

## OFFRE DE THÈSE Oct. 2024 – Sept. 2027 :

### Nouvelle approche du routage dans les réseaux logistiques interconnectés

#### Mots-clés

Interconnected Logistics Networks; routing strategies; Supply Chain resilience; Sustainability; Physical Internet; Dynamic Systems; Multi-Agent Simulation; Operation Research ; stochastic approach;

#### Laboratoire

- Le Centre de Gestion Scientifique de Mines Paris – PSL université (Paris, France): <https://www.cgs.minesparis.psl.eu/>
- La Chaire Internet Physique : <https://www.cip.minesparis.psl.eu/>

#### Encadrement

- Pr. Eric BALLOT (Mines Paris – PSL) : Directeur
- Pr. Shenle PAN (Mines Paris - PSL) : Co-directeur
- Dr. Mariam LAFKIHI (Mines Paris - PSL) : Co-encadrante

#### Lieu

La thèse sera menée au Centre de Gestion Scientifique de MINES Paris - PSL, 60 Boulevard Saint-Michel, 75006 Paris

#### Contrat :

CDD 3 ans (Octobre 2024 à Septembre 2027), Contrat doctoral Mines Paris.

#### Candidature

Les candidatures (CV, lettre de motivation, relevé des notes du Master, et tout document susceptible d'aider à évaluer le niveau et les motivations du/de la candidat(e)), notamment une publication (projet) ou un rapport, sont à adresser par email à [eric.ballot@minesparis.psl.eu](mailto:eric.ballot@minesparis.psl.eu) et à [mariam.lafkihi@minesparis.psl.eu](mailto:mariam.lafkihi@minesparis.psl.eu) avant le 17 juin 2024. Les candidats présélectionnés auront l'occasion d'exposer oralement leurs motivations lors d'un entretien à planifier fin juin 2024.

#### Profil du candidat(e) recherché

Titulaire d'un diplôme de master en ingénierie, sciences ou management avec des connaissances avérées dans un ou plusieurs des domaines suivants : génie industriel, gestion des réseaux, sciences des données, mathématiques appliquées, modèles de simulation, systèmes d'aide à la décision, informatique décisionnelle, recherche opérationnelle, les réseaux Internet (routage, tables de routage) et/ou télécommunication. Un bon niveau d'anglais est exigé ainsi

qu'une bonne capacité rédactionnelle en français et en anglais. Une appétence pour la programmation informatique est préférable.

### **Sujet :**

L'Internet Physique (IP) vise à remplacer les modèles logistiques actuels par un réseau logistique mondial ouvert, basé sur l'interconnexion opérationnelle, numérique et physique via des interfaces et des protocoles (Montreuil, 2011; Ballot et al., 2014; Pan et al., 2019). Cela facilite le partage des ressources grâce à des réseaux ouverts et connectés, permettant aux utilisateurs et aux partenaires du réseau d'y accéder de manière transparente. Le réseau de l'Internet Physique exige de nouveaux processus de prise de décision de plus en plus en temps réel, basés sur la coopération et la collaboration. Par conséquent, l'IP est un réseau complexe à gérer en raison de sa structure dynamique et de la présence de centres de consolidation intermédiaires qui divisent le réseau en plusieurs sous-réseaux, chacun étant exploité par une entité juridique unique connectée aux autres. Des premières approches de la problématique générales ont été développées mais elle restent très simples et partielles.

La conception d'une nouvelle méthode de gestion du réseau de l'IP est cruciale pour ses performances. L'objectif de cette thèse est d'étudier comment profiter de l'utilisation de nouveaux modèles performants tels que le Machine Learning et le Reinforcement Learning pour concevoir des protocoles de routage pour le réseau de l'IP. Des protocoles qui prennent en compte le routage des paquets, le routage des véhicules, et les autres sous-problèmes identifiés afin de répondre à toutes les problématiques liées au transport de marchandises dans un réseau collaboratif décentralisé et interconnecté tel que le réseau de l'IP.

### **Résultats attendus :**

Les résultats attendus sont de plusieurs ordres et comprennent les éléments suivants :

- Un état de l'art général et une classification pour identifier les sous-problèmes et les méthodes de ML utilisées pour les résoudre dans la littérature, afin de contribuer à la conception d'un protocole de routage efficace pour le réseau de l'Internet Physique (IP).
- Une conception d'un protocole de routage de flux dynamique, réactif, flexible et par blocs pour définir des mécanismes de prise de décision qui ne délèguent pas la gestion des opérations à une autorité centrale, mais intègrent plutôt les connaissances locales et les préférences des entités intelligentes (par exemple, les véhicules et les conteneurs) pour une optimisation globale dans IP.
- Développement d'une stratégie de routage réactif pour gérer les perturbations qui peuvent survenir (par exemple, retards d'approvisionnement, commandes d'urgence ou annulées, indisponibilité des véhicules).
- Un ensemble de simulations multi-agents et d'expérimentations associé à un ou plusieurs cas permettant de valider les propositions faites.

Ces résultats seront largement discutés et partagés avec les communautés scientifiques et professionnelles, cette interaction enrichira la réflexion menée et permettra de mettre en perspectives les résultats trouvés et de contribuer à la définition de la solution la plus appropriée au problème posé.

En termes de dissémination scientifique, des conférences internationales et des articles de journaux scientifiques de rang A sont visés.

### **Références :**

Achamrah, F. E., Lafkihi, M., Ballot, E., 2023. A dynamic and reactive routing protocol for the physical internet network. *International Journal of Production Research*. 1-19.

Ballot, E., Montreuil, B., Meller, R., 2014. *The physical internet: The Network of Logistics Networks*. La Documentation Française.

Briand, M., Franklin, R., Lafkihi, M., 2022. A dynamic routing protocol with payments for the Physical Internet: A simulation with learning agents. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 166, 102905.

James, J., Yu, W., Gu, J., 2019. Online vehicle routing with neural combinatorial optimization

Nazari, M., Oroojlooy, A., Snyder, L. V., & Takáč, M. (2018). "Reinforcement Learning for Solving the Vehicle Routing Problem." *Advances in Neural Information Processing Systems*, 31, 9861-9871.

Kool, W., van Hoof, H., & Welling, M. (2019). "Attention, Learn to Solve Routing Problems!" *International Conference on Learning Representations (ICLR)*.

Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., Rusu, A. A., Veness, J., Bellemare, M. G., ... & Hassabis, D. (2015). "Human-level control through deep reinforcement learning." *Nature*, 518(7540), 529-533