26èmes journées STP (Sciences et Techniques de la Production)
GdR MACS (Modélisation Analyse et Conduite de Systèmes dynamiques)

22-23 Novembre 2018 – Clermont-Ferrand

Session ASHM – IMS2

L'Humain, l'organisation et les machines : quelles coopérations pour quels objectifs ?

Marie-Pierre Pacaux-Lemoine, Damien Trentesaux

LAMIH, UPHF, Valenciennes, 59300

Résumé : Les Sciences et Techniques nous offrent aujourd'hui un panel d'outils mécaniques, informatiques et automatiques tel qu'il pourrait être captivant, voire séduisant, d'agencer ces outils pour mettre en place des systèmes de plus en plus autonomes et donc des procédés de plus en plus indépendants de l'Humain ; mais en apparence uniquement ! Pour le concepteur de systèmes automatisés, les enjeux portent souvent, principalement, sur la performance technologique. Or cette performance, bien que nécessaire, est régulièrement dégradée par l'incompétence des systèmes à gérer les situations imprévues tels les incidents ou les changements d'objectifs non planifiés. Seul l'Humain est aujourd'hui capable d'appréhender de telles situations, voire d'anticiper l'évolution de processus dynamiques, mais à condition qu'il soit tenu informé et qu'il puisse avoir le contrôle pour appliquer ses décisions. Pour maintenir ou remettre l'Humain dans la boucle de contrôle et de commande, des concepts assortis de méthodes ont été définis et sont exploités dans le cadre de la Coopération Homme(s)-Machine(s).

L'objectif de cette présentation est de décrire les modèles utilisés pour construire une coopération performante, sécurisée et confortable entre des Humains et des systèmes proposant diverses compétences. Ces modèles sont principalement issus d'études menées pour le contrôle de procédés dynamiques tels le contrôle de trafic aérien, la conduite automobile et ferroviaire, le pilotage d'avion de chasse, la robotique mobile. Notre souhait est maintenant d'adapter si besoin et d'exploiter ces modèles pour répondre aux enjeux de l'Usine du futur. Des exemples extraits de travaux passés et en cours illustrent les approches de la Coopération Homme(s)-Machine(s). Le premier exemple met en exergue la complexité de systèmes auto-organisés telle la mise en place de produits « intelligents » sur les cellules flexibles, notamment du point de vue de l'Humain qui en a le contrôle, voire la responsabilité. Le second exemple montre l'utilisation de méthodes de conception et d'évaluation dans le cadre d'une coopération entre un Humain ayant à contrôler à distance deux robots indépendants proposant plusieurs niveaux d'automatisation.

L'usine du futur et ses opérateurs : l'intégration du facteur humain

Quentin Berdal (1), Marie-Pierre Pacaux-Lemoine (1), Christine Chauvin (2), Damien Trentesaux (1)

(1) LAMIH, UPHF, Valenciennes, 59300
(2) Lab-STICC, Université de Bretagne Sud, Lorient 56321

Le développement rapide des technologies de l'information a offert de nombreuses opportunités nouvelles à l'industrie. Allant des améliorations du jeu de compétence des machines, brique élémentaire de l'industrie, jusqu'à de nouvelles philosophies de gestion offrant une autonomie et une flexibilité importante au système, ces nombreux changements redéfinissent en profondeur l'industrie. Dans ce contexte où chaque échelon est sujet à innovation, un point reste cependant inchangé : l'intervention humaine dans le système reste nécessaire.

Si ce point est connu, il est cependant trop souvent sous-estimé et sacrifié au bénéfice du développement technique des systèmes manufacturiers. Les évolutions prévues dans le cadre de l'usine du futur en amplifient l'impact jusqu'à rendre l'intervention humaine impossible malgré son importance. Plusieurs études portant sur des accidents majeurs à travers différents domaines soulignent que ceux-ci auraient pu être de moins grande envergure, voire même être évités si le système avait été adapté aux opérateurs. La complexité des systèmes et leur autonomie croissante ne permet plus aux opérateurs de prendre conscience de l'état des opérations pour identifier les anomalies et encore moins de se projeter cet état dans un futur proche dans un but d'anticipation des accidents.

Cependant, si ces innovations amplifient ce problème d'intégration de l'humain, elles apportent également une opportunité d'y remédier avant même qu'un modèle soit adopté au sein de l'industrie, rendant une analyse centrée sur l'humain plus abordable. C'est dans cette optique que sera présentée l'une des méthodes d'analyse anthropocentrée, le Cognitive Work Analysis, qui a déjà fait ses preuves dans plusieurs domaines où la sûreté est critique, à savoir entre autres l'exploitation des centrales nucléaires et la gestion du trafic aérien. Cette méthode est actuellement exploitée dans le projet de recherche HUMANISM, ayant pour but de démontrer la faisabilité et l'intérêt de l'intégration de l'humain dans divers systèmes manufacturiers, fournissant par la même occasion des bases de départ pour l'intégration de l'humain dans le secteur industriel.

Vers une approche anthropocentrée des architectures de contrôle hybride : application à un industriel de l'ameublement.

Etienne VALETTE, Guillaume DEMESURE, Hind BRIL EL HAOUZI

CRAN F-88000, 27 rue Philippe Séguin, Epinal 88000

Résumé : Ce sujet s'inscrit dans le cadre d'une thèse CIFRE entre l'entreprise Parisot et le laboratoire du CRAN. Il se place dans un contexte industriel difficile, ou le besoin d'une architecture de contrôle hybride a déjà pu être démontré. L'hypothèse prônée dans cette thèse est qu'un système complexe-adaptable centré Homme peut être modélisé sous la forme d'un modèle cybernétique présentant différents niveaux hiérarchiques et deux axes de coordination : un axe Homme-Ressource-Produit et un axe entre leurs différentes agrégations.

Le premier axe de travail vise à définir le niveau de mobilité désiré des différentes ressources physiques ainsi que leurs niveaux d'intelligence. Cela impactera la manière dont la prise de décision est distribuée entre les produits, les ressources physiques et les opérateurs doit donc reposer sur une analyse fine du

potentiel et du besoin de l'entreprise et sur une veille technologique et une étude bibliographique poussées. Le second axe porte sur les interactions entre architecture centralisée/hiérarchique (vision à moyen/long terme) et architecture distribuée/hétérarchique (réactive face à des évènements inattendus) pour instaurer une architecture hybride bénéficiant des avantages de chacune des architectures tout en minimisant leurs faiblesses. Le développement et la mise en place d'outils d'aide à la décision pour le plus bas niveau hiérarchique et des études sur les données disponibles sont en cours à ce niveau.

Dans ces deux axes, l'Homme doit être pris en compte de la conception d'un produit ou d'un système jusqu'à la production ou la mise en œuvre. Les problématiques sont liées aux compétences de l'Humain, à sa compréhension du système et ses améliorations, mais aussi aux moyens d'améliorer ses conditions de travail. L'Humain, qu'il soit opérateur ou manager, doit être capable d'interagir avec le système, de communiquer avec celui-ci, de comprendre son fonctionnement et les impacts de ses décisions (responsabilisation). A l'inverse, le système (ou partie du système) interagissant avec l'Humain ne doit pas entrer en conflit entre celui-ci (cela renforcerait la résistance aux changements) mais être facile d'utilisation et de compréhension pour obtenir des actions et/ou décisions mutuelles entre « Homme et machine » constructives.

Modèles d'évaluation et de prédiction de l'impact d'introduction de nouveaux produits sur la planification tactique dans le contexte des entreprises cyber-physiques.

Julie Alves BIBAUD, Hind BRIL EL-HAOUZI, Phillippe THOMAS

CRAN F-88000, 27 rue Philippe Séguin, Epinal 88000

Résumé : Ce sujet s'inscrit dans le cadre d'une thèse CIFRE entre l'entreprise Parisot et le laboratoire du CRAN. Il se place dans un contexte actuel complexe, dans lequel les entreprises doivent concevoir et produire des produits de plus en plus complexes, plus vite et moins cher, afin de répondre aux besoins des clients de plus en plus exigeants. Pour rester compétitives, les entreprises industrielles doivent développer leurs capacités d'agilité et de résilience dans le pilotage et la gestion de leurs processus, de leurs ressources et de leurs données, dans une démarche de progrès permanent, basée sur la capitalisation de la connaissance. En effet, elles doivent faire face à une grande variabilité des paramètres liés aux produits, aux processus, aux phases, aux sites de production, aux marchés, etc. Cette variabilité entraîne des déséquilibres, des perturbations que l'entreprise doit appréhender, notamment concernant le processus d'établissement du Plan Industriel et Commercial (PIC) et son optimisation. L'une des principales sources de cette variabilité est celle induite par le processus de Développement et d'Introduction de Nouveaux Produits. Il s'agit d'un des processus clés pour assurer la compétitivité et la croissance de l'entreprise.

La thèse vise à définir des modèles d'évaluation et de prédiction de l'impact de l'introduction de nouveaux produits sur la planification tactique. Il faudra définir les différents niveaux d'intelligence, humaine et artificielle, nécessaires à la prise de décision et à la capitalisation des connaissances. Ces travaux se baseront sur une analyse fine du besoin et du potentiel de l'entreprise ainsi que sur une veille technologique et une étude bibliographique poussées.

Intégration des facteurs humains dans la conception d'aménagements industriels via l'adaptation de l'ontologie FBS (Function-Behaviour-Structure).

Ismail EL MOUAYNI (1), Jean-Yves DANTAN (2), Hind BRIL EL-HAOUZI (1)

1. *ENSTIB, 27 rue Philippe Séguin, Epinal 88000*
2. *ENSAM, 6 rue Félix Savart, Technopole, Metz 57000*

Résumé : L'intégration des facteurs humains dans le management des opérations et en particulier, lors de l'aménagement d'un système de production demeure un défi pour les industriels et les chercheurs. Contrairement aux approches classiques où les facteurs humains sont considérés comme des contraintes qui alimentent les différentes phases de conception, le repositionnement de l'opérateur dans le système via une approche anthropocentrique permet, certes, une meilleure appréhension de ces facteurs, mais sans apporter une solution par rapport au compromis productivité / condition de travail.

L'approche sociotechnique quant à elle, propose d'analyser les deux composantes opérateur-moyen (de production) afin de trouver un « point de fonctionnement » assurant la productivité visée et des meilleures conditions de travail. Cela dit, cette approche n'apporte pas les méthodes et les outils permettant d'amener une telle analyse. Ainsi, ce travail de recherche propose une adaptation de l'ontologie FBS (Function-Behaviour-Structure) ou Fonction-Comportement-Structure en Français, pour proposer une démarche de conception qui vise à analyser les interactions opérateurs-moyen (comportement), d'intégrer les facteurs humains prévalent et de les lier à des choix d'aménagement (Structure). Comme outil, ce travail propose d'employer la simulation pour évaluer ces interactions et valider la conception.

En guise d'illustration, deux aménagements industriels sont analysés via la méthode proposée. Le premier représente un agencement linéaire proche du paradigme fordiste. Inspiré du paradigme réfléchi du site industriel d'Uddevalla de Volvo, le deuxième aménagement est composé de trois cellules de production parallèles avec des tâches plus enrichies. La simulation réalisée montre que la deuxième configuration est bien meilleure en termes de productivité. En termes de conditions de travail, l'agencement cellulaire permet une meilleure gestion de la fatigue et des fluctuations du flux physique grâce aux tolérances temporelles mise à disposition. D'une manière plus globale, illustration montre qu'une meilleure intégration des facteurs humains avec la considération des contraintes de productivité peut être réalisée via la méthode proposée.

Génération automatique et vérification formelle de programmes d'API sécurisés pour les systèmes de contrôle ferroviaires

Mohamed Niang (1), Alexandre Philippot (1), Bernard Riera (1) et Serge Debernard (2)

1. *CReSTIC, Université de Reims, Reims 51687*
2. *LAMIH, UPHF, Valenciennes 59300*

Résumé : Pour que l'industrie 4.0 soit un succès, il est nécessaire de prendre en compte la composante humaine. Entre autres, les ingénieurs doivent disposer de méthodologies innovantes qui leur soient adaptées pour développer des systèmes de contrôle/commande davantage sûrs et flexibles.

Dans le cadre du projet HUMANISM « Coopération Hommes-Machines pour des systèmes de production flexibles », deux outils avancés (Model-Checking et Virtual Commissioning) sont envisagés pour la vérification et la validation des contrôleurs. Leur utilisation sont susceptibles de modifier considérablement le travail des ingénieurs de contrôle commande.

C'est le cas de la SNCF qui cherche à améliorer la sécurité et les conditions de travail des chargés d'études lors des travaux d'automatisation des EALE (Équipements d'Alimentation des Lignes Électrifiées). En partant de l'étude théorique du projet jusqu'à sa validation sur site, en passant par la mise en œuvre des programmes, du câblage des armoires, et de leur vérification sur plateforme et en usine, ces différentes tâches s'avèrent souvent être longues, complexes, répétitives et sources d'erreurs humaines. En vue d'améliorer les conditions de travail des chargés d'études de la SNCF, la thèse CIFRE de Mohamed NIANG vise à améliorer les méthodologies de vérification et de validation (V&V) des systèmes de contrôle commande (programmes automates et câblage des armoires de contrôle commande). Ce travail est basée sur l'utilisation des méthodes formelles et du Virtual Commissioning (mise en service virtuel), il se décompose en deux axes :

- la vérification hors ligne des programmes API : basée sur une approche formelle, la méthode s'appuie sur une modélisation de l'installation électrique, des programmes API et du cahier de recette afin de vérifier automatiquement que les programmes respectent les spécifications fonctionnelles du cahier des charges.
- la validation en ligne des programmes et du câblage des armoires de contrôle commande, grâce à l'utilisation du Virtual Commissioning en mode Software-In-the-Loop (pour la validation des programmes) puis en mode Hardware-In-the-Loop (pour la validation du câblage des armoires).

Session BIM

Bim, beyond the interoperability question: the collaborative issue

Lea **SATTLER** : Arts et Métiers ParisTech, LAMIH UMR CNRS 8201 (**20 minutes**)

Among different goals, BIM ultimate step is the deployment of integrated processes. Integration has recently infused the AEC industry, as evidenced by the emergence of concurrent engineering (CE) or integrated project delivery (IPD). But until now, integration via BIM has been hindered by the lack of interoperability in BIM, that can be organizational (humans) or technical (software). How are these two notions interrelated, and how the collaboration in BIM could be improved?

Contribution à la mise en œuvre du BIM en rénovation : Proposition d'un Modèle de Maturité BIM spécifique

Laurent **JOBLOT** : Arts et Métiers ParisTech, LAMIH UMR CNRS 8201 (**45 minutes**)

Nos travaux ont pour but de répondre à deux impératifs : travailler pour le secteur de la Rénovation (domaine économiquement porteur, mais peu étudié scientifiquement), et proposer

à ses acteurs des outils d'accompagnement favorisant leur transition numérique. L'état de l'art initial a démontré que pour diffuser un Système d'Information tel que le BIM, il était indispensable de s'appuyer sur des leviers contribuant à son implantation : les Facteurs Clés de Succès, les fondamentaux du management de projet, la rédaction de Conventions BIM, l'Approche Intégrée de Projet et enfin les Modèles de Maturité. Il s'avère de plus que les petites entreprises qui composent majoritairement ce secteur sont peu avancées dans cette transition numérique en raison de leurs situations économiques réduisant souvent l'horizon de projection. Enfin, elles ne sont pas toujours conscientes de la nécessité du changement, se satisfaisant généralement de la 2D et de procédés artisanaux. Leur venir en aide pour tirer parti de la transformation digitale à venir, au lieu de la subir, impose de les doter d'outils d'accompagnement spécifiques à leurs usages et pratiques. Un référentiel permettant de mesurer leur maturité et ensuite de définir de façon réaliste leurs propres objectifs de développement : « BIM Maturity Model For Renovation » ou BiM²FR a donc été conçu. Le format choisi et la simplicité de mise en œuvre permettront à ces petites entreprises de facilement caractériser leur situation et d'identifier leurs points faibles et forts. Il sera ainsi plus simple d'élaborer les grandes lignes de plans d'action individuels et appropriés à leurs activités. L'interface WEB libre créée (www.BiM2FR.eu) permettant aux entreprises d'effectuer un diagnostic de maturité BIM, apporte également par l'intermédiaire des données collectées et échangées, d'intéressantes perspectives de recherches.

Concept de matière communicante appliqué au béton connecté dans le cadre projet McBIM

Hang Wan : CRAN CNRS UMR 7039, Université de Lorraine (20 minutes)

Depuis 2009, Le CRAN travaille sur le concept de "matériaux communicants", matériaux capables de communiquer avec leur environnement, de traiter, d'échanger de l'information et de stocker des données dans leur structure interne. De plus, ils ont aussi la capacité de capter des paramètres physiques de leur environnement ou de mesurer leurs propriétés internes. Ce concept a été appliqué au domaine de la construction et a conduit à un prototype basé sur un ensemble de tags RFID enfouis dans la structure du produit béton. Cependant, les tags RFID sont limités en mémoire et doivent être lus à courte distance. Parallèlement, les données et modèles issus du BIM (Building Information Modelling) sont très souvent cloisonnées dans les phases de conception du bâtiment, ne sont ni réutilisées ni accessibles pour les acteurs en aval de la conception. La proposition du projet ANR McBIM (pour Matière Communicante au service du BIM) consiste à concevoir un « béton communicant », fait de béton équipé avec un réseau de

micro-nœuds de capteur enfoui, capable de générer et échanger des données avec des plateformes BIM.

Construire ce béton impose de pouvoir lever de nombreux obstacles scientifiques sous-jacents et pour ce qui concerne le CRAN à proposer la définition d'un système d'information spécifique au béton communicant permettant de contrôler comment les données (soit générées par les nœuds de capteurs, soit envoyées par les utilisateurs) sont gérées dans le béton communicant. Cette problématique est le sujet de la thèse de Hang WAN. Après une courte présentation du contexte, la problématique de la thèse sera détaillée et scindée en deux verrous scientifiques, pour lesquels ont été réalisées deux études bibliographiques. La présentation de ces études sera suivie de la description de l'expérimentation en cours.