

# RÉSUMÉS - SESSION 1 "L'HOMME DANS L'USINE DU FUTUR"

## **Human-robot collaboration between laboratory and shop floor: Lessons learned from the FELICE project**

**Gerhard RINKENAUER, Melanie KARTHAUS, Yannick METZLER & Felix DREGER (IfADo)**

Future human-robot collaboration (HRC) will require close physical and social interaction with robots, alongside higher-level digital coordination of shared workflows. The FELICE project aimed to support workers on an assembly line with a single-team cobot and to coordinate workflows with an AI-based orchestrator. To better understand the behaviour and experiences of workers in close HRCs, laboratory tests of close interaction with different robots were conducted prior to the project. Concepts from social and motivational psychology provided the theoretical framework for these investigations. At the project's outset, the workers tasks were analysed based on existing workflows. These hierarchical task analyses (HTAs) were then combined with the results of the laboratory studies and the findings of focus groups with experts and users. Over the course of the project, the HTAs were refined and used to design the cognitive ergonomics of the HRC, plan the workflows of the human-robot team, develop hazard analyses to foster safety concepts, and derive training protocols. Digital management of work emerges as a particular challenge for the future HRC, as it carries the risk of making work more performance-oriented than human-oriented, thereby increasing the risk of psychological hazards for workers.

## **Identification automatique de tâches à partir d'une vidéo en vue subjective : validation et exemple d'application en milieu industriel**

**Guillaume HACQUES (LAPSCO)**

Les études portant sur le comportement humain menées en contexte écologique impliquent fréquemment l'annotation des tâches effectuées par les sujets dans des vidéos. Cependant, le temps requis par l'annotation (manuelle) de ces vidéos reste un frein à ces études. Une solution a été proposée dans le cadre du chantier « l'Homme connecté ». Celle-ci s'appuie sur la reconnaissance d'objets dans le champ de vision d'une caméra filmant avec une vue subjective (du point de vue de l'acteur) pour identifier automatiquement les tâches réalisées. Cette présentation exposera (i) les résultats préliminaires liés à l'évaluation de la validité de cette méthode d'annotation automatisée et (ii) un exemple d'application de cette solution sur des données oculométriques recueillies dans un atelier d'usine. Cette application avait pour objectif d'évaluer la charge cognitive d'opérateurs machine sur différentes tâches liées au poste de coupeur.

## **Du facteur Humain à l'acteur en conception : Interroger la digitalisation au sein de l'industrie 4.0 par l'analyse des usages et de la conduite de projet**

**Mirtha MESTANZA, Fabien COUTAREL, Géraldine RIX (ACTé) & Camille ECHEVERRIA PERREIRA (MICHELIN)**

L'approche par les facteurs humains cherche à développer une interaction fluide entre l'Homme et la technologie. Une autre approche de la conception existe, celle des « acteurs humains ». Dans ce cadre, la mise en place de la digitalisation est l'opportunité de créer entre des acteurs (concepteurs et utilisateurs finaux) des nouvelles relations par la coopération que la conduite de projet permet. Nous avons exploré ces deux perspectives lors de l'étude d'un projet de digitalisation qui vise à numériser le système de Management Quotidienne de la Performance (MQP) chez Michelin. La recherche a eu lieu sur deux sites distincts en France et en Italie. L'analyse des usages et de la conduite de projet a été le cœur de l'étude. Nous mettons en évidence l'efficacité partielle du projet et en proposons une analyse.

Nos résultats suggèrent que l'implication active des acteurs peut contribuer à l'utilisation ultérieure de la technologie, puisque les écarts d'interprétation entre les concepteurs et les utilisateurs finaux sont moins nombreux en Italie. Nous considérons que cette participation au projet a contribué à créer certaines conditions propices à l'émergence d'un monde commun, relevant d'une approche « acteurs humains ». Toutefois, il ne faut pas négliger la pertinence de l'approche des facteurs humains lors de la digitalisation du MQP ?

# RÉSUMÉS - SESSION MT180

## **Designing Layout for the Ultra Flexible Factory**

**Ann Tran (LIMOS/Michelin)**

In the Ultra Flexible Factory, workstations are arranged in a grid layout. This work aims to assign machines to workstations, reducing AGV travel distance as they move between machines based on a given production plan.

## **Synchronisation de véhicules autonomes et reconfigurables dans les Flexible Manufacturing System**

**Amine Oussama (LIMOS)**

Le projet se situe au carrefour des problèmes d'ordonnancement et de transport où les opérations de transport peuvent nécessiter une synchronisation entre plusieurs véhicules qui doivent coopérer pour réaliser l'opération. L'objectif est de concevoir des algorithmes efficaces afin d'obtenir une synchronisation entre les opérations de transport et les opérations d'assemblage.

## **Le calcul parallèle au service de la robotique**

**Louis Guigon (Institut Pascal)**

Le projet a pour objectif de démontrer et développer le potentiel de la technologie émergente de calcul parallèle pour la robotique. L'étude est menée sur des processeurs graphiques, connus sous le nom de Graphic Processing Units (GPU) pour accélérer les simulations de mécanismes complexes et l'exécution en parallèle des tâches de commande au sein d'une cellule robotisée.

## **Design of a variable stiffness overtube with self-sensing for robotic colonoscopy**

**Alice Nyaga (Institut Pascal)**

Therapeutic flexible endoscopy through the natural route (colonoscopy) encounters the challenge of loop formation during the procedure, which poses endoscope positioning difficulties for tumor resection and other treatment procedures. To address this challenge, we propose the development of a variable stiffness overtube derived from the principles of soft robotics, to enhance the control and maneuverability of colonoscopes during procedures. Through the integration of smart materials and a self-sensing mechanism to get proprioceptive information for its control, the proposed overtube aims to overcome the limitations of existing devices by improving procedural outcomes and patient comfort.

## **Routing with uncertainty: the Canadian Traveller Problem on outerplanar graphs**

**Vsevolod Chernyshev (LIMOS)**

We studied a problem of navigation on graphs with uncertainty, namely the Canadian Traveller Problem. It models vehicle or robot routing in environments with many obstacles, such as in warehouses or for humanitarian missions. Consider a person who starts its journey on some vertex and its objective is to reach another fixed vertex with the minimum distance. While he is on the way, he could suddenly face a blockage on some edge. Our goal was to develop competitive strategies for the Canadian Traveller Problem. We focused on the case of outerplanar graphs and we can state now that this family of graphs has special properties for this problem compared to its natural sub and super-classes. We proposed an optimal strategy for unit-weighted outerplanar graphs and a lower bound for the general weighted case.

# RÉSUMÉS - SESSION 2 "QUESTIONS D'ORGANISATION DANS L'USINE DU FUTUR"

## **Industry X.0. Data-Driven Production, Innovation, and Societal Transition** **Pr. Farouk YALAOUI, D. Habil, Ph.D. (LIST3N)**

In the industrial context characterized by the advent of Industry 4.0, a keynote presentation in France's Grand Est region unveiled the significant role of data in shaping current production and innovation processes, while addressing the challenges posed by the digital era of Industry X.0. This analysis highlighted the increasing importance of flexible production systems, stemming from the integration of Industry 4.0 principles, and delved into real-time decision-making techniques through offline, online, and semi-online scheduling approaches.

A critical point discussed was the role of the Network of Supply Systems (NSS) in developing digital and sustainable business practices, emphasizing the alignment of products and strategies with user demands. The interplay between Data, Information, and Knowledge was underscored, demonstrating a shift from the traditional 'Big Data' approach towards a 'Smart Data' perspective to enhance operational efficiency. In this vein, the presentation explored the value and impact of different types of information, particularly in task scheduling, and touched upon quality control in Industry X.0, highlighting advanced systems integrated with cyber-physical production systems (CPPS). The innovative "Meta" quality control concept, utilizing digital twin models, was introduced and exemplified by a case study.

In conclusion, the presentation stressed the critical importance of innovation in Industry X.0, advocating for new ideas and cross-disciplinary collaboration. It also called for a reevaluation of educational approaches in line with Society 5.0 and Industry 5.0 principles, envisioning the future of Industry X.0 as a synergy between intelligent technology use and human skills, meeting evolving societal needs.

## **Heuristics for the Tire Packing Problem** **Ann THI QUYNH TRANG VO & Hervé KERIVIN (LIMOS)**

Given a container and a list of tires, we study the problem of packing the tires into the container to minimize the used space. Compared to traditional packing problems, the principal challenge of this problem is to permit the overlapping between objects. Indeed in practice, tires are often packed in chains where a tire may intersect another tire within the latter's hole. This makes formulating the problem mathematically difficult. To the best of our knowledge, no existing work addresses the packing of objects that can overlap in this manner.

In this work, we propose two main approaches to tackle the Tire Packing problem. The first is a layer-by-layer constructive heuristic that mimics the packing methods used by human experts. The positions of tires at each layer are computed by quadratic programming. The second is a reinforcement-learning-based approach that formulates tire packing as a Markov Decision Process with uncertainty, where sequential decisions determine the result. A deep reinforcement learning agent is trained to learn an efficient sequential packing policy.

## **Résolution des problèmes de gestion de stock et de tournées de véhicules** **Diego PERDIGAO MARTINO (LIMOS)**

Inventory Routing Problem (IRP) appartient à la catégorie des problèmes de logistique et transport. Son objectif consiste à définir les routes des véhicules et les quantités à livrer aux clients dans un horizon de temps fini en évitant les ruptures de stock. Ma présentation porte sur la résolution de l'IRP en utilisant une approche de type métaheuristique basée sur un algorithme de découpage (split) dont le but est de fournir des solutions réalisables en traitant simultanément les problèmes de transport et de gestion de stock associés.

Dans un premier temps, j'introduirai le problème en montrant l'intérêt de le résoudre de manière efficace en tenant compte les contraintes imposées ainsi que les données de la littérature permettant de les explorer. Ensuite, comment les approches exactes et approchées peuvent être appliquées et quels sont les inconvénients et avantages de chacune en termes de temps de décision et de qualité de la solution. Dans un deuxième temps, une variation du problème de base explorée par nous permettant d'ajouter des caractéristiques réelles d'une chaîne logistique sera également présentée ainsi que les méthodes utilisées pour la résoudre. Ici, l'importance de la méthode approchée sera mise en évidence pour faire face à ces nouvelles contraintes.

# RÉSUMÉS - SESSION 3 "IA ET ROBOTIQUE DANS L'USINE DU FUTUR"

## **Apprentissage continu de réseaux de neurones : Introduction Mohamed Abbas KONATE (LMBP - MICHELIN)**

Les réseaux de neurones souffrent de l'oubli catastrophique lorsqu'ils sont entraînés de manière incrémentale sans accès aux données d'apprentissage précédente. Dans le cadre de ce travail, nous explorons l'ensemble des différentes techniques et méthodes permettant de combattre ce phénomène, ainsi que leur performance dans le but de les utiliser dans un contexte industriel. Nous commencerons par définir formellement ce qu'est l'apprentissage continu pour ensuite aborder ses enjeux et montrer comment des biais existent dans la manière d'estimer la performance des méthodes actuelles. Enfin nous exposerons notre métrique plus restrictive qui corrigent les défauts des méthodes actuelles.

## **Apprentissage actif de détection de défauts visuels en contexte industriel Julien HAUTOT (Institut Pascal)**

Les très bonnes performances des réseaux convolutionnels favorisent leur adoption dans le monde industriel. Un cas d'utilisation fréquemment rencontré est celui de la détection visuelle de défauts. Classiquement, une approche supervisée est choisie. Ainsi, une base d'apprentissage est constituée pour entraîner un réseau qui est ensuite déployé sur un site de production industrielle. Une fois le réseau déployé, différentes questions se posent au sujet du suivi et de l'évolution de ce réseau : comment contrôler les performances du réseau sur l'ensemble des nouvelles données rencontrées ? Comment sélectionner les données les plus pertinentes pour améliorer le réseau courant ? comment solliciter les experts métier de façon optimale ? Comment s'assurer que les nouvelles données d'apprentissage ne vont pas pénaliser les performances sur les données passées ? L'apprentissage actif peut apporter des premières réponses à l'ensemble de ces questions. Le projet consiste à analyser le domaine de l'apprentissage actif pour identifier les méthodes les plus pertinentes à exploiter dans un contexte industriel. À la suite d'un état de l'art du domaine, quelques méthodes seront sélectionnées et évaluées sur des jeux de données captées en milieu industriel. Les avantages et limites des méthodes sélectionnées seront identifiées. Puis, des nouvelles méthodes seront proposées pour répondre aux points bloquants identifiés. »

## **Planification de trajectoire en milieu encombré pour chariot à fourche autonome à deux trains directeurs Julien PASCAL (Institut Pascal)**

Les travaux présentés explorent des méthodes de planification de trajectoire, dans des environnements encombrés, pour des chariots à fourche autonomes équipés de deux trains directeurs. En particulier, on se concentre sur l'obtention de chemins tenant compte des contraintes cinématiques du robot pour garantir un chemin réalisable dès la phase de planification, sans recourir à d'autres méthodes pour lisser ou corriger la trajectoire.

En s'appuyant sur la technique du Fast Marching présentée par Sethian, et les travaux de Mirebeau, la solution développée calcule rapidement et de manière déterministe des chemins optimaux tout en tenant compte des contraintes de courbure limites. De plus, un système de machine d'état innovant permet d'influer sur le comportement du robot le long de ces chemins pour l'orienter vers des stratégies de navigation qui seraient préférables compte tenu des spécificités de l'application industrielle considérée.

Par ailleurs, en s'inspirant du travail de Garrido et al., une méthode de prise en compte des obstacles de l'environnement dans le calcul de trajectoire est intégrée. Cette solution est paramétrable et permet d'indiquer si on accepte un passage au plus près des obstacles ou au contraire s'il faut s'en écarter le plus possible.

En combinant ces approches, la sécurité et l'efficacité des chariots autonomes à fourche sont améliorées pour divers domaines d'application, notamment que la logistique et la robotique industrielle.