

## 6G-IFAD

**Titre :** 6G et l'Industrie du Futur : IA Distribuée pour la transition numérique et industrielle

**Mots clés :** 6G, Industrie du Futur, Systèmes Multi-agents, Théorie de Jeux, Apprentissage Machine, Apprentissage Profond.

### Contexte

Les données changent notre monde. Bien que les données aident différentes industries à atteindre de nouveaux marchés, à mieux servir les clients existants, à rationaliser les opérations grâce à l'optimisation et à monétiser les données brutes / analysées grâce à une prise de décision rapide, la croissance explosive des données soulève des défis sans précédent. Selon [1], la conséquence de la dépendance aux données sera une expansion sans fin de la taille de la sphère de données mondiale. Cette sphère de données est la somme de toutes les données échangées, qu'elles soient créées, capturées ou répliquées. Les estimations actuelles sont d'une multiplication du trafic global de données mobiles par plus de 10 fois entre 2015 et 2020. International Data Corporation (IDC) prévoit une croissance exponentielle de la sphère de données mondiale d'ici 2025.

Le développement de l'utilisation d'outils numériques dans l'ensemble des usages sociétaux conduit aujourd'hui à un besoin grandissant de volumes d'échange de données mobiles. Actuellement 30 milliards d'appareils connectés à l'Internet des objets (IoT) sont impliqués. Ce dernier nombre devrait encore augmenter à 80 milliards d'objets sur un total de 150 milliards de systèmes connectés, comme prévu pour l'année 2025 [1].

De multiples cas d'utilisation, avec des exigences hétérogènes en termes de débit, de mobilité, de fiabilité, de latence, d'efficacité énergétique, de densité de trafic et de connexion, stimulent l'utilisation de ces appareils. Les systèmes d'information et de communication doivent fournir les services requis à ces appareils avec agilité, car leurs exigences de performance ne cessent d'évoluer. Pour faire face au haut débit mobile amélioré, aux communications massives et critiques pour l'Internet des objets, la cinquième génération (5G) des réseaux mobiles est actuellement déployée.

Pour que les dépenses d'investissement et d'exploitation restent abordables, les opérateurs de réseaux mobiles devront envisager la modernisation de leur infrastructure réseau et de ses systèmes d'exploitation.

Des applications complexes et critiques dans différents domaines tels que les transports publics, la mobilité, la finance, la santé, les médias, la sécurité publique, l'énergie mais aussi l'industrie, induisent la nécessité d'un niveau accru en termes de performance réseau. La 6G offre alors de belles promesses d'avenir afin de soutenir le développement de l'exploitation intelligente des données: un débit 100 fois plus élevé que celui de la cinquième génération, mais pas seulement. Elle permettra à des agents intelligents résolvant des défis complexes à la volée et négociant des solutions à des problèmes complexes de collaborer extrêmement vite et à grande échelle. Cela induira la génération en temps réel et le traitement collaboratif de grandes quantités de données. [2]

### Problématique

Une des applications intéressantes, en lien avec le développement de l'Industrie du Futur, est l'optimisation des opérations de production et de maintenance, c'est-à-dire la capacité de prévoir et de réagir aux événements à mesure qu'ils surviennent ; à une échelle qui était inimaginable jusqu'à présent. L'objectif est de maximiser la qualité et les performances du processus tout en minimisant ses coûts globaux. L'optimisation et le contrôle automatiques dans

un système d'ingénierie sont associés à une acquisition des données en temps quasi réel et à une prise de décision optimale. Les agents intelligents sont clairement destinés à jouer un rôle important dans notre avenir. [2]

### **Les systèmes multi-agents et les réseaux complexes**

Les systèmes multi-agents (SMA) et les réseaux complexes sont utilisés pour résoudre un large éventail de problèmes de contrôle et d'optimisation survenant dans les processus de fabrication et la gestion des infrastructures critiques. [19]

En effet, le contrôle des processus de fabrication est un flux de travail difficile qui a attiré l'attention des recherches menées à la fois par les SMA et les réseaux complexes. Les processus de production intègrent l'hétérogénéité des fonctions, des biens, des flux de travail, des commandes et des ressources qui sont généralement limitées et nécessitent une utilisation efficace tout en garantissant la qualité des produits finis. Plusieurs solutions ont été proposées pour gérer et contrôler la production de marchandises dans les ateliers [11] [12].

Les principales exigences de contrôle couvrent la planification, le traitement simultané, l'assurance qualité, la personnalisation en temps réel et l'entretien et la maintenance adaptés au contexte. Ces exigences ne peuvent être satisfaites que par des usines flexibles et agiles capables de se reconfigurer et de s'adapter aux changements, même à des stades avancés du processus de fabrication [19]. La chaîne d'approvisionnement et les processus de fabrication ont une voie de recherche appropriée dans un cadre de la Science des réseaux (Network Science) [13]. À cette fin, les modèles de chaîne simplistes peuvent être abordés par des systèmes complexes permettant, par exemple, une interprétation plus approfondie de la relation entre les différents acteurs de l'offre [14]. Les réseaux complexes permettent donc d'extraire des informations utiles telles que les voies non linéaires entre les entreprises, les emplacements géographiques et les communautés des secteurs industriels, et les entreprises de pôles de connectivité [19].

D'un autre côté, au cours des deux dernières décennies, les approches distribuées ont attiré l'attention, devenant une alternative solide aux architectures monolithiques [15]. Ensemble, les systèmes de fabrication holonique (Holonc Manufacturing System : HMS) et les systèmes multi-agents aident à surmonter les limites des approches centralisées telles que le manque de flexibilité, d'agilité, de dynamique et de fonctions de reconfiguration [16]. Dans HMS, l'ordonnancement est destiné à être réalisé à partir de l'interaction coopérative des holons tout en garantissant que les préoccupations globales de l'usine sont abordées, parfois, avec un certain degré de coordination centrale [17]. La notion d'agent a été utilisée à la fois comme une abstraction de domaine de solution et comme logiciel correspondant. Lorsqu'ils sont utilisés comme blocs de construction de logiciels, les agents complètent des concepts d'ingénierie plus larges tels que les holons et les produits intelligents [18]. La combinaison de réseaux complexes et de SMA fournit un cadre intégré pour l'optimisation et le contrôle des systèmes [19].

### **Objectif**

Le but est alors de repenser et d'optimiser l'industrie du futur par l'automatisation et la digitalisation des moyens de production, par la construction d'un écosystème fiable, tout en considérant les enjeux environnementaux et de qualité de vie au travail [3]. Le but de cette thèse est de répondre aux enjeux des industries, en se basant sur l'utilisation d'un système multi-agents et d'autres outils de l'IA, qui sont entre autres :

- La planification, le traitement simultané,
- La supervision de l'outil de production
- La gestion des opérations en temps réel
- L'entretien et la maintenance prédictive
- L'optimisation de la disponibilité de l'outil de production

## **Méthodologie et Planning prévisionnel**

Afin de réaliser les objectifs de cette thèse, une étude bibliographique des travaux existants dans la littérature traitant de la 6G, des réseaux complexes, des SMA, de l'optimisation et du contrôle des systèmes est nécessaire. Suite à cette étude, il sera possible de bien définir la fonction objectif du système et la modéliser théoriquement. Dans cette thèse, nous essayons d'apporter une solution originale à ce problème en utilisant les outils de l'intelligence artificielle et plus particulièrement les systèmes multi-agents, la théorie de jeux et l'apprentissage machine. Les travaux de recherche devront conduire à des publications dans des conférences et revues internationales reconnues par la communauté scientifique en réseaux.

Le travail qui sera réalisé dans le cadre de cette thèse sera organisé comme suit:

**Tâche 1.** Etude bibliographique des travaux existants dans la littérature traitant de la 6G, des réseaux complexes, des SMA, de l'optimisation et du contrôle des systèmes (01/10/2021 – 31/03/2022).

- 1.1 Etat de l'art sur la 6G et l'Industrie du Futur
- 1.2 Etat de l'art sur les SMA et les réseaux complexes
- 1.3 Etat de l'art sur les outils d'IA
- 1.4 Etat de l'art sur l'optimisation et le contrôle des systèmes.

**Tâche 2.** Proposition d'une architecture à base de SMA et des réseaux complexes pour l'optimisation et le contrôle des systèmes dans le cadre de l'Industrie du futur (01/02/2022 – 30/09/2022).

- 2.1 Proposition d'une architecture SMA pour l'optimisation et le contrôle des systèmes
- 2.2 Modélisation du système pour évaluer les performances dans un contexte donné
- 2.3 Définition de la fonction objectif et mise en équation du problème

**Tâche 3.** Proposition d'algorithmes (01/05/2022 – 31/05/2023)

- 3.1 Proposition d'algorithmes pour résoudre la problématique posée
  - 3.1.1 Utilisation de Matlab/Python
- 3.2 Distribution des algorithmes et automatisation
- 3.3 Evaluation des performances

**Tâche 4.** Validation de ces propositions par simulation (01/02/2023 – 29/02/2024).

- 4.1 Déploiement des solutions proposées sur simulateur
- 4.2 Evaluation des performances

**Tâche 5.** Rédaction du manuscrit de thèse (01/03/2024 – 30/09/2024).

## **Références :**

- [1] David Reinsel, John Gantz and John Rydning. The Digitization of the World From Edge to Core, November 2018.
- [2] Ready for 6G? How AI will shape the network of the future by Emerging Technology from the arXivarchive page April 19, 2019.

- [3] La 5G & l'Industrie du Futur : Des performances nouvelles pour de nouveaux usages. Industrie-dufutur.org, Septembre 2020.
- [4] Nazih Salhab, Rana Rahim, Rami Langar. "Optimization of Virtualization Cost, Processing Power and Network Load of 5G Software-Defined Data Centers". IEEE Transactions on Network and Service Management (2020).
- [5] Nazih Salhab, Rami Langar, Rana Rahim, "5G network slices resource orchestration using Machine Learning techniques", Computer Networks, Volume 188, 2021, 107829, ISSN 1389-1286.
- [6] Salhab N., Rahim R., Langar R. and Boutaba R. "Offloading network data analytics function to the cloud with minimum cost and maximum utilization". In 2020 IEEE International Conference on Communications (ICC), pages 1-6, Jun 2020.
- [7] Salhab N., Rahim R., Langar R. and Boutaba R. "Using deep neural networks to forecast power headroom for 5g without downlink measurements". In 2020 IEEE International Federation for Information Processing -Networking, Conference (IFIP Networking), pages 1-5, Jun 2020.
- [8] Salhab N., Rahim R. and Langar R. "Autonomous anomaly detector for cloud-radio access network key performance indicators". In 2020 IEEE International Federation for Information Processing -Networking, Conference (IFIP Networking), pages 1-2, Jun 2020.
- [9] Salhab N., Rahim R., Langar R. and Boutaba R. "Machine learning based resource orchestration for 5g network slices". In 2019 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), pages 1-6, Dec 2019.
- [10] Salhab N., Rahim-Amoud R. and Langar R. "NFV Orchestration Platform for 5G over On-the-fly Provisioned Infrastructure". In IEEE INFOCOM 2019 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), pages 971-972, April 2019.
- [11] Leitão, P. Agent-based distributed manufacturing control: A state-of-the-art survey. Eng. Appl. Artif. Intell. 2009, 22, 979–991.
- [12] Bussmann, S.; Jennings, N.R.; Wooldridge, M. Multiagent Systems for Manufacturing Control: A Design Methodology; Springer Science & Business Media: Berlin, Germany, 2013.
- [13] Brintrup, A.; Ledwoch, A. Supply network science: Emergence of a new perspective on a classical field. Chaos Interdiscipl. J. Nonlinear Sci. 2018, 28, 033120.
- [14] Ledwoch, A.; Brintrup, A.; Mehnen, J.; Tiwari, A. Systemic risk assessment in complex supply networks. IEEE Syst. J. 2016, 12, 1826–1837.
- [15] Leitão, P.; Karnouskos, S.; Ribeiro, L.; Lee, J.; Strasser, T.; Colombo, A.W. Smart Agents in Industrial Cyber-Physical Systems. Proc. IEEE 2016, 104, 1086–1101.
- [16] Leitão, P. Agent-based distributed manufacturing control: A state-of-the-art survey. Eng. Appl. Artif. Intell. 2009, 22, 979–991.
- [17] McFarlane, D.C.; Bussmann, S. Holonic Manufacturing Control: Rationales, Developments and Open Issues. Agent-Based Manuf. 2003, 303–326.
- [18] McFarlane, D.; Giannikas, V.; Wong, A.C.; Harrison, M. Product intelligence in industrial control: Theory and practice. Annu. Rev. Control 2013, 37, 69–88.
- [19] Herrera, M.; Pérez-Hernández, M.; Kumar Parlikad, A.; Izquierdo, J. Multi-Agent Systems and Complex Networks: Review and Applications in Systems Engineering. Processes 2020, 8, 312. <https://doi.org/10.3390/pr803031>