



**HAL**  
open science

## Ordonnancement d'atelier de production flexible sous incertitude du comportement humain

Nourddine Bouaziz, Belgacem Bettayeb, Adnan Yassine, M'Hammed Sahnoun

### ► To cite this version:

Nourddine Bouaziz, Belgacem Bettayeb, Adnan Yassine, M'Hammed Sahnoun. Ordonnancement d'atelier de production flexible sous incertitude du comportement humain. Le congrès annuel de la SAGIP est une manifestation, May 2024, Villeurbanne (Lyon), France. hal-04627782

**HAL Id: hal-04627782**

**<https://hal.science/hal-04627782v1>**

Submitted on 27 Jun 2024

**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.



# Ordonnancement d'atelier de production flexible sous incertitude du comportement humain

Nourddine Bouaziz<sup>1</sup>, Belgacem Bettayeb<sup>1</sup>, M'hammed Sahnoun<sup>1</sup>, Adnan Yassine<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CESI LINEACT, France

`nbouaziz@cesi.fr`, `bbettayeb@cesi.fr`, `msahnoun@cesi.fr`

<sup>2</sup> LAMH, Université Le Havre Normandy, France

`adnan.yassine@univ-lehavre.fr`

**Mots-clés :** *Comportement humain, Ordonnancement, Optimisation, Simulation.*

## 1 Introduction

Les systèmes de production centrés sur l'humain suscitent un intérêt croissant chez les industriels et les chercheurs, notamment avec l'avènement du paradigme de l'Industrie 5.0 [2, 3]. La plupart des recherches sur l'ordonnancement de la production ont longtemps simplifié, voire négligé, les rôles spécifiques et les comportements imprévisibles des travailleurs humains dans un système de production. En effet, les opérateurs humains ont été souvent considérés comme des machines aux comportements déterministes et stables. Ce travail étudie l'impact du comportement opérationnel humain sur la performance d'un système de production et propose un modèle d'optimisation pour l'affectation des profils de travailleurs sur les postes de travail. Nous avons modélisé un profil de comportement comme étant une chaîne de Markov représentant les états productif et non productif d'un travailleur. Ce modèle est inspiré des travaux de Sanchez *et al.* [4] qui ont utilisé à modèle Markovien pour la modélisation du comportement humain dans l'habitat. D'autres modèles basés sur les processus de Markov cachés ont été proposés pour étudier le comportement des conducteurs automobiles [5]. Nous avons développé un processus de simulation basé sur le paradigme des systèmes multiagents (MAS) pour tester l'efficacité du modèle proposé et mesurer l'impact du comportement des travailleurs et de leur affectation à différents postes de travail sur la productivité de l'atelier. Un modèle de programmation non linéaire est également proposé pour déterminer l'affectation optimale des travailleurs sur les machines tout en maximisant le débit d'un système de production en atelier à cheminement unique avec double ressources (machine et opérateur) pour un mix de production donné. Les résultats obtenus soulignent l'impact significatif du comportement des opérateurs humains sur la performance d'un système de production. Les conclusions démontrent l'importance d'intégrer des modèles de comportement humain dans le processus décisionnel d'affectation des travailleurs aux postes de travail en fonction de leurs profils opérationnels.

## 2 Approche proposée

L'objectif est d'améliorer la production et la productivité en prenant en compte les changements de comportement humain dans l'environnement de travail. Pour cela, les étapes clés de cette approche sont les suivantes : (1) Modélisation du comportement humain, (2) Développement d'un simulateur d'atelier de production prenant en compte les changements de comportement humain, (3) Développement d'un programme de collecte de données de l'étude de cas pour compléter le simulateur, (4) Anticiper la situation de l'environnement de travail en anticipant les changements dans le comportement humain par simulation, (5) Proposer des moyens et des mécanismes à long terme pour améliorer la productivité à partir d'un environnement de travail prédictible.

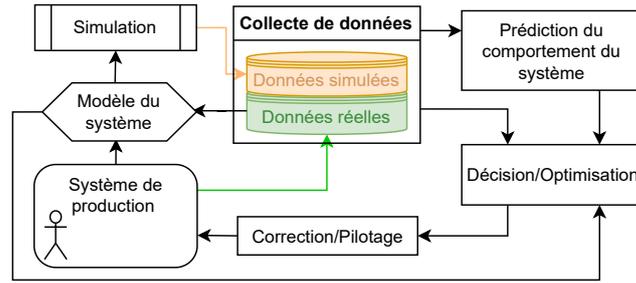


FIG. 1 – Approche pour l'intégration du comportement humain dans le pilotage de production

### 2.1 Modélisation de comportement humain

Nous proposons de modéliser le comportement des travailleurs en utilisant le formalisme de processus de Markov avec deux types d'état : productif et non-productif. Les probabilités de transition entre chaque poste de travail et les zones non productives sont définies par la matrice de transition  $P^k$  relative au k-ième profil générique de comportement des travailleurs.

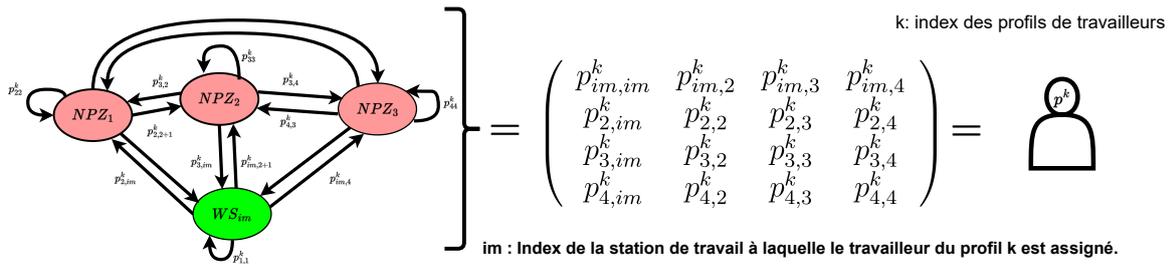


FIG. 2 – Modélisation du profil de ponctualité comme un processus de Markov

### 2.2 Méthode de résolution

Nous avons développé un simulateur multi-agents en utilisant le logiciel NetLogo 6.2.1. Nous avons simulé un système de production de type flow-shop dans lequel nous avons identifié six zones productives et trois zones non productives [1]. Pour optimiser l'affectation et l'ordonnement, nous avons développé un modèle mathématique pour un système de production en flowshop avec plusieurs types de produits afin d'attribuer des profils de travailleurs aux machines. L'objectif est de maximiser la productivité tout en respectant les contraintes liées au modèle de comportement humain. Pour résoudre ce problème, nous avons utilisé le solveur Gurobi et un solveur non linéaire (SCIP) avec Julia.

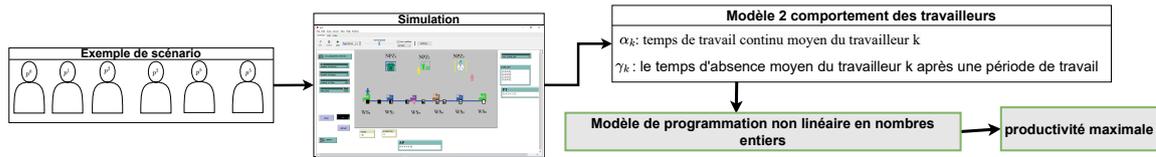


FIG. 3 – Résumé

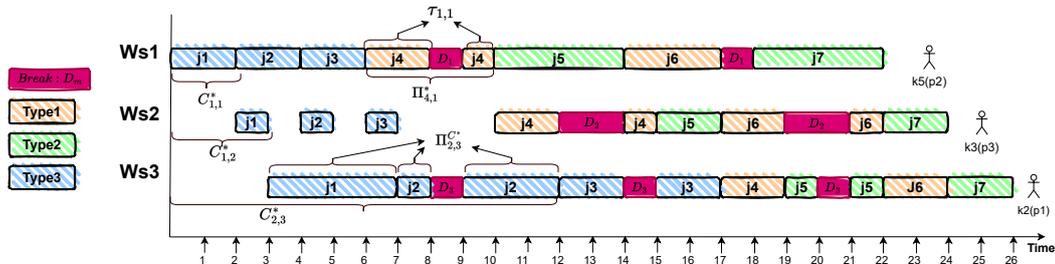


FIG. 4 – Exemple de solution optimale obtenue avec notre modèle

### 3 Conclusions et perspectives

L'impact du comportement humain sur la performance de production est étudié à travers une approche de modélisation, de simulation, et d'optimisation. Le modèle stochastique proposé pour la ponctualité des travailleurs est intégré dans un système de production de type flowshop à deux ressources. Un modèle d'optimisation non linéaire est ensuite développé pour optimiser l'affectation des travailleurs, l'ordonnancement des tâches et la combinaison des types de produits afin de maximiser le nombre de produits fabriqués sur un horizon donné. Les résultats démontrent l'influence significative du comportement humain sur la productivité, surtout avec l'augmentation du nombre de produits et de travailleurs. La ponctualité s'avère être un indicateur précieux et mesurable du comportement humain sous-jacent. En effet, elle englobe une multitude de facteurs cachés tels que la fatigue, l'expérience, l'âge, la motivation, le bien-être, les compétences et la préférence pour le poste de travail.

Dans la prochaine étape, nous prévoyons d'améliorer nos modèles de comportement humain en incorporant des facteurs tels que l'expérience, les compétences et la personnalité pour améliorer la précision du modèle d'optimisation proposé. De plus, il sera utile de développer des méthodes approchées (par exemple, des méta-heuristiques) pour résoudre le modèle d'optimisation proposé afin de pouvoir traiter des cas plus réalistes en termes de taille d'instance et de diversité de profils. Une implémentation réelle sera effectuée pour valider le simulateur.

### Références

- [1] Bouaziz, N., et al. (2022). "Modeling and simulation of human behavior impact on production throughput", in *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55, 1740-1745.
- [2] Bailly, A., et al, (2020). "Human's new roles to ensure resilience of industrial cyber-physical systems," in 2020 *IEEE ICPS2020*, 453–458.
- [3] Battini, D., et al. (2022). "Towards industry 5.0 : A multi-objective job rotation model for an inclusive workforce," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 250, 108619.
- [4] G. Veralia, L. Ola Marius, O. Nils-Olav. (2020). "Human behaviour modelling for welfare technology using hidden Markov models," *Pattern Recognition Letters*, vol. 137, 71-79.
- [5] Gadepally, V., Krishnamurthy, A., and Ozguner, U. (2013). "A framework for estimating driver decisions near intersections" *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 15(2), 637-646.