

# OFFRE DE THÈSE

Oct. 2021 – Sept. 2024

Configuration adaptative de systèmes  
interconnectés de production



PSL



## Mots-Clés :

Supply Chain, Material Management, Production Systems, Adaptive, Flexibility, Agility, Robustness, Configuration, Interconnection, Physical Internet, Modeling, Simulation.

## Partenaires :

Le Centre de Gestion Scientifique de l'école d'ingénieur Mines Paris Tech (Paris, France) : <https://www.cgs.minesparis.psl.eu/>

La Chaire Internet Physique : <https://www.cip.minesparis.psl.eu/>

Le Centre de Génie Industriel de l'école d'ingénieur IMT Mines Albi (Albi, France) : <https://cgi.imt-mines-albi.fr/>

Le Laboratoire International Associé SIREN (IMT Mines Albi – Georgia Tech ISyE) : <https://cgi.imt-mines-albi.fr/fr/actus/laboratoire-international-associe-siren-lab>

## Encadrement :

Directeurs de thèse :

- Pr. Eric BALLOT (Mines Paris Tech)
- Pr. Matthieu LAURAS (IMT Mines Albi)

Encadrants :

- Dr. HDR Shenle PAN (Mines Paris Tech)
- Dr. Raphaël OGER (IMT Mines Albi)

## Localisation :

La première moitié de la thèse sera réalisée à Paris (MINES ParisTech) et la seconde moitié à Albi (IMT Mines Albi). Un ou plusieurs séjours à Atlanta aux États-Unis (Georgia Tech) sont également à prévoir.

## Contrat :

CDD 3 ans (Octobre 2021 à Septembre 2024), Contrat de Formation par la Recherche auprès de l'opérateur de recherche contractuel ARMINES financé par l'institut Carnot M.I.N.E.S.

Rémunération : ~ 1800 € net/mois + indemnités pour la réalisation d'activités d'enseignement ou de contributions aux laboratoires.

## 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 communication ou (projet de) publication. sont à adresser par email à [eric.ballot@mines-paristech.fr](mailto:eric.ballot@mines-paristech.fr) et [matthieu.lauras@mines-albi.fr](mailto:matthieu.lauras@mines-albi.fr) avant le 19 juin 2021. Les candidats présélectionnés auront l'occasion

d'exposer oralement leurs motivations lors d'un entretien à planifier courant juillet 2021. Pour plus d'information, merci de contacter [eric.ballot@mines-paristech.fr](mailto:eric.ballot@mines-paristech.fr).

**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 logistiques, sciences des données, mathématiques appliquées, modèles de simulation, systèmes d'aide à la décision, informatique décisionnelle, recherche opérationnelle.

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 :**

Les événements récents (crise économique de 2008, Covid-19, etc.) ont montré combien l'économie en général, et les systèmes de production en particulier, sont sensibles aux perturbations et incertitudes dans le cadre de réseaux de production de plus en plus interdépendants. La qualité des décisions que les responsables des systèmes de production sont amenés à prendre est plus que jamais dépendante des risques et opportunités qu'ils sont capables de traiter, dans un laps de temps court. Alors même que les délocalisations et la focalisation des unités multiplient les étapes et les échelles géographiques et temporelles. Pour pouvoir éviter un risque ou saisir une opportunité au sein de tels réseaux, il faut naturellement disposer de moyens d'identification ad hoc, tels que promus par l'industrie 4.0, mais il faut surtout que ledit système dispose de degrés de flexibilité suffisants permettant de s'adapter une situation constatée inédite. Malheureusement, les outils existants pour configurer et reconfigurer les systèmes de production n'ont pas été pensés pour de tels contextes instables et présentent désormais des limites critiques, en matière de robustesse notamment. De façon pratique, ils sont souvent purement déterministes et limités à un schéma de fonctionnement préétabli et figé dans le temps, comme c'est le cas dans le contexte du J-à-T.

Pour autant, la crise COVID-19 a démontré, que dans des conditions extrêmes, certains systèmes de production sont capables d'être reconfigurés à la volée pour répondre à des demandes imprévues et urgentes. Ce fut par exemple le cas avec :

- Des usines pharmaceutiques et cosmétiques réaffectées à la production gel hydro-alcoolique, de vaccins ou de médicaments à grande échelle.
- Des usines de fabrication automobile qui se sont vu repositionner sur la fabrication de produits vitaux dans le cadre de cette pandémie, tels que les ventilateurs.
- Des écuries de Formule 1 qui ont utilisé leurs connaissances et leurs outils dédiés à la fabrication et au réglage des turbocompresseurs pour fabriquer des respirateurs artificiels.
- Etc.

Ces exemples sont des conséquences de décisions et actions « réflexes » non préméditées, liés à la seule urgence de la situation sanitaire, pour autant on doit anticiper que la crise sanitaire ne sera ni la dernière, ni celle de plus grande ampleur.

De ce fait, est-il possible d'envisager une telle flexibilité comme un régime de fonctionnement normal des systèmes de production ? Quels seraient les coûts et bénéfices pour de tels systèmes s'ils étaient en capacité de se reconfigurer à la volée eu égard aux variabilités (demande, approvisionnement, production) et perturbations rencontrées ? Quelles sont les propriétés nécessaires aux systèmes de production pour autoriser de telles adaptations de manière quasi instantanée ? Telles sont les principales questions que la présente thèse de doctorat se propose d'étudier.

Les enjeux associés à ces questions prennent tout leur sens dès lors que l'on considère les caractéristiques dites VUCA (Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity) des systèmes de

production actuels. En effet, ceux-ci demeurent aujourd'hui encore majoritairement, déterministes, asynchrones, figés, cloisonnés et encore très peu connectés alors qu'il faudrait qu'ils soient stochastiques, pilotés par les données, en temps-réel, flexibles, c'est-à-dire digitalisés et interconnectés.

De façon concrète, le projet de recherche s'inspirera largement des nouveaux paradigmes imaginés dans le cadre de *l'Internet Physique* (Montreuil, 2011) et (Ballot et al., 2014). *L'Internet Physique* préconise notamment de développer l'interconnexion des chaînes logistiques aussi bien en production qu'en distribution. L'interconnexion de ces opérations, réalisées par des entreprises potentiellement différentes, repose sur des protocoles définis à des niveaux physique, numérique, processus et légal dans le but d'accroître leur efficacité et leur durabilité. D'un point de vue pratique, l'interconnexion visée doit être assurée par le biais de l'encapsulation des marchandises en conteneurs modulaires intelligents et par l'utilisation d'installations de logistique et de production ouvertes et partagées (Ballot et al., 2014). Il a été démontré que plus les réseaux de logistique et de production sont interconnectés plus les options sont nombreuses pour saisir des opportunités et contrer les risques et perturbations subis. Dans le domaine de la logistique plusieurs travaux ont démontré cet intérêt tant pour la gestion des transports de marchandises que des stocks, y compris la résilience de ces solutions (Yang et al., 2017) et (Kim, 2021). L'idée n'est alors plus simplement d'optimiser un système de production vis-à-vis d'une demande réelle ou supposée, mais davantage de développer des capacités de réaction et pro-action basées sur des dynamiques de détection et d'adaptation aux événements constatés et potentiels. Cette approche repose notamment sur la capacité à recenser en temps réel les capacités de production d'un réseau de partenaires actifs ou potentiels d'une part, et à générer et évaluer des ensembles significatifs de scénarios permettant d'activer, à la demande, des solutions organisationnelles adaptées et robustes d'autre part. La proposition issue du travail de recherche sera expérimentée et déployée sur un ou plusieurs cas industriels réels. Les orientations scientifiques structurelles suivantes sont envisagées pour cette thèse de doctorat :

- La démarche proposée couplera des innovations en termes de systèmes d'information, d'algorithmes et techniques de planification en environnement incertain, et de processus décisionnels.
- La démarche proposée développera des mécanismes génériques d'aide à la décision basés sur de la scénarisation, des intervalles de confiance et/ou des logiques floues en lieu et place des approches déterministes traditionnellement employées.
- La démarche proposée s'inscrira en rupture des approches analytiques et traditionnelles en privilégiant des approches basées sur la simulation et les algorithmes prédictifs.
- La démarche proposée visera à appliquer des propositions de processus de prise de décisions collaboratifs sur un ou plusieurs cas industriels.

En conclusion, l'ambition de cette thèse de doctorat est de concevoir et développer les concepts nécessaires aux systèmes de configuration adaptatifs des systèmes de production du futur qui permettront, dans un contexte désormais foncièrement instable, de prendre sereinement des décisions qui augmenteront la capacité des réseaux de production à se reconfigurer dynamiquement pour maintenir leurs niveaux de performance.

#### **Résultats attendus :**

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

- Un rapport permettant de positionner et qualifier la problématique scientifique au regard de l'état de l'art et des enjeux industriels pour les systèmes de production réels ;
- Un ensemble de modèles et solutions d'aide à la décision permettant de répondre, au moins partiellement, à la problématique scientifique et technique identifiée ;
- Un ensemble d'expérimentations associé à un ou plusieurs cas industriels réels permettant de valider les propositions faites et d'établir des préconisations opérationnelles concrètes.

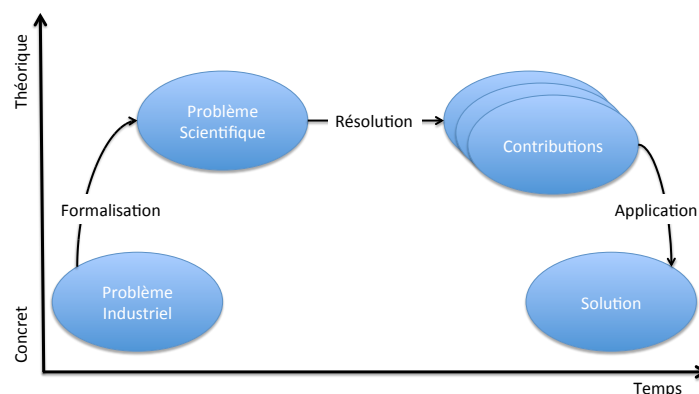
Ces résultats seront largement discutés et partagés avec les communautés scientifiques et professionnelles, cette interaction enrichira la réflexion menée et permettra de mettre en perspectives les résultats trouvés et de contribuer à la définition de la solution la plus appropriée au problème posé.

En termes de dissémination scientifique, 4 à 6 conférences internationales et 1 à 2 articles de journaux scientifiques de rang A sont visés.

### Méthodologie de recherche :

Une logique de travail collaboratif entre le ou la doctorant(e), ses encadrants et les différents partenaires industriels, favorisant la créativité et les complémentarités sera privilégiée dans le cadre de ce travail de recherche. L'idée étant d'alimenter les réflexions avec des points de vue et des compétences variées, complémentaires et pluridisciplinaires. Ainsi, il sera possible de travailler aussi bien avec des scientifiques issus de la Productique (CNU 61), de l'Informatique (CNU 27) que des Sciences de Gestion (CNU 6).

Les travaux seront menés dans le cadre d'un objectif de recherche appliquée et finalisée au sens où notre démarche vise à répondre à un problème actuel de la société, d'une organisation ou d'une entreprise. Ainsi, il sera nécessaire de qualifier les problématiques terrains, émises et justifiées par des partenaires industriels. La méthode employée s'apparentera à la famille des projets de recherche-action au sens où les recherches s'effectueront en concertation avec les agents du milieu d'étude. Enfin, nous pouvons dire que nos développements s'appuieront sur des travaux de nature qualitative (i.e. basés sur des revues de littérature, des entretiens non dirigés, etc.) autant que de nature quantitative (i.e. basés sur des modèles, simulations, analyses de données, etc.). La démarche proposée est au final inductive et peut se résumer selon le principe décrit sur la figure suivante :



### Équipes et inscription dans les axes stratégiques de Mines Paris Tech et IMT Mines Albi :

Le Centre de Gestion Scientifique (CGS) de Mines Paris Tech est un laboratoire pionnier en sciences de gestion. Composé d'une dizaine de permanents, il génère près de 2,5M€ de ressources propres par an. Il est aujourd'hui intégré au sein de l'UMR i3, Institut Interdisciplinaire de l'Innovation (UMR CNRS 9217). L'approche « ingénierique » de la gestion développée au CGS se caractérise par une double culture de la modélisation et de l'organisation et une approche « fondationniste », conduisant à étudier plus particulièrement les formes émergentes d'action collective. Le programme de recherche du CGS, structuré selon trois axes traditionnels de la gestion (génie industriel, travail, institutions), poursuit une stratégie de percées, combinant systématiquement des travaux scientifiques pionniers, un fort impact socio-économique et des partenariats académiques prestigieux.

Composée d'une cinquantaine de personnes, le Centre Génie Industriel (CGI) d'IMT Mines Albi est une équipe à taille humaine, bienveillante, compétente, ambitieuse, ouverte à l'internationale, et en lien permanent avec la réalité du terrain. Avec plus de 1,5M€ d'activité contractuelle annuelle, 1 chaire

industrielle et 6 Laboratoires Communs de Recherche publics-privés, le CGI développe une activité de recherche appliquée définitivement orientée vers les besoins du monde de l'entreprise. L'équipe affiche également une excellence scientifique avérée avec plus de 70 publications annuelles dans des conférences internationales et journaux scientifiques de rang A, et de nombreux partenariats académiques internationaux avec des universités de renom telles que Beijing Jiaotong University (Chine), Polytechnique Montréal (Canada), Penn State University (États-Unis) ou Georgia Institute of Technology (États-Unis) via le Laboratoire International Associé SIREN.

Le sujet s'inscrit directement dans la thématique logistique de l'axe « Activités de conception et capacités d'innovation dans les entreprises et le système productif mondial » du CGS. et de la Chaire Internet Physique pour Mines Paris Tech et dans l'axe « Gestion des Opérations Logistiques » du CGI et le Laboratoire International Associé SIREN pour IMT Mines Albi. Il est question ici de poursuivre et d'amplifier l'effort de recherche dans le domaine de l'Internet Physique à un moment où des projets majeurs se développent en France et à l'international sur ce domaine. En particulier, il s'agit d'investiguer l'application du concept d'Internet Physique à des systèmes de production, terrain d'application encore peu investigué (l'essentiel des développements ayant eu trait à la logistique de distribution). En qualité de co-fondateur et acteur privilégié du concept, il appartient aux équipes de Mines Paris Tech et IMT Mines Albi de maintenir un effort important sur le sujet afin de conserver un leadership scientifique sur le domaine de l'Internet Physique.

#### **Quelques références bibliographiques :**

- Ballot, E., Montreuil, B., & Meller, R. (2014). The physical internet. La Documentation Française.
- Beamon, B. M. (1998). Supply chain design and analysis: Models and methods. *International journal of production economics*, 55(3), 281-294.
- Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., & Sabouhi, F. (2018). Resilient and sustainable supply chain design: sustainability analysis under disruption risks. *International Journal of Production Research*, 56(17), 5945-5968.
- Ji, S. F., Peng, X. S., & Luo, R. J. (2019). An integrated model for the production-inventory-distribution problem in the Physical Internet. *International Journal of Production Research*, 57(4), 1000-1017.
- Kim N.Y. (2021), Hyperconnected fulfillment and inventory allocation and deployment models, PhD Georgia Tech University.
- Montreuil, B. (2011). Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge. *Logistics Research*, 3(2), 71-87.
- Oger, R., Luras, M., Montreuil, B., & Benaben, F. (2020). A decision support system for strategic supply chain capacity planning under uncertainty: conceptual framework and experiment. *Enterprise Information Systems*, 1-45.
- Pan, S., Ballot, E., Huang, G. Q., & Montreuil, B. (2017). Physical Internet and interconnected logistics services: research and applications, *International Journal of Production Research*, 55(9), 2603-2609.
- Pan, S., Trentesaux, D., Mcfarlane, D., Montreuil, B., Ballot, E., & Huang, G. Q. (2021). Digital interoperability in logistics and supply chain management: state-of-the-art and research avenues towards Physical Internet. *Computers in Industry*, 128, 103435.
- Yanyan Y., Pan, S. & Ballot, E. (2017). Mitigating supply chain disruptions through interconnected logistics services in the Physical Internet, *International Journal of Production Research*, 55 (14), 3970-3983
- Yanyan Y., Pan, S. & Ballot, E. (2017) Innovative vendor-managed inventory strategy exploiting interconnected logistics services in the Physical Internet, *International Journal of Production Research*, 55(9), 2685-2702.