



HAL
open science

Associer l'ingénierie système et le Cognitive Work Analysis pour soutenir l'intégration Homme-Système

Camille Raymond, Daniel Prun, Julien Cegarra

► **To cite this version:**

Camille Raymond, Daniel Prun, Julien Cegarra. Associer l'ingénierie système et le Cognitive Work Analysis pour soutenir l'intégration Homme-Système. Ergo'IA 2016, Jul 2016, Bidart, France. hal-01626011

HAL Id: hal-01626011

<https://enac.hal.science/hal-01626011>

Submitted on 30 Oct 2017

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.

Associer l'ingénierie système et le Cognitive Work Analysis pour soutenir l'intégration Homme-Système

Camille Raymond

Altran / ENAC
4 avenue Daurat
31700, Blagnac, France
camille.raymond@altran.com

Daniel Prun

ENAC
7 avenue Belin
31000, Toulouse, France
daniel.prun@enac.fr

Julien Cegarra

Université Champollion
Place de Verdun
81012, Albi, France
julien.cegarra@univ-jfc.fr

ABSTRACT

In response to the challenges related to the integration of human considerations in the system engineering process, the Human-System Integration (HSI) approach has been proposed. Although relevant in many aspects, this approach provides limited formalisms. This shortcoming complicates the representations of the system and human aspects within a single model, reducing thereby the means of collaboration among the system engineers and the human factors practitioners. This paper proposes to combine the formalisms of SysML and the *Cognitive Work Analysis* in order to develop the necessary means of expression to support the HSI approach.

Mots Clés

Ingénierie Système ; Human-System Integration ; Cognitive Work Analysis

ACM Classification Keywords

I.6.5. Modeling methodologies

INTRODUCTION

L'intégration des considérations humaines au sein des systèmes complexes soulèvent de nombreuses problématiques. En effet, l'industrie considère habituellement l'homme comme étant la source principale d'erreurs lors de l'utilisation d'un système. Il est alors devenu fréquent d'encadrer les activités des opérateurs par la mise en place de procédures de travail. Considérant l'homme comme un facteur limitant, elles réduisent les capacités humaines de réflexion et d'adaptation pourtant décisives dans les cas où les procédures ne répondent pas au contexte de travail présent.

Face à ce constat, l'approche *Human-System Integration* a été proposée afin d'améliorer l'intégration des aspects humains dans les activités de l'ingénierie système. Cependant, cette approche ne propose que peu de formalismes dédiés à sa mise en œuvre [1,2,3].

Ce papier propose une étude préliminaire sur

l'association de l'ingénierie système et du *Cognitive Work Analysis* (CWA) dans le but de fournir un espace de collaboration commun à ces deux approches.

L'INGÉNIERIE SYSTÈME

L'ingénierie système est définie comme « la discipline de l'ingénierie responsable dans la création et la réalisation d'un processus interdisciplinaire garantissant la satisfaction des besoins du client et des parties prenantes d'une manière à assurer la qualité, la confiance, la gestion financière et dans le respect des délais tout au long du cycle de vie du projet » [4].

Cette définition suggère la variété des activités et des parties prenantes impliquées dans la vie d'un projet. Ainsi, un système est exprimé par un ensemble de points de vue techniques, humains, organisationnels, financiers ou liés à la sûreté, portés par autant de praticiens issus de ces spécialités. Pour mener à bien ces activités, l'ingénierie système dispose de normes, de méthodologies et d'outils.

La norme ISO/IEC 15288 [5] définit l'ensemble des processus de l'ingénierie système parmi lesquelles figurent l'analyse des besoins, la spécification, l'implémentation, la vérification et la validation.

Les méthodologies *Model-Based System Engineering* (MBSE) supportent la mise en œuvre de ces processus d'ingénierie système. Ces méthodologies décomposent un système en couches hiérarchiques : opérationnelle, fonctionnelle, logique, physique. La cohérence et la complétude du modèle étant assurées par des mécanismes de traçabilité et de vérification de modèles.

Le langage standardisé de modélisation SysML fournit les formalismes nécessaires pour décrire un système selon des points de vue opérationnels, comportementaux, structurels, ou analytiques.

Bien que pertinente sur les problématiques techniques, l'ingénierie système se heurte à l'intégration des aspects humains et organisationnels dans la conception des systèmes. Les obstacles se situent à plusieurs niveaux.

Tout d'abord, des travaux [1,2,3] soulignent le manque de formalismes et d'outils pour les ingénieurs afin de représenter les caractéristiques humaines telles que la charge cognitive, la performance, la fatigue, le stress etc. Étant difficilement exprimables dans les modèles d'ingénierie, ces caractéristiques ne peuvent pas être

complètement intégrées lors des choix de conception du système. De ce fait, les évaluations de l'impact humain sur le système ne peuvent être menées que tardivement dans le cycle de vie du projet, rendant les corrections potentielles coûteuses et difficilement applicables.

Muralidhar [6] exprime également les difficultés pour impliquer conjointement les ingénieurs système et facteurs humains dans un cadre de travail commun. Cette situation est causée par les divergences culturelles, méthodologiques et sémantiques [3].

L'ensemble de ces obstacles mène à la réalisation de système ne prenant pas en compte suffisamment la composante humaine, réduisant ainsi les niveaux de performance et de sûreté adéquats.

Dans le but de palier ces insuffisances, l'approche *Human-System Integration* a été proposée pour améliorer la prise en considération de l'aspect humain dans les systèmes complexes interactifs [7].

HUMAN-SYSTEM INTEGRATION

L'approche *Human-System Integration* (HSI) est définie comme étant « une approche multidisciplinaire pour intégrer les aspects humains, techniques et organisationnels au niveau système, en prenant pleinement en considération les besoins humains » [7]. Cette définition met en évidence la nécessité de considérer les caractéristiques humaines dans les processus de conception et de mise en œuvre des systèmes complexes afin de garantir des niveaux de performance et de sûreté optimum.

Le tableau 1 présente les caractéristiques humaines à prendre à compte dans la conception de systèmes complexes dans les domaines civils [3]. Ce tableau omet volontairement les aspects « capacité de survie » et « habitabilité » car trop spécifiques au domaine militaire.

Facteurs Humains	Etudes des capacités et des limites humaines dans son environnement
Sûreté	Détermination des caractéristiques minimisant les risques d'accident
Santé	Définition des facteurs de santé à considérer pour réduire les accidents
Environnement	Études de l'environnement et des risques associés pour le système
Entraînement	Définition des instructions et des ressources à fournir au personnel
Personnel	Détermination des compétences et des capacités humaines
Main-d'œuvre	Détermination du nombre de personnels requis pour les opérations

Tableau 1. Domaines couverts par le HSI

Arnold et al. [8] ont proposé le modèle *Human-System* identifiant un ensemble de processus, complémentaire à

ceux de l'ingénierie système, assurant l'intégration des aspects humains dans le cycle de vie d'un système. Orellana et Madni [9] ont défini une ontologie pour inclure les concepts HSI dans la description de l'architecture du système. Dans cette perspective, les vues *Human Views* [10,11] ont été proposées pour les cadres d'architecture DoDAF, MoDAF et NAF.

Afin d'intégrer la composante humaine dans un système, il est nécessaire d'étudier les tâches et les caractéristiques des acteurs, en se concentrant particulièrement aux aspects liés aux domaines HSI (Tableau 1). De ce fait, cette analyse doit répondre à plusieurs exigences.

Tout d'abord, le HSI promeut une approche holistique en portant une attention particulière aux facteurs humains, à l'organisation du travail, aux compétences des opérateurs et à l'environnement de travail. Les méthodes d'analyse doivent en conséquence couvrir l'ensemble de ces caractéristiques.

Un système sociotechnique est rarement stable dans le temps. La modélisation des tâches peut se retrouver invalidée par des événements imprévus ou par des évolutions de l'environnement lui-même. Ainsi, la modélisation des tâches doit exprimer le dynamisme des situations rencontrées dans le domaine de travail.

Pour mener une telle analyse, la littérature propose une multitude de méthodes idoines, parmi lesquelles : *Hierarchical Task Analysis* (HTA, [12]), *Cognitive Task Analysis* (CTA, [13]) ou *Cognitive Work Analysis* (CWA, [14]).

Ces méthodologies diffèrent par l'approche de modélisation qu'elles adoptent [15]. L'approche descriptive décrit la façon dont sont réalisées les tâches en pratique dans l'environnement de travail. L'approche normative décrit la façon dont devraient être réalisées les tâches. Enfin, l'approche formative décrit l'ensemble des contraintes déterminant les tâches et les limites de leur domaine de travail.

Les approches descriptives et normatives adoptent une modélisation orientée-buts. Elles identifient les activités et modélisent leur décomposition à un haut niveau de détail, fournissant ainsi une source d'information importante pour d'autres disciplines d'un projet, comme l'Interaction Homme-Machine et l'analyse fonctionnelle. En décrivant les contraintes, et non les tâches, l'approche formative focalise l'analyse sur les potentialités de l'environnement de travail. Elle reste moins détaillée que les autres approches, mais elle offre une couverture plus étendue, en considérant le domaine de travail, les agents et l'environnement du système.

De ce fait, l'analyse formative, portée par le CWA, apparaît comme l'approche la plus adaptée pour guider l'approche HSI. En proposant une analyse holistique et en identifiant les contraintes du domaine de travail, elle

répond au besoin d'analyser un système en considérant son caractère évolutif et dynamique.

COGNITIVE WORK ANALYSIS

L'approche *Cognitive Work Analysis* (CWA) est un cadre de conception (*framework*) pour la production de système sociotechnique [14]. En menant une approche formative, le CWA propose une analyse du système en se concentrant sur les contraintes imposées par l'environnement de travail dans lequel évoluent les opérateurs. Le concept de *contraintes* fait référence aux facteurs limitant l'activité d'un agent pour assurer sa sécurité ou sa performance. La définition de ces contraintes permet alors de distinguer les comportements acceptables de ceux jugés inacceptables dans le cadre de son travail. Grâce à la définition de ce cadre, l'initiative est donnée à l'opérateur dans la réalisation de ses activités, en promouvant son expertise et ses capacités d'adaptation face à son environnement.

Le CWA structure l'analyse du système en cinq phases : (1) l'analyse du domaine de travail, (2) l'analyse des tâches de contrôle, (3) l'analyse des stratégies, (4) l'analyse de l'organisation et de la coopération, et (5) l'analyse des compétences.

Analyse du domaine de travail

L'analyse du domaine de travail (*Work Domain Analysis*–WDA) modélise les contraintes physiques, structurelles et fonctionnelles encadrant les activités des opérateurs. Elle explicite les objectifs du système, les moyens de vérification de leurs succès, les fonctions utilisées pour les atteindre et les dispositifs physiques pour les réaliser.

L'analyse du domaine est modélisée grâce à l'Abstraction-*Decomposition Space*.

Analyse des tâches de contrôle

L'analyse des tâches de contrôle (*Cognitive Task Analysis*–ConTA) identifie les buts et les processus physiques et cognitifs engagés pour les atteindre. Cette analyse définit les tâches du domaine de travail indépendamment de la personne en charge et de la manière dont elles sont réalisées.

L'analyse cognitive des tâches est modélisée en utilisant

les formalismes de *Decision Ladder* ou *Contextual Activity Template*.

Analyse des stratégies

L'analyse des stratégies (*Strategy Analysis*–SA) se concentre sur *comment* est réalisée une activité. Le terme *stratégie* se réfère au fait qu'une tâche peut être réalisée de plusieurs façons différentes, selon l'état du système, de l'environnement ou bien des contraintes cognitives et physiques de l'opérateur.

Le formalisme utilisé pour décrire les stratégies est l'*Information Flow Map*.

Analyse de l'organisation et de la coopération

L'analyse de l'organisation et de la coopération (*Social Organization and Cooperation Analysis* – SOCA) s'intéresse à l'organisation du travail au sein du système. En effet, une activité peut être réalisée par une ou plusieurs personnes, simultanément ou non, automatisée ou non. L'organisation du travail est influencée par les conditions dynamiques dans lesquelles évoluent le système et l'opérateur (charge de travail, fatigue, compétences de l'opérateur etc.).

Cette analyse est généralement formalisée par la mise en place d'annotations sur les autres modèles.

Analyse des compétences

La dernière phase, l'analyse des compétences (*Work Analysis* – WA), modélise les outils et les compétences nécessaires aux opérateurs pour mener les activités du système.

L'analyse des compétences s'appuie sur le modèle *Skills, Rules, Knowledge* (SRK) développé par Rasmussen [16].

ASSOCIER CWA ET INGENIERIE SYSTEME

À l'aune des caractéristiques de ses cinq phases d'analyse, il apparaît que le CWA fournit un cadre pour soutenir l'approche HSI.

En effet, le tableau 2 présente les apports du CWA selon les domaines du HSI. Ainsi, l'analyse du domaine de travail (WDA) définit les contraintes associées à la sûreté, à la santé et à l'environnement. L'analyse des tâches de contrôle (ConTA) identifie les ressources physiques et cognitives sollicitées pour la réalisation des

	WDA	ConTA	SA	SOCA	WC
Facteurs Humains		Identifie	Définit	Guide	Utilise
Sûreté	Contraintes			Guide	
Santé	Contraintes			Guide	
Environnement	Contraintes			Guide	
Entraînement				Guide	Définit
Personnel			Guide	Détermine	Définit
Main-d'œuvre				Détermine	Définit

Table 2. Les apports du CWA pour le HSI

tâches. L'analyse des stratégies (SA) définit les stratégies adoptées selon l'état cognitif et physique de l'opérateur et de ses compétences. L'analyse de l'organisation (SOCA) guide la prise en compte de l'ensemble des domaines du HSI à la vue des facteurs impactant l'organisation du travail (nombre de personnes requises, leurs compétences, leurs états, la situation etc.). L'analyse des compétences (WC) définit le nombre de personnels requis et leur niveau de compétences, qui peut être soutenu par l'entraînement.

D'un autre côté, le CWA guide et complète les activités de l'ingénierie système [17]. Par exemple, l'analyse du domaine de travail (WDA) permet aux concepteurs de définir les besoins en termes de fonctionnalités et de dispositifs physiques pour atteindre les objectifs du système. L'analyse des tâches de contrôles (ConTA), l'analyse des stratégies (SA) et l'analyse de l'organisation (SOCA) aident les ingénieurs à définir les caractéristiques des activités du système (ordonnancement, physique/mentale, etc.) et leur allocation dynamique entre les opérateurs et les mécanismes d'automatisation.

Par son approche formative, le CWA permet de concevoir des systèmes mettant au profit les capacités d'adaptation et de réflexion des opérateurs, notamment dans des situations non prévues, dans un cadre de travail assurant sa performance et sa sûreté.

Cependant, il manque actuellement au CWA et à l'ingénierie système un espace d'expression partagé. En effet, les formalismes de chacune de ses approches ne peuvent, en l'état, pas être exploités pour pouvoir mener une démarche HSI. Dans cette situation, il semble difficile d'intégrer directement, sans adaptation, le CWA dans les activités d'ingénierie système.

Face à cette situation, nos travaux s'orientent vers l'extension du méta-modèle du SysML pour l'intégration des formalismes du CWA. Cette convergence permettra de créer un espace commun de modélisation pour les ingénieurs système et les spécialistes des problématiques humaines et organisationnelles. De ces travaux émergeront une étude sur la pertinence du SysML comme support d'intégration du CWA face aux autres langages de modélisation.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 Hardman, N.S. *An Empirical Methodology for Engineering Human Systems Integration*. 2009.
- 2 Madni, A. M. Integrating humans with and within complex systems. *CrossTalk*, 5 (2011).
- 3 Mavor, A. S. and Pew, R. W. *Human-System Integration in the System Development Process: A New Look*. National Academies Press, 2007.
- 4 INCOSE. *Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities*. Wiley, 2015.
- 5 ISO/IEC/IEEE15288:2015. *Systems and software engineering - System life cycle processes*. Geneva, 2015.
- 6 Muralidhar, A. How human systems integration and systems engineering can work together. *Insight*, 11, 2 (2008), 11-14.
- 7 Booher, H.R. *Handbook of human systems integration*. John Wiley & Sons, 2003.
- 8 Arnold, S, Earthy, J, and Sherwood-Jones, B. Addressing the people problem - ISO/IEC 15288 and the Human-System Life Cycle. *INCOSE International Symposium*, 12, 1 (2002), 641-647.
- 9 Orellana, D. W. and Madni, A. M. Human System Integration Ontology: Enhancing Model Based System Engineering to Evaluate Human-System Performance. *Procedia Computer Science*, 28 (2014), 19-25.
- 10 Bruseberg, A. Human views for MODAF as a bridge between human factors integration and systems engineering. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 2, 3 (2008), 220-248.
- 11 Handley, H.A. and Smillie, R.J. Architecture framework human view: the NATO approach. *Systems Engineering*, 11, 2 (2008), 156-164.
- 12 Stanton, N. Hierarchical task analysis: Developments, applications, and extensions. *Applied ergonomics*, 37, 1 (2006), 55-79.
- 13 Schraagen, J. M., Chipman, S. F., and Shalin, V. L. *Cognitive task analysis*. Psychology Press, 2000.
- 14 Vicente, K. J. *Cognitive work analysis: Toward safe, productive, and healthy computer-based work*. NJ : Lawrence Erlbaum Associates, 1999.
- 15 Rasmussen, J. Merging paradigms- Decision making, management, and cognitive control. *Decision making under stress- Emerging themes and applications(A 99-12526 01-53)* (1997), 67-81.
- 16 Rasmussen, J. Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *Systems, Man and Cybernetics* (1983), 257-266.
- 17 Naikar, N., Lintern, G., and Sanderson, P. Cognitive work analysis for air defense applications in Australia. *Cognitive systems engineering in military aviation environments: avoiding cogminutia fragmentosa* (2002), 169--200.

