



**HAL**  
open science

# Jumeau numérique collaboratif pour la planification des Ordres de Travail préventifs

Naomi Kamoise, Nathalie Julien, Clément Guérin

## ► To cite this version:

Naomi Kamoise, Nathalie Julien, Clément Guérin. Jumeau numérique collaboratif pour la planification des Ordres de Travail préventifs. Doctoriales 2023, Association Arpège, Jul 2023, Paris, France. hal-04189424

**HAL Id: hal-04189424**

**<https://hal.science/hal-04189424v1>**

Submitted on 28 Aug 2023

**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.

---

# *Doctoriales ARPEGE 2023 :*

## *Jumeau numérique collaboratif pour la planification des Ordres de Travail préventifs*

**Naomi KAMOISE**

Lab-STICC, Rue de saint-maudé, 56100 Lorient

naomi.kamoise@spie.com

**Directrice de thèse :** Nathalie JULIEN

**Co-encadrant :** Clément GUERIN

---

### **RÉSUMÉ**

Le jumeau numérique est un des piliers de l'industrie 4.0 grâce aux champs des possibilités qu'il offre aux industriels. Appliqué à la maintenance prévisionnelle, le jumeau numérique permettrait d'optimiser les prises de décision quant à la planification d'interventions de maintenance. Toutefois, l'expertise de l'agent humain reste nécessaire face à cette aptitude du jumeau numérique. A travers une approche prospective, l'objectif de cette thèse est d'identifier les besoins des agents humains en termes de coopération et de transparence informationnelle, en les amenant à penser leurs futures interactions avec le jumeau numérique. Cette démarche pourrait permettre d'optimiser l'activité de planification des ordres de travail préventifs chez un acteur majeur du domaine ferroviaire.

### **MOTS-CLÉS**

Jumeau Numérique - Maintenance Prévisionnelle – Planification – Human Autonomy Teaming - Transparence Informationnelle

---

## **1 INTRODUCTION**

Pilier de l'industrie 4.0, les nombreuses définitions du jumeau numérique varient autour d'un lien entre un objet physique et une entité virtuelle qui la représente au travers d'un flux continu de données (Silva, Azevedo et Soares, 2021). Au sein du domaine industriel, une des applications les plus répandues et les plus abouties du jumeau numérique concerne la maintenance prévisionnelle. Grâce à une représentation de l'état de l'élément physique, le jumeau numérique appliqué à la maintenance prévisionnelle permettrait d'optimiser les prises de décision quant à l'organisation, la planification et la réalisation d'interventions de maintenance. Selon Wellsandt et al. (2021), ces nouveaux systèmes de maintenance prévisionnelle intègrent difficilement les agents humains au sein du processus de prise de décision. Afin de répondre à ces exigences, la coopération humain-système se positionne comme un concept clé (Gely et al., 2021). Cette thèse CIFRE s'inscrit dans un partenariat entre le laboratoire Lab-STICC UMR 6285 et l'entreprise SPIE Industrie, un intégrateur de solutions pour la conception, la réalisation et la maintenance d'installations au service des industriels. Des retours d'expérience chez SPIE Industrie auprès des opérateurs ont montré que le déploiement des technologies 4.0 et les transformations qu'elles engendrent se heurtent à des comportements de résistance. Dans une perspective de déploiement du jumeau numérique appliqué à la maintenance prévisionnelle, l'objectif est de soutenir le Human-Autonomy-Teaming (HAT) afin de permettre une coopération optimale entre l'agent humain et l'agent autonome (i.e., jumeau numérique). Nous nous focaliserons sur un contrat avec un client du domaine ferroviaire, au sein duquel le jumeau numérique reflète des opportunités de performance, notamment pour l'amélioration de la planification des ordres de travail (OT) préventifs.

Selon la typologie proposée par Julien et Martin (2021), le jumeau numérique peut faire l'objet de différents usages tels que l'analyse, la simulation, la comparaison, etc. Afin de déployer au mieux le

jumeau numérique collaboratif appliqué à la maintenance prévisionnelle, il convient d'identifier en amont des usages répondant aux besoins et aux spécificités de SPIE Industrie et du client. Néanmoins, l'identification de futurs usages requiert une capacité à se projeter (Colin et al., 2021). Elle fait en autres appel à une habileté d'élaboration prématurée des besoins pragmatiques (atteinte d'un but) (Colin, 2021). L'objectif de cette thèse est de proposer une méthodologie permettant aux acteurs SPIE de penser au mieux leurs futures interactions avec le jumeau numérique afin d'optimiser l'activité de planification des OT préventifs. Nous nous positionnons alors sur une stratégie Needs Seeker répondant aux problématiques d'identification d'usages auprès des utilisateurs (Jaruzelski et al., 2014). Cette stratégie favorise l'innovation radicale orientée usage et se positionne comme une approche centrée utilisateur. La modalité d'intervention proposée par l'ergonomie prospective pourrait alors permettre une meilleure projection dans le futur (Brangier & Robert, 2014).

## 2 PARTIE THEORIQUE

### 2.1. Ergonomie prospective

L'ergonomie prospective complète les modalités d'intervention de l'ergonomie corrective et de conception, en ayant pour but de détecter des besoins actuels et d'anticiper des usages futurs (Robert & Brangier, 2009). Colin et al. (2021) considèrent l'ergonomie prospective comme une capacité permettant la simulation mentale et la pré-expérience d'événements futurs. Le développement de cette approche constitue un enjeu majeur face aux défis de l'innovation, du progrès social et technologique (Buisine et al., 2017). Ce sont d'ailleurs ces nouveaux défis qui ont mené l'ergonomie à se questionner sur sa capacité à caractériser le futur. Les domaines d'application de l'ergonomie prospective sont variés : gestion de l'autonomie du véhicule électrique (Nguyer & Cahour, 2014), projet d'innovation d'appareils fitness (Buisine & al., 2018), besoins liés à l'hydrogène comme source d'énergie des foyers (Colin, 2021 ; Martin & al., 2021), nouvelles fonctionnalités des bouteilles de gaz dans le domaine de la santé (Bornet et al., 2013), etc. Selon notre état de l'art, les travaux en ergonomie prospective n'ont pas permis l'identification des besoins s'inscrivant dans une démarche coopérative avec un agent autonome. Or, dans le cadre du déploiement du jumeau numérique pour la planification des OT préventifs, les futurs usages devront soutenir le HAT.

### 2.2. Human-Autonomy-Teaming

Le HAT peut se définir comme un système sociotechnique dans lequel au moins un agent humain et un agent autonome interagissent de manière interdépendante dans le temps afin d'accomplir une tâche ou un objectif commun (Cooke et al., 2020). Par conséquent, le jumeau numérique doit être en mesure de travailler avec l'agent humain afin de soutenir le *taskwork*, c'est-à-dire les tâches à réaliser pour la planification des OT préventifs. La dimension « Know-how » du modèle de Pacaux-Lemoine (2002) rend compte du *taskwork* et renvoie aux connaissances propres à chaque agent coopérant pour résoudre un problème inhérent à l'activité menée. Les recherches sur la conception du jumeau numérique mettent davantage l'accent sur le *taskwork*. Néanmoins, le *teamwork* demeure nécessaire pour une bonne coopération du HAT et représente le processus par lequel les membres d'une équipe interagissent pour atteindre les objectifs communs. Cette interdépendance caractérisée par (Hoc, 2001) est présente au sein du modèle de Pacaux-Lemoine à travers le « Know-how-to-cooperate ». Le tableau 1 reprend les dimensions « Know-how » (*taskwork*), et « Know-how-to-cooperate ».

Tableau 1 : Modèle KH-KHC (Pacaux-Lemoine, 2002)

<b>KNOW-HOW (KH) : Connaissances propres à chaque agent coopérant</b>
<b>Interne</b> : compétences de chaque agent coopérant (i.e., expertise, expérience)
<b>Externe</b> : obtenir des informations de l'environnement et agir sur le processus
<b>KNOW-HOW-TO-COOPERATE (KHC) : Savoir coopérer avec son partenaire</b>
<b>Interne</b> : construire un modèle et déduire les intentions de son partenaire, analyser les tâches et identifier l'organisation coopérative, produire un plan commun
<b>Externe</b> : comprendre et fournir des informations à son partenaire

En examinant le HAT du point de vue du *teamwork*, la transparence informationnelle de l'agent autonome constitue une caractéristique clé dans l'efficacité du HAT (O'Neil et al., 2022).

### 2.3. Transparence informationnelle

La transparence informationnelle se définit comme la capacité des agents coopérants à comprendre les intentions, les performances, les plans futurs et les processus de raisonnement de l'autre (Schaefer, Hill et Jentsch, 2019), afin de faciliter la coopération (Lyons, 2013). Selon le modèle de transparence de Lyons (2013), deux aspects sont à considérer : l'aspect Robot-to-Human, où l'agent technique communique des caractéristiques de son propre système, c'est-à-dire pourquoi et dans quel but il a été créé, sa compréhension de la tâche à accomplir, son processus de décision et sa vue du monde. Sur l'aspect Robot-Of-Human, l'agent technique communique sa compréhension des rôles et des niveaux d'autonomie des membres de l'équipe, mais également sa conscience à propos de l'état de l'agent humain. Le tableau 2 décrit ces deux aspects.

Tableau 2 : Modèle de transparence de Lyons (2013)

<b>ROBOT-TO-HUMAN</b>
<b>Intention</b> : l'agent technique fournit des informations sur sa raison d'être.
<b>Tâche</b> : l'agent technique transmet des informations sur la réalisation de ses actions.
<b>Analyse</b> : l'agent technique fournit des informations sur ses principes analytiques.
<b>Environnement</b> : l'agent technique fournit des informations sur sa compréhension des éléments environnementaux (e.g., contraintes temporelles).
<b>ROBOT-OF-HUMAN</b>
<b>Travail d'équipe</b> : l'agent technique informe l'agent humain des activités dont ils sont chacun responsable.
<b>Etat de l'humain</b> : l'agent technique est en mesure de rendre compte de l'état de l'agent humain (e.g., charge cognitive).

En considérant le modèle KH-KHC de Pacaux-Lemoine (2002) et de transparence de Lyons (2013), nous remarquons des analogies qui soutiennent à la fois le taskwork et le teamwork du HAT. Au regard de nos travaux, nous jugeons pertinent d'établir des liens entre ces deux modèles afin de penser un dialogue humain-système efficace. Le KH interne relatif aux compétences de l'agent technique peut être mis en lien avec les dimensions intention, tâche et analytique du modèle de transparence de Lyons (2013). En effet, ces dernières font références aux capacités de l'agent technique à résoudre des problèmes vis-à-vis du processus (e.g., capacité à réaliser une activité, à analyser et à fournir une décision). De la même façon, le KH externe peut-être mis en relation avec les dimensions tâche et environnement au sens où ces principes définissent la capacité de l'agent technique à obtenir des informations et à agir sur l'environnement. En termes de capacité à coopérer, le KHC interne peut faire appel aux dimensions travail d'équipe et de l'état humain du fait de la déduction des intentions et de la définition d'un plan commun. Enfin, le KHC externe peut se rapporter aux dimensions de l'état humain et analytique puisqu'il s'agit de comprendre l'agent coopérant et de lui fournir des informations. En appliquant ces analogies à l'activité de planification des OT et dans une perspective d'élaboration d'un HAT efficace, nous nous posons la question suivante : quels seront les besoins des agents humains en termes de coopération et de transparence informationnelle du jumeau numérique?

### 3 METHODOLOGIE

Afin de répondre à notre objectif, nous proposons une méthodologie en trois étapes : une analyse actuelle de l'activité de planification des OT préventifs, une analyse prospective afin d'identifier les usages futurs du jumeau numérique, ainsi que les besoins en termes de coopération et de transparence informationnelle. La dernière étape consistera à la mise en œuvre d'un prototype afin d'évaluer les usages retenus.

#### 3.1 Analyse de l'activité actuelle

Dans un premier temps, nous avons cherché à modéliser l'activité actuelle de planification des OT préventifs afin de comprendre les rôles de chaque acteur, les interactions existantes entre les agents humains, mais également avec des agents techniques (e.g., GMAO). Nous nous sommes entretenus avec un ingénieur méthode exerçant au sein de deux ateliers de maintenance ainsi que deux responsables de site. Nous avons également échangé avec trois techniciens de maintenance à travers des entretiens semi-directifs et des observations. Elaborés avec un expert-métier SPIE, les entretiens portaient sur les thématiques suivantes : interactions avec les agents techniques existants, interactions entre les agents humains, gestion des contraintes liées à l'activité de planification.

#### 3.2 Analyse de l'activité future

##### 3.2.1 Participants

Deux types de profil SPIE seront recrutés : 15 responsables de site des ateliers de maintenance situés en Ile-de-France, ainsi que deux ingénieurs méthodes chargés de piloter ces sites. Ces profils seront choisis en raison du rôle central qu'ils incarnent dans le processus de planification.

##### 3.2.2 Procédure

L'objectif est d'identifier les besoins que pourrait engendrer le déploiement du jumeau numérique collaboratif en tant que soutien aux activités de planification des OT préventifs. Nous avons choisi l'entretien d'anticipation des besoins futurs, car cette méthode nous permettra de détecter des besoins et de les faire évoluer vers une représentation mentale du futur (Martin et al., 2021 ; Colin, 2021). Ce cheminement faciliterait l'expression de nouveaux besoins. Selon les recommandations issues de la littérature scientifique, l'entretien se structurera en quatre étapes (Colin et al., 2021) :

**-Amorçage** : les participants seront amenés à parler librement des activités liées à la planification. Par exemple, les agents SPIE pourront parler de leurs rôles respectifs au sein du processus.

**-Expérience** : grâce aux cartes d'activités, il sera demandé aux participants de parler de leurs expériences positives et négatives concernant la planification (Martin et al., 2021). L'objectif sera d'enrichir la représentation des activités existantes, comme voulu par la cognition orientée future (Colin & al., 2021). Ainsi, les cartes d'activités se baseront sur la modélisation issue de nos premières observations, et plus spécifiquement, sur les activités individuelles et collectives nécessaires à la planification des OT préventifs. Ces cartes d'activités sont coconstruites avec les experts-métiers SPIE.

**-Projection** : les participants seront amenés à exprimer d'une façon générale, leur vision à long terme en ce qui concerne l'activité de planification des OT préventifs. Ensuite, il sera demandé aux participants d'apporter des détails sur cette projection. A titre d'exemple, ces détails pourront être en lien avec l'environnement de travail, les futures activités menées, les différents agents présents ainsi que la nature de leurs échanges. Cette projection permettra de poser le contexte pour l'identification des usages dans l'étape suivante.

**-Idéation** : Dans un premier temps, les participants seront amenés à exprimer des usages liés au jumeau numérique comme support de l'activité de planification. Ensuite, nous demanderons aux

participants d'exprimer leurs besoins en termes de coopération et de transparence à l'aide des analogies faites entre le modèle KH-KHC de Pacaux-Lemoine et le modèle de Lyons (2013).

### 3.3.3 Matériels

Les phases « Expérience » et « Idéation » s'appuieront sur des concepts liés à l'ergonomie prospective, au HAT et à la transparence informationnelle issus de la littérature scientifique.

**-Expérience** : les cartes d'activités correspondent à une représentation visuelle et textuelle simplifiée d'une activité (Colin, 2021). Elles contribuent à faciliter les verbalisations, notamment pendant la phase "Expérience" de l'entretien d'anticipation des besoins futurs (Martin et al., 2021 ; Colin, 2021). Dans notre étude, ces cartes d'activités représenteront les activités réalisées par les agents SPIE lors de la planification des OT préventifs. Ces cartes seront réalisées grâce à la modélisation issue de notre étude exploratoire. Ainsi, les agents SPIE pourront verbaliser leurs expériences passées en termes d'activités de planification.

**- Idéation** : nous incluons à cette phase une opérationnalisation des analogies faites entre le modèle KH et KHC de Pacaux-LeMoine (2002) et de transparence informationnelle à travers le modèle de Lyons (2013). Le matériel est en cours d'élaboration, en co-construction avec un expert-métier SPIE.

### 3.3. Prototype

Les données recueillies feront l'objet d'une retranscription puis d'une analyse afin d'identifier les usages exprimés. En accord avec les experts-métiers SPIE, les usages seront sélectionnés selon différents critères (e.g., pertinence, faisabilité). Grâce à un premier prototype du jumeau numérique, les usages seront évalués à travers des situations d'usages caractérisées. Cette phase permettra de fournir des recommandations pour la conception et le déploiement du jumeau numérique.

## 4 RESULTATS

A partir de nos premières observations sur le terrain, nous pouvons fournir une modélisation de l'activité de planification des OT préventifs. Nous distinguons premièrement des activités individuelles, telles que l'ingénieur méthode qui réalise une extraction des OT hebdomadaires à partir du planning théorique fourni par la GMAO. Ces activités individuelles représentent une phase préparatoire à la réunion de coordination. Nous pouvons considérer les échanges de ces réunions de coordination comme un deuxième type d'activité : la prise de décision collective. En effet, l'objectif de cette réunion est de vérifier si la planification théorique fournie par la GMAO est réalisable. En effet, la GMAO ne tient pas compte des contraintes réelles du terrain et du dynamisme de l'environnement. Par conséquent, les agents humains (i.e., responsable de site, ingénieur méthode, référent client) cherchent un accord commun respectant les contraintes de chacun. Pour cela, les informations partagées peuvent concerner la disponibilité d'un équipement, l'urgence de la réalisation d'un OT, etc. Lorsque les OT hebdomadaires ont été traités, le planning final est envoyé aux acteurs présents. Le responsable de site est chargé d'attribuer les OT planifiés aux techniciens de maintenance. Selon les circonstances, l'activité de planification peut être à nouveau mise en œuvre afin de répondre aux contraintes quotidiennes. Ces activités relèvent de la maintenance préventive systématique. Tout en soutenant le HAT, l'enjeu du jumeau numérique sera d'optimiser l'activité de planification actuelle afin de tendre vers une maintenance prévisionnelle.

## 5 BIBLIOGRAPHIE

- Alves Ribeiro Rosa, J.G., Armellini, F., Robert, JM. (2021). Capturing Future Trends in Customer Needs for the Design of Next-Generation Gas Station Services. Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021).
- Bornet, C., Brangier, É., Deck, P., Barcenilla, J., & Bastien, C. (2013). Enrichir la créativité des ingénieurs avec l'analyse de l'activité et les personas : Le cas d'un projet d'ergonomie prospective.
- Brangier, É., & Robert, J.-M. (2014). L'ergonomie prospective : Fondements et enjeux: Le travail humain, Vol. 77(1), 1-20.
- Buisine, S., Boisadan, A., & Richir, S. (2018). L'innovation radicale par la méthode de l'utilisateur extraordinaire. *Psychologie du Travail et des Organisations*, 24(4), 374-386.
- Cahour, B., Salembier, P., Brassac, C., Bouraoui, J. L., Pachoud, B., Vermersch, P., & Zouinar, M. (2005). Methodologies for evaluating the affective experience of a mediated interaction.
- Colin, C., Martin, A., Bonneviot, F., & Brangier, E. (2022). Unravelling future thinking : A valuable concept for prospective ergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 23(3), 347-373.
- Cooke, N., Demir, M., & Huang, L. (2020). A Framework for Human-Autonomy Team Research. *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. Cognition and Design*(Vol. 12187, p. 134-146). Springer International Publishing.
- Gely, C., Trentesaux, D., Sénéchal, O., & Pacaux-Lemoine, M.P. (2020). Human-Machine Cooperation with Autonomous CPS in the context of Industry 4.0: a literature review.. SOHOMA 2020 : Service Oriented, Holonic and Multi-agent Manufacturing Systems for Industry of the Future, Oct 2020, Paris, France, p.327-342.
- Hoc, J. M. (2001). Towards a cognitive approach to human-machine cooperation in dynamic situations. *International journal of human-computer studies*, 54(4), 509-540.
- Jaruzelski, B., Staack, V., & Goehle, B. (2014). Proven paths to innovation success. *Strategy Business*, 77, 2-16.
- Julien, N., & Martin, E. (2021). Typology of manufacturing digital twins: a firststep towards a deployment methodology. [Conférence]. European Conference on Safety and Reliability.
- Lyons, J. B. (2013). Being Transparent about Transparency.
- Lyons, J. B., Sycara, K., Lewis, M., & Capiola, A. (2021). Human-Autonomy Teaming : Definitions Debates, and Directions. *Frontiers in Psychology*, 12, 589585.
- Martin, A., Agnoletti, M.-F., & Brangier, É. (2021). Ordinary users, precursory users and experts in the anticipation of future needs : Evaluation of their contribution in the elaboration of new needs in energy for housing. *Applied Ergonomics*, 94, 103394.
- Millot, P., & Pacaux-Lemoine, M.-P. (2013). A Common Work Space for a mutual enrichment of Human machine Cooperation and Team-Situation Awareness. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(15), 387-394.
- Nguyen, C., & Cahour, B. (2014). Véhicule électrique et gestion de son autonomie : Une approche prospective ancrée dans l'expérience vécue: Le travail humain, Vol. 77(1), 63-89.
- O'Neill, T., McNeese, N., Barron, A., & Schelble, B. (2022). Human-Autonomy Teaming : A Review and Analysis of the Empirical Literature. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 64(5), 904-938.
- Pacaux-Lemoine, M.-P. (2002). Human-Machine Cooperation: Adaptability of shared functions between Humans and Machines—Design and evaluation aspects.
- Schaefer, K. E., Hill, S. G., & Jentsch, F. G. (2019). Trust in Human-Autonomy Teaming : A Review of Trust Research from the US Army Research Laboratory Robotics Collaborative Technology Alliance. [Conférence]. International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics
- Silva, H. D., Azevedo, M., & Soares, A. L. (2021). A Vision for a Platform-based Digital-Twin Ecosystem. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 761-766.
- Wellsandt, S., Klein, K., Hribernik, K., Lewandowski, M., Bousdekis, A., Mentzas, G., & Thoben, K.-D. (2021). Towards Using Digital Intelligent Assistants to Put Humans in the Loop of Predictive Maintenance Systems. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 49-54