cas de figure, les activités sont routinières, propres à mettre en œuvre des biais cognitifs.

4.4. Élaboration des personas

Nous poursuivons en élaborant les personas d'un conducteur de train et d'un contrôleur de circulation ferroviaire, pour mettre les caractéristiques structurantes à prendre en compte pour la conception des IHM. Ces caractéristiques structurantes sont rappelées par les mots-clefs entre crochets, dans le scénario montrant les séquences d'action contribuant à l'accident et dans la description des deux personas. Les facteurs de performance des personas qui risquent d'affecter les fonctions de la résilience sont notés PSF (*Performance Shaping Factors*) (Swain et Guttmann, 1983, SAIC, 2005) et indicés dans la description de chacun des personas.

Tableau 1. Liste des facteurs de performance (SAIC, 2005)

PSF	Libellé des facteurs de performance
PSF01	Applicabilité et pertinence de l'entraînement, de l'expérience
PSF02	Pertinence des procédures et des objectifs
PSF03	Disponibilité et clarté des modes opératoires
PSF04	Temps disponible et temps requis pour réaliser complètement l'action menée, incluant la concurrence entre les activités
PSF05	Complexité du diagnostic et de la réponse requis, le besoin d'une séquence spécial et la familiarité de la situation
PSF06	Charge de travail, pression temporelle et stress
PSF07	Dynamique de l'équipage, caractéristiques de l'équipage
PSF08	Dotation en personnel disponible
PSF09	Qualité ergonomique de l'interface humain-système
PSF10	Environnement dans lequel l'activité doit être réalisée
PSF11	Accessibilité et capacité des équipements à être opérés, manipulés
PSF12	Besoin d'outils spécifiques
PSF13	Communication et conditions par lesquels quelqu'un peut être facilement écouté
PSF14	Besoins d'aptitudes spéciales
PSF15	Prise en compte de déviations et de détournements réalistes de séquences d'actions

Ces facteurs de performance contribuent à une meilleure compréhension de la situation par les opérateurs et à la capacité de résilience du système sociotechnique (Ruault *et al.*, 2012b). Ces facteurs sont repris dans chacune des fonctions de la résilience traitées.

4.5. Persona, résilience et IHM

Nous commençons par formuler le scénario d'un accident faisant appel aux personas. Puis nous décrivons deux personas de ce scénario : Patrick Davidson, conducteur du train, et Sarah Sanchez, contrôleur de circulation ferroviaire.

Le scénario d'un accident faisant appel aux personas

Les trains d'une compagnie ferroviaire circulent sur les voies exploitées par un opérateur d'infrastructure ferroviaire. Ce sont deux entreprises différentes.

L'opérateur d'infrastructure ferroviaire réalise des travaux pour rénover les infrastructures à bout de souffle. Le tronçon concerné comporte trois voies en parallèles. Ces travaux sur une voie (voie 1) impliquent d'arrêter le trafic sur la voie adjacente (voie 2) et d'aiguiller les trains sur une troisième voie (voie 3). Traditionnellement, lorsqu'il y a des travaux, une sentinelle est postée en amont des travaux pour avertir les trains des travaux en cours. La sentinelle est un facteur clef de la sécurité. Ce rôle de sentinelle est connu des opérateurs des deux compagnies qui sont habitués à ce fonctionnement et se fient à leur fonction de sécurité. Pour des raisons de réduction de budget, dans la mesure où il y eut peu d'accidents, l'opérateur d'infrastructure ferroviaire a décidé de supprimer la sentinelle lorsqu'il y a des travaux sur les voies -PSF08-, -PSF15- [Contournement], sans en informer les compagnies ferroviaires, puisque rien ne l'oblige à le faire. Du coup, la sécurité relève du contrôleur de train et des signaux sur la voie. La voie 2 est utilisée traditionnellement par une compagnie ferroviaire qui y fait passer plus de 99 % de ces trains -PSF05- [Routines]. Un de ces trains est conduit par Patrick Davidson qui fait ce parcours régulièrement -PSF05-.

Le jour de l'accident, Sarah Sanchez positionne les signaux de voie. Sarah Sanchez est soucieuse de la santé de sa fille, Esther [Événement]. Patrick Davidson, quant à lui, est très préoccupé par la santé de sa femme [Événement]. Il téléphone à l'hôpital dans lequel est sa femme pour connaître son état de santé. Il procède comme d'habitude -PSF05- [Routines] et n'a pas vu le signal de réduction de vitesse -PSF15-. Quand il comprend la situation, il freine, mais c'est trop tard. Le train prend la liaison avec une vitesse excessive et déraile. Patrick Davidson est gravement blessé dans l'accident, dans l'incapacité définitive de travailler.

Figure 4. Scénario faisant appel aux personas

Le persona : Patrick Davidson (personnage fictif)

Patrick Davidson est conducteur de train depuis 25 ans. Après une formation secondaire, il est entré cheminot et a suivi des cours du soir [Formation]. Il est ainsi devenu conducteur de train, activité qui est la sienne depuis 25 ans [Expérience].

À 62 ans, pesant plus de 105 kg, il souffre de surpoids et prend des médicaments anticholestérolémiant [Physio]. Il souffre de presbytie et porte des lunettes pour lire [Physio]. Sa femme, Mary Davidson, vient d'avoir un accident vasculaire cérébral. Il est très inquiet pour sa femme [Événement].



Patrick Davidson est un homme ouvert, expansif, passionné par son travail [Personnalité]. Il aime partager son enthousiasme avec d'autres personnes et souhaite devenir président de l'association ferrivophile de sa ville [Socialité]. Il est difficile à convaincre, peu sensible aux idées des autres et en fait un peu à sa tête [Personnalité]. Patrick Davidson est considéré par sa hiérarchie comme étant un professionnel confirmé [Expérience].

L'activité de conduite de train est largement automatisée -PSF06-, routinière et morcelée [Activité]. Patrick Davidson est seul dans sa cabine et communique par la radio avec le chef de train et l'opérateur du poste de contrôle. Cette activité routinière -PSF06- et solitaire -PSF13- génère chez lui de l'ennui. Mais les exigences de sûreté implique une grande vigilance de sa part -PSF14-[Activité].

Les organismes de tutelle ont publié des règlements relatifs à l'usage de dispositifs électroniques dans le cadre de l'activité professionnelle, en particulier par les conducteurs de train, dans l'activité de conduite -PSF15- [Contournement].

Pourtant Patrick Davidson ne s'explique pas comment il a pu violer une barrière symbolique (signaux de voie) réduisant la vitesse du train pour s'engager dans l'aiguillage -PSF15-. Patrick Davidson déplore de ne pas avoir de représentation commune de la situation -PSF07- pour se coordonner et réguler leur activité avec le contrôleur de circulation.

Figure 5. Persona fictif de conducteur de train

Le persona : Sarah SANCHEZ (personnage fictif)

À 45 ans, Sarah Sanchez est contrôleur de circulation ferroviaire depuis 15 ans [Expérience]. Elle a complété sa formation initiale par une formation continue dans le domaine ferroviaire avant de rejoindre la compagnie dans laquelle elle travaille aujourd'hui [Formation]. Sarah Sanchez a une petite fille de 10 ans, Esther [Info_Perso]. Gravement malade, Esther subit des examens médicaux. Leurs résultats préoccupent beaucoup Sarah [Événement].



Toujours souriante, Sarah est réservée [Personnalité]. Elle est trésorière d'une association qui fait du soutien scolaire au profit d'enfants de milieux défavorisés [Socialité]. Sarah est connue pour sa rigueur et son professionnalisme [Expérience].

Elle contrôle les trains sur un tronçon qui est en travaux depuis plusieurs mois pour rénover les infrastructures à bout de souffle [Activité].

En tant qu'agent de l'opérateur d'infrastructure ferroviaire, Sarah Sanchez a été informée que les équipes de chantiers n'ont plus de sentinelle -PSF08-, -PSF15- [Contournement]. Son activité nécessite une plus grande vigilance de sa part puisque la sécurité repose essentiellement sur les positions des signaux de voie -PSF14-[Activité]. Mais préoccupée par la santé d'Esther, elle n'a pas pensé à informer Patrick Davidson des travaux sur la voie -PSF13-, nécessitant que le train que conduit Patrick Davidson circule sur la voie 3 -PSF05-.

Sarah Sanchez s'en veut beaucoup de ne pas avoir informé Patrick Davidson des travaux -PSF13- et de leurs impacts sur la circulation des trains -PSF15-. Sarah Sanchez souhaite disposer des moyens pour mieux comprendre la situation opérationnelle -PSF08- et pour communiquer avec les conducteurs de train -PSF07-, -PSF13-.

Figure 6. Persona fictif de contrôleur de circulation ferroviaire

En reprenant les deux fonctions « éviter » et « adapter » de la résilience, nous mettons en évidence les lacunes du système sociotechnique et proposons des éléments de solution pour accroître sa résilience. Nous poursuivons en présentant les impacts sur les IHM.

4.5.1. Relativement à la fonction « éviter » de la résilience

Pour chacune des sous-fonctions de la fonction « éviter », nous effectuons l'analyse suivante et proposons des éléments de solution.

- obtenir une représentation de l'environnement ;

- il n'y a pas de communication -PSF13- et représentation partagée de la situation -PSF07- entre les différents acteurs (conducteur de train, contrôleur de la circulation ferroviaire, équipe de chantier), en conséquence, il n'y a pas de boucle de rétroaction et de régulation de l'activité -PSF05-.

- la solution consiste à donner une représentation partagée de la situation aux différents acteurs, en particulier en zone de danger de telle sorte qu'un risque qui ne serait pas perçu par l'un mais perçu par un autre soit identifié et déclenche les actions adéquates (cf. « Impacts sur les IHM »).

- obtenir une représentation de la dynamique du système ;

- il n'y a pas de représentation partagée de la dynamique du système -PSF8- (le train franchit une barrière et entre en zone de danger).

- la solution consiste aussi à rendre manifeste à l'ensemble des acteurs la présence d'une barrière, et en cas de son franchissement, en avertir les acteurs, par le biais d'une IHM sonore, par exemple.

- identifier les états de l'environnement qui n'ont pas été envisagés ;

- la violation de la barrière symbolique -PSF15- et un second dispositif de sécurité en série ne semblent pas avoir été envisagés (effet de 99%, renforcer l'alerte quand situation exceptionnelle -PSF05-).

- la solution consiste à renforcer la barrière, par exemple en obligeant de l'acquiescer ou de la lever par un geste volontaire, via l'IHM adéquate, impliquant la vigilance du conducteur.

- évaluer les tendances instantanées et les dérives ;

- Les dérives ont été sous-estimées -PSF15-, puisqu'il n'y eut aucun dispositif -PSF03-, mis en place après les deux avertissements et l'enquête sur plusieurs conducteurs pour mesurer et éviter ces dérives -PSF15-.

- La solution consiste à analyser les origines des dérives afin de trouver une solution adaptée (cf. Fonction « adapter »).

- évaluer la distance, voire la proximité, du système par rapport aux zones de danger ;

- Le seul moyen d'évaluer le risque d'accident résidait dans l'intervisibilité -PSF13-, ce qui est insuffisant dans la situation d'une voie unique, dans une courbe, à la sortie d'un tunnel.

- La solution consiste à montrer aux opérateurs la proximité du danger -PSF09-, par exemple en avertissant les deux conducteurs de trains et l'opérateur du poste de contrôle qu'il y a deux trains sur le même canton et déclencher un freinage d'urgence des trains circulant sur le même canton avant qu'il y ait intervisibilité -PSF13- (figure 7).

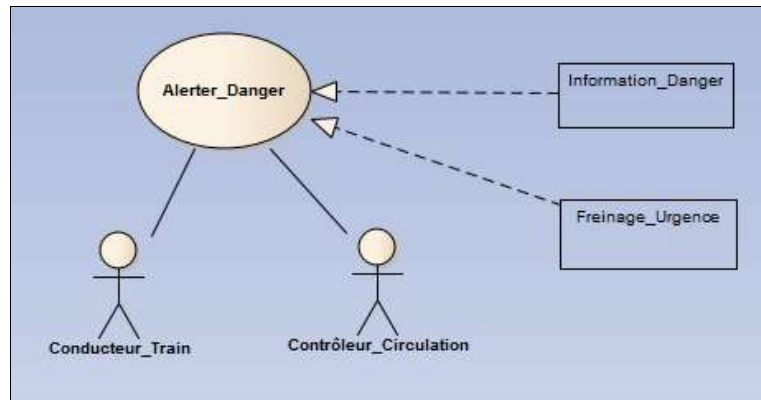


Figure 7. Modélisation SysML de l'alerte du danger (effectuée avec Enterprise Architect©)

4.5.2. Relativement à la fonction « adapter » de la résilience

Pour chacune de ces sous-fonctions, nous effectuons l'analyse suivante et proposons des éléments de solution.

- Permettre aux opérateurs de faire évoluer les procédures pour prendre en compte les évolutions de l'environnement ;

- La proposition de correction s'appuie sur l'installation de caméra dans la cabine du conducteur, c'est-à-dire mettant en œuvre un mode contrôlé -PSF1- (Pariès, 2006 ; 2010).

- La solution consiste à mettre en œuvre un mode régulé permettant aux opérateurs de contrer la monotonie de leur activité -PSF2- et la solitude -PSF3- qu'elle génère. Cela peut consister à mettre en place une double tâche adaptée et sensible au contexte (figure 8). Cependant, en zone de danger (par exemple en cas d'entrée dans un canton à voie unique), le niveau de vigilance -PSF4- et les moyens de régulation entre opérateurs doivent être accrus, la double tâche réduite. Hors de la zone de danger, pour réduire l'ennui, la monotonie, et conserver le niveau de vigilance nécessaire à la conduite -PSF4-, une double tâche maintenant l'implication des opérateurs dans leur activité peut être mise en œuvre.

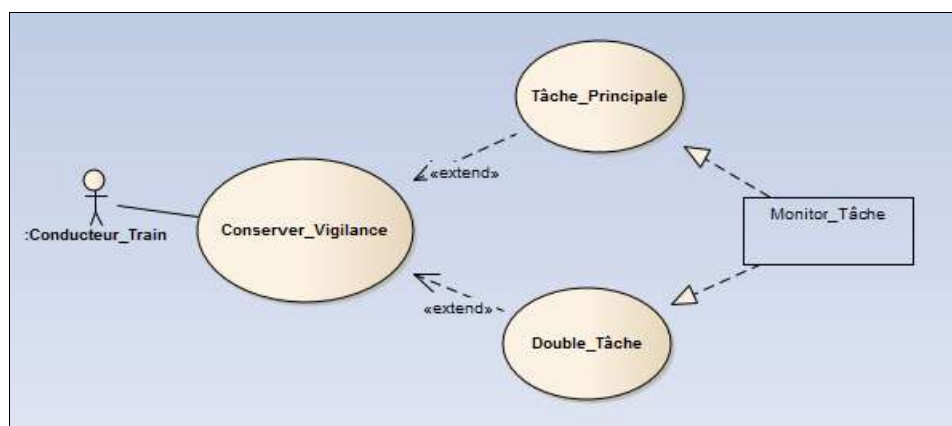


Figure 8. Modélisation SysML de la gestion de la double tâche pour conserver le niveau de vigilance nécessaire (effectuée avec Enterprise Architect©)

5. Discussion. Impacts sur les IHM

Ces propositions ont des impacts sur l'architecture du système et en particulier sur l'IHM (Ruault, 2009). En effet, dans la mesure où l'activité du conducteur est monotone et solitaire, la solution consistant à gérer la double tâche en fonction des exigences de vigilance de l'activité, lesquelles dépendent de la proximité de la zone de danger, cette solution nécessite de détecter la proximité du système par rapport à la zone de danger et de s'adapter à ce contexte en modulant les parts respectives de l'activité principale et de la double tâche. D'une part, cette double tâche doit rompre l'ennui du conducteur et donc être engageante afin qu'il puisse s'y impliquer. D'autre part, elle doit être sensible au contexte afin qu'en proximité de zone de danger elle disparaisse au profit de l'activité principale.

L'autre impact sur les IHM consiste à offrir aux différents acteurs une représentation partagée de la situation. Ceci peut se traduire par une copie sur la station de travail de l'opérateur du poste de contrôle de ce que voit le conducteur du train afin de favoriser aussi le mode régulé. Nous n'aurions pas une caméra braquée sur le conducteur, mais une caméra face à la voie permettant au conducteur et à l'opérateur du poste de contrôle de se coordonner. Une représentation partagée peut aussi profiter de solutions de type réalité augmentée. Ce sont autant d'aspects à considérer dans la conception ou le réaménagement des systèmes actuels.

Dans la même perspective, nous pouvons envisager d'incruster dans l'IHM du conducteur de train la situation des trains voisins, même en absence d'intervisibilité, en implémentant les solutions technologique existant dans le domaine de l'automobile (Mäkinen, 2013).

Enfin, les IHM doivent aussi montrer de façon très explicite les transitions entre, d'une part, les situations routinières, et d'autre part, les situations exceptionnelles (BST, 2012), ainsi les dérives des pratiques (BEA, 2009).

Ces solutions permettent aux opérateurs de construire une représentation partagée de la situation, d'être alertés de la proximité d'une zone de danger, et, à ce titre, contribue à la fonction « éviter » de la résilience.

6. Conclusion

Après l'état de l'art présentant la résilience et le persona, nous avons proposé une démarche basée sur le persona pour l'élaboration de profils de comportements humains adaptés aux systèmes complexes résilients. Son application sur l'étude de cas d'un accident de train, par agrégation d'éléments provenant de plusieurs cas réels et représentatifs, nous permet d'identifier les solutions de conception pour les fonctions « éviter » et « adapter » de la résilience, et d'esquisser les impacts sur l'architecture et sur les IHM, *via* la proposition de personas, l'article se focalisant sur les personas d'un conducteur de train et d'un contrôleur de circulation ferroviaire fictifs agrégeant des caractéristiques structurantes et pertinentes pour la conception. Cette démarche est complémentaire des analyses de l'activité en prenant en compte l'influence de la vie privée et l'activité professionnelle, mais aussi les routines cognitives et les mécanismes de normalisation de la déviance.

Nous poursuivrons la recherche en termes d'architecture système et d'IHM afin de recueillir les informations sur l'état du système, sur son usage, en particulier pour détecter les dérives, et de montrer ces informations aux différents opérateurs afin d'accroître leur conscience de la situation. Nous analyserons d'autres rapports d'accidents, dont ceux rédigés pour les accidents qui se sont déroulés en 2013, pour mettre en évidence d'autres concepts pertinents pour caractériser les situations, en utilisant la notion de persona. À cette fin, nous adapterons SysML en proposant d'y ajouter des patrons de conception.

Bibliographie

- Amalberti R. (2006) Violations et migrations ordinaires dans les activités à risques : conséquences pour la résilience globale et la gestion du retour d'expérience en entreprise ; *Actes du Colloque Ergo'IA 2006*, Biarritz, octobre 2006.
- Amalberti R. (2009) Violations et migrations ordinaires dans les interactions avec les systèmes automatisés. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, n° 6, p. 647-660.
- BEA (Bureau d'enquêtes sur les Accidents de transport terrestre et Administration des enquêtes techniques) (2009). Rapport d'enquête technique sur la collision ferroviaire survenue le 11 octobre 2006 à la frontière franco-luxembourgeoise à Zoufftgen (Moselle).
- BST (Bureau de la sécurité des transports du Canada) (2013). Rapport d'enquête ferroviaire R12T0038 ; Déraillement en voie principale du train de voyageurs numéro 92 exploité par VIA Rail Canada Inc au point milliaire 33,23 de la subdivision d'Oakville du Canadien National à Aldershot (Ontario) le 26 février 2012.
- Brangier E., Bornet C. (2011). Persona: A method to produce representations focused on consumers' needs. In W. Karwowski, M. Soares & N. Stanton (Eds.). *Human Factors and ergonomics in Consumer Product Design*. Taylor and Francis, p. 38-61.
- Broadbent S. (2010) *Comprendre la complexité des usages*, <http://www.internetactu.net/2010/07/16/embrasser-la-complexite/>
- Cahour B., Lancry A. (2011). Émotions et activités professionnelles et quotidiennes. *Le travail Humain*, vol. 74, n° 2, p. 97-106.
- Courage C., Baxter K. (2005). *Understanding Your Users: A Practical Guide to User Requirements Methods, Tools, and Techniques*. Elsevier, San Francisco, CA.

- Carrol J.S. (1976)/ The Effect of Imagining an Event on Expectations for the Event: An Interpretation in Terms of the Availability Heuristic. *Journal of Experimental Social Psychology*, 1978, n° 14, p. 88-96.
- Galara D. (2011). Vers un langage de représentation des schémas mentaux des exploitants de systèmes de production complexes et à risques. *Génie logiciel*, n° 96, p. 11-21.
- Hardy T. (2010). *The System Safety Skeptic*. AuthorHouse, Bloomington, IN.
- Idoughi D., Kolski C., Seffah, A. (2010). Design Principles of Web-based Services in Large-Scale e-Logistics Processes. *Proc. LSS2010*, Villeneuve d'Ascq, juillet.
- Idoughi D., Seffah A., Kolski C. (2012). Adding user experience into the interactive service design loop: a persona-based approach. *Behaviour & Information Technology*. Vol. 31, n° 3, p. 287-303.
- ISO (2002). ISO/TR 16982:2002 Méthodes d'utilisabilité pour la conception centrée sur l'opérateur humain - Ergonomie de l'interaction homme-système.
- ISO (2008). ISO/CEI 15288:2008 Systems and software engineering – System life cycle processes.
- ISO (2010). ISO 9241-210:2010 Ergonomie de l'interaction homme-système - Partie 210: Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs.
- Jackson S. (2009). *Architecting Resilient Systems: Accident Avoidance and Survival and Recovery from Disruptions*, Wiley, Hoboken, NJ.
- Jackson S., Ferris T. (2013). Resilience principles for engineered systems. *Systems Engineering*, vol. 16, n° 2, p. 152-164, Summer 2013.
- Karsenty L. (2011). Confiance interpersonnelle et communication de travail. Le cas de la relève de poste. *Le travail Humain*, vol. 74, n° 2, p. 131-155.
- Kirke C. (2004). Organizational culture: the unexpected force. *Journal of battlefield technology*, vol. 7 n° 2, July 2004, p. 11-15.
- Kirke C. (2005). Organizational culture: can system designers ignore it? *Proceedings of the IEE and HFI DTC Symposium on People and Systems: Who are We Designing For? London*, 16-17 November 2005, p. 9-15.
- Lemercier C. et al. (2014). Inattention behind the wheel: How factual internal thoughts impact attentional control while driving. *Safety Science*, vol. 62, p. 279-285.
- Leplat J., Hoc J.-M. (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, vol. 3, n°1, p. 49-63.
- Leplat J. (2002). De l'étude de cas à l'analyse de l'activité. *Pistes*, vol. 4, n°2, 11/2002, p. 1-31.
- Luzeaux D., Ruault, J.-R., Wippler J.-L. (2011). *Maîtrise de l'ingénierie des systèmes complexes et des systèmes de systèmes*. Hermès Science Publications, Paris.
- Luzeaux D., Ruault, J.-R. (2013). *L'ingénierie système*. Collection 100 questions pour comprendre et agir. AFNOR éditions, Paris.
- Mäkinen T. (2013). Talking vehicles make driving cooperative. In Rouhiainen V., *Research highlights in safety and security*, VTT Technical Research centre of Finland.
- Meinadier J.-P., Fiorèse S. (eds.) (2012). *Découvrir et Comprendre l'Ingénierie Système*. Cépaduès, Toulouse.
- Morel C. (2002). *Les Décisions absurdes : Sociologie des erreurs radicales et persistantes*. Gallimard, Collection Bibliothèque des Sciences humaines.
- NTSB (2010). *Accident report, Collision of Metrolink Train 111 With Union Pacific Train LOF65-12, Chatsworth, California, September 12, 2008*, NTSB/RAR-10/01, PB2010-916301.
- Pariès J. (2006). Complexity, emergence, resilience. E. Hollnagel, D. Woods & N. Levenson (eds.), *Resilience Engineering. Concepts and precepts*, Ashgate, Hampshire, Great Britain.
- Pariès J. (2010). *De la fiabilité à la résilience ; Les nouveaux défis de la sécurité ?* Entretiens Jacques Cartier novembre 2010, Université de Grenoble Campus de Saint-Martin-d'Hères, http://www.pacte.cnrs.fr/IMG/pdf_Paries_De_la_fiabilite_a_la_resilience.pdf
- Polet P., Vanderhaegen F., Chaali-Djelassi A. (2009). Prédiction du comportement des opérateurs humains, le cas des déviations volontaires. Application à la conduite automobile. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, vol. 43, n° 6, p. 661-681.
- Pruitt J., Adlin T. (2006). *The Persona Lifecycle: Keeping People in Mind Throughout Product Design*. Morgan Kaufmann.
- Rasmussen J. (1983). Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models. *IEEE Transactions on systems, man and cybernetics*, vol. SMC-13, n° 3, May-June 1983, p. 257-266.
- Roques P. (2013). *Modélisation des systèmes complexes avec SysML*. Eyrolles, Paris.
- Ruault J.-R. (1997). Convergence entre cas d'utilisation (OOSE) et notion de tâches. *9^e Journées francophones sur l'Interaction Homme-Machine (IHM'97)*, Poitiers.
- Ruault J.-R. (2009). Adaptabilité des systèmes à logiciel prépondérant. Appropriation et démarche orientée aspect. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, n° 6, p. 683-710.
- Ruault J.-R., Luzeaux D., Colas C., Sarron J.-C. (2011). Résilience des systèmes sociotechniques. Application à l'ingénierie système. *Génie logiciel*, n° 96, p. 40-52.
- Ruault J.-R., Kolski C., Vanderhaegen F. (2012a). Persona pour la conception de systèmes complexes résilients. *Ergo/IHM 2012*, 16-19 octobre, 2012, Biarritz, France, ACM.

- Ruault J.-R., Vanderhaegen F., Luzeaux D. (2012b). Sociotechnical systems resilience. *22nd Annual INCOSE International Symposium*, Rome.
- Ruault J.-R., Vanderhaegen F., Kolski C. (2013). Sociotechnical systems resilience: a dissonance engineering point of view. *12th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems* (august, 11-15), IFAC, Las Vegas, USA.
- Ruault J.-R., Gardinetti E., Kolski C., Vanderhaegen F. (2014). Adaptation de l'ergonomie prospective aux systèmes à longue durée de vie. *Le Travail humain*, 77 (3), p. 257-280.
- Seffah A., Kolski C., Idoughi D. (2009). Persona comme outil de design de services interactifs : principes et exemple en e-maintenance. *IHM'09 Proceedings of the 21st International Conference on Association Francophone d'Interaction Homme-Machine, ACM*.
- SAIC (2005). Good Practices for Implementing Human Reliability Analysis (HRA), final report, reference NUREG 1792. US Nuclear Regulatory Commission, Washington DC.
- Soulier E., Bugeaud F., Ruault J.-R. (2008). Nouveaux concepts pour la collaboration entre experts des facteurs humains et ingénieurs des systèmes. *Actes d'ErgoIA 2008*, Biarritz.
- Tversky A., Kahneman D., (1974). Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. *Science* 27 September 1974, vol. 185 n° 4157 p. 1124-1131.
- Vanderhaegen F. (2003). *Analyse et contrôle de l'erreur humaine*. Hermès-Lavoisier, Paris.
- Vaughan D., (1996). *The Challenger launch decision*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Woods D., Cook R., (2006). Incidents – Markers of resilience or brittleness? ; in E. Hollnagel, D. Woods et N. Levenson (eds.), *Resilience Engineering. Concepts and precepts*, Ashgate, Hampshire, Great Britain, 2006.