

## Offre de thèse

<b>Équipe de recherche</b>	ENIT – LGP – DSS – PRISM	<a href="http://www.lgp.enit.fr">www.lgp.enit.fr</a>
<b>Lieu</b>	Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes	<a href="http://www.enit.fr">www.enit.fr</a>
<b>Directeurs de thèse</b>	DESFORGES Xavier et LETOUZEY Agnès	
<b>Financement</b>	Bourse ministérielle	
<b>Date de début</b>	1 <sup>er</sup> octobre 2022	
<b>École doctorale</b>	EDSYS	<a href="http://www.adum.fr/as/ed/edsys">www.adum.fr/as/ed/edsys</a>
<b>Spécialité</b>	Informatique et Génie Industriel	
<b>Contact</b>	Agnès Letouzey	<a href="mailto:agnes.letouzey@enit.fr">agnes.letouzey@enit.fr</a> 05 62 44 29 42
<b>Limite de candidature</b>	15 avril 2022	

## Approche générique pour un ordonnancement coopératif des activités de production, de logistique et de maintenance sous incertitude

### Generic approach for cooperative scheduling of production, logistics and maintenance activities under uncertainty

#### Mots clés

Ordonnancement, logistique, incertitude, maintenance prédictive, gestion de production  
Scheduling, logistics, uncertainty, predictive maintenance, production management

#### Profil du candidat

Le candidat ou la candidate devra, au moment de l'inscription, être titulaire (ou sur le point de l'être) d'un titre de Master 2 européen ou équivalent et justifier d'une expérience en recherche (par exemple un stage dans un laboratoire). Des connaissances en planification et génie industriel en général, ordonnancement, recherche opérationnelle et informatique (POO et applications distribuées) seront souhaitées. Un niveau B2 en Français et/ou en Anglais est exigé.

At the time of registration, the candidate must hold (or about to hold) a European Master 2 grade or equivalent and must provide proof of research experience (e.g. a traineeship in a laboratory). Knowledge in planning and industrial engineering in general, scheduling, operations research and computer science (OOP and distributed applications) will be desirable. The candidate must have at least a B2 level in French and/or English.

#### Description de la thèse

Pour rester compétitifs, les systèmes de production, de logistique et de maintenance nécessitent d'accroître leur flexibilité leur permettant de répondre au mieux aux demandes des clients toujours plus exigeants.

Les systèmes de production doivent répondre au mieux en quantités, qualité et délais requis pour satisfaire ces besoins, tout en s'appuyant sur des systèmes de logistique et de maintenance qui participent eux aussi au respect des exigences des clients. Parmi les ressources contribuant à cette réponse, les ressources de production transforment les matières et les pièces et assemblent les produits, les ressources logistiques stockent et transportent matières, pièces et produits et les ressources de maintenance assurent la disponibilité des deux premières catégories de ressources.

Ces trois systèmes (production, logistique, maintenance) sont soumis à des aléas générant différentes formes d'incertitude :

- temps de transports, affectés par le trafic ou la météo,

- durées de réalisation des tâches (production ou maintenance), affectées par l'état des ressources supportant les processus (panne de machines, maladie d'opérateurs, etc.),
- disponibilités des matières premières, des composants, des pièces de rechange, etc.
- etc.

Pour pallier ces aléas, des fonctionnalités de surveillance et d'adaptation de la conduite de ces systèmes ont été développées et implémentées, grâce à des technologies de l'information et de la communication, au niveau des ressources techniques conduisant à un renforcement de leur autonomisation. Par exemple, une machine-outil adaptant la vitesse de coupe en fonction de l'usure de ses outils et de son état de santé général (Desforges et al. 2011) conduit à des temps de fabrication variables et incertains. L'autonomisation des ressources fait largement appel aux concepts associés aux systèmes cyber-physiques dans lesquels des objets numériques et/ou logiciels interagissent et pilotent des objets physiques mais aussi dialoguent avec l'humain (Cruz Salazar et al. 2019).

Dans ce contexte d'aléas et d'autonomisation, le besoin très fort de disponibilité des ressources conduit à la mise en œuvre de politiques de maintenance plus optimales, comme celle de la maintenance prédictive, basée sur les données issues du PHM (Prognostic and Health Management) comportant de l'incertitude (Gonzalez et al. 2018, Tamssaouet 2020, Bougacha et al. 2020).

L'ordonnancement conjoint de toutes ces activités (production, transport et maintenance) doit prendre en compte toutes ces incertitudes. De nombreux travaux de recherche ont été menés sur le traitement de l'incertitude dans l'ordonnancement (Chaari et al. 2014). Toutefois, la considération de l'incertitude sur l'ensemble des tâches, qu'elles soient de production, de transport ou de maintenance, ne semble pas être traitée dans une approche conjointe de planification. C'est pourquoi nous visons à développer une méthode générique permettant la planification de tâches de durées variables et/ou incertaines intégrant la production, la logistique et la maintenance prédictive, à partir de données issues du PHM donnant la probabilité/chance de défaillance par rapport à la sévérité des tâches passées, voire futures.

En outre, les activités de maintenance et de logistique doivent prendre en compte les coûts de transport, que l'on transporte des biens, des ressources de production ou des ressources de maintenance. Ainsi, la méthode de planification devra chercher à regrouper certaines activités, voire certains transports, afin de trouver le meilleur compromis entre les coûts de production, de maintenance, d'indisponibilité et de transport.

Le premier verrou scientifique à lever concerne la définition d'une méthode de planification des tâches de production, de logistique et de maintenance simultanément, en prenant en considération :

- l'état de santé des ressources fourni par des techniques de PHM,
- les transports entre sites de production et/ou de maintenance.

Le deuxième verrou est la prise en compte et le traitement de l'incertitude, tant sur la durée des activités que sur les données issues du PHM.

Enfin, la méthode développée devra être la plus générique possible et capable de s'adapter aussi bien aux problématiques d'une entreprise intégrée, disposant de toutes les ressources en interne, qu'à celles d'un écosystème d'entreprises plus indépendantes.

La première partie de la thèse devra traiter la modélisation des informations nécessaires à cet ordonnancement. Les techniques de modélisation orientée objet semblent adaptées aux besoins de modélisation et de distribution pour ces travaux (Blaha et Rumbaugh 2005). En outre, des techniques issues de la logique floue (Zadeh 1965) ou de la théorie des possibilités (Dubois et Prade 1988) ont été investiguées pour la planification sous incertitude (Coudert et al. 2004 ; Roghanian et al. 2018). De même pour l'incertitude des données issues du PHM, la théorie des fonctions de croyance (Shafer 1976) a été utilisée pour l'évaluation de l'état de santé présent et futur des ressources techniques (Gonzalez et al. 2018). Les choix de modélisation devront prendre en compte l'approche envisagée pour réaliser la planification.

La deuxième partie de la thèse sera consacrée à la définition de la méthode de planification conjointe des activités de transport, production et maintenance sous incertitude. Parmi les approches qui peuvent être

envisagées, il sera possible d'étudier les systèmes multi-agents qui ont fait leurs preuves sur différents points du problème (Monostori et al. 2006, Gelhof et Fay 2020) comme :

- La planification conjointe de la maintenance prédictive et de la production (Bencheikh 2020, Ghaleb et al. 2020)
- La planification de la production et de la maintenance sous incertitude (Coudert et al. 2004)
- La planification d'activités de transports (Memon et Archimède 2013)
- La planification sur des ressources partagées comme peuvent l'être des ressources de maintenance (Archimède et al. 2014)
- Etc.

Cependant, d'autres approches peuvent être envisagées telles que celles développées dans (Wu et al. 2009) traitant de planification sous contraintes avec incertitude, dans (Rokhforoz et Fink 2021) mêlant MPC et décomposition de Benders, dans (Zhai et al. 2021) utilisant les notions d'apprentissage profond, ou dans (Ladj et al. 2017) exploitant la logique floue et la recherche de voisinage pour l'ordonnancement flow-shop.

## Description

To remain competitive, production, logistics and maintenance systems need to become more flexible in order to meet the needs of increasingly demanding customers.

Production systems must respond as best they can in terms of quantity, quality and time to meet these needs, while being supported by logistics and maintenance systems that also contribute to meeting customer requirements. Among the resources contributing to this response, production resources transform materials and parts and assemble products, logistics resources store and transport materials, parts and products and maintenance resources ensure the availability of the first two categories of resources.

These three systems (production, logistics, maintenance) are subject to hazards generating different forms of uncertainty:

- Transportation times, affected by traffic or weather,
- task completion times (production or maintenance), affected by the state of the resources supporting the processes (machine breakdown, operator illness, etc.),
- availability of raw materials, components, spare parts, etc.
- etc.

To compensate for these hazards, monitoring and adaptation functions for the operation of these systems have been developed and implemented, thanks to information and communication technologies, at the level of the technical resources, leading to their increased autonomy. For example, a machine tool adapting the cutting speed according to the wear of its tools and its general health (Desforges et al. 2011) leads to variable and uncertain manufacturing times. Resource empowerment draws heavily on concepts associated with cyber-physical systems in which digital and/or software objects interact and drive physical objects but also interact with humans (Cruz Salazar et al. 2019).

In this context of hazards and empowerment, the very strong need for resource availability leads to the implementation of more optimal maintenance policies, such as predictive maintenance, based on data from PHM (Prognostic and Health Management) involving uncertainty (Gonzalez et al. 2018, Tamssaouet 2020, Bougacha et al. 2020).

The joint scheduling of all these activities (production, transport and maintenance) must take into account all these uncertainties. A lot of research work has been done on the treatment of uncertainty in scheduling (Chaari et al. 2014). However, the consideration of uncertainty over all tasks, whether production, transportation or maintenance, does not seem to be addressed in a joint scheduling approach. This is why we aim to develop a generic method allowing the planning of tasks of variable and/or uncertain duration integrating production, logistics and predictive maintenance, based on data from the PHM giving the probability/chance of failure in relation to the severity of past or even future tasks.

In addition, maintenance and logistics activities must take into account transport costs, whether goods, production resources or maintenance resources are being transported. Thus, the planning method should seek to group certain activities, or even certain transports, in order to find the best compromise between production, maintenance, unavailability and transport costs.

The first scientific obstacle to be overcome concerns the definition of a method for planning production, logistics and maintenance tasks simultaneously, taking into consideration

- the health status of resources provided by PHM techniques,
- transport between production and/or maintenance sites.

The second challenge is to take into account and deal with uncertainty, both in terms of the duration of the activities and the data resulting from the PHM.

Moreover, the developed method will have to be as generic as possible and able to adapt to the problems of an integrated company, having all the resources internally, as well as to those of an ecosystem of more independent companies.

The first part of the thesis will deal with the modelling of the information necessary for this scheduling. Object-oriented modelling techniques appear to be suitable for the modelling and distribution needs of this work (Blaħa and Rumbaugh 2005). In addition, techniques from fuzzy logic (Zadeh 1965) or possibility theory (Dubois and Prade 1988) have been investigated for planning under uncertainty (Coudert et al. 2004; Roghanian et al. 2018). Similarly for uncertainty in PHM data, the theory of belief functions (Shafer 1976) has been used for the evaluation of the present and future health of technical resources (Gonzalez et al. 2018). Modelling choices will have to take into account the approach considered to carry out the planning.

The second part of the thesis will be devoted to the definition of the method for joint planning of transport, production and maintenance activities under uncertainty. Among the approaches that can be considered, it will be possible to study multi-agent systems that have proven their worth on different points of the problem (Monostori et al. 2006, Gelhof and Fay 2020) such as :

- Joint predictive maintenance and production planning (Bencheikh 2020, Ghaleb et al. 2020)
- Production and maintenance planning under uncertainty (Coudert et al. 2004)
- Planning of transport activities (Memon and Archimedes 2013)
- Planning on shared resources such as maintenance resources (Archimede et al. 2014)
- Etc.

However, other approaches can be considered such as those developed in (Wu et al. 2009) dealing with constrained planning with uncertainty, in (Rokhforoz and Fink 2021) mixing MPC and Benders decomposition, in (Zhai et al. 2021) using deep learning notions, or in (Ladj et al. 2017) exploiting fuzzy logic and neighborhood search for flow-shop scheduling.

## Références

- Archimède, B., Letouzey, A., Memon, M.A., Xu, J. Towards a distributed multi-agent framework for shared resources scheduling. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2014, 25:5, p. 1077-1087.
- Bencheikh, G., Planification conjointe des activités de production et de maintenance en fonction de l'état de santé des ressources, Thèse de doctorat de l'université de Toulouse, 2020.
- Blaħa, M., Rumbaugh, J. Object oriented modeling and design with UML, second ed., Prentice Hall, 2005.
- Bougacha O., Varnier C., Zerhouni N., A Review of Post-Prognostics Decision-Making in Prognostics and Health Management, *International Journal of Prognostics and Health Management*, vol.15, 2020.
- Chaari, T., Chaabane, S., Aissani, N., et al. Scheduling under uncertainty: Survey and research directions. In 2014 International conference on advanced logistics and transport (ICALT). IEEE, 2014. p. 229-234.
- Coudert, T., Grabot, B., Archimède, B. Systèmes multi-agents et logique floue pour un ordonnancement coopératif production/maintenance. *Journal of Decision Systems* 2004, 13: 1, 27-62.
- Cruz Salazar L.A., Ryashentseva D., Lüder A., Vogel-Heuser B., Cyber-physical production systems architecture based on multi-agent's design pattern—comparison of selected approaches mapping



- four agent patterns, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2019) 105:4005–4034
- Desforges, X., Habbadi, A., Archimède, B. Design methodology for smart actuator services for machine tool and machining control and monitoring. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2011, vol. 27, no 6, p. 963-976.
- Dubois, D., Prade, H. *Théorie des possibilités*, 2nde édition, Masson, Paris, 1988
- Gehlhoff, F., Fay, A., On agent-based decentralized and integrated scheduling for small-scale manufacturing, *at - Automatisierungstechnik*, 68(1), 15-31, 2020
- Ghaleb M., Taghipour S., Sharifi M., Zolfagharinia H., Integrated production and maintenance scheduling for a single degrading machine with deterioration-based failures, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 143, 2020, 106432
- Gonzalez, E., Desforges, X., Archimède, B. Assessment method of the multicomponent systems future ability to achieve productive tasks from local prognoses. *Reliability Engineering & System Safety*, 2018, vol. 180, p. 403-415.
- Ladj, A., Tayeb, F. B.-S., Varnier, C., Dridi, A. A., Selmane, N., A hybrid of variable neighbor search and fuzzy logic for the permutation flowshop scheduling problem with predictive maintenance, *Procedia Computer Science*, 2017, vol. 112, p. 663–672.
- Monostori, L., Vànca, J., Kumara, S. R., Agent-based systems for manufacturing, *CIRP annals*, 2006, vol. 55 (2), p. 697–720.
- Memon, M., Archimède, B. Towards a distributed framework for transportation planning: A food supply chain case study. In 2013 10th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC), 2013, pages 603-608.
- Roghanian, E., Alipour, M., Rezaei, M. An improved fuzzy critical chain approach in order to face uncertainty in project scheduling. *International Journal of Construction Management*, 2018, vol. 18, no 1, p. 1-13.
- Rokhforoz, P., Fink, O. Distributed joint dynamic maintenance and production scheduling in manufacturing systems: Framework based on model predictive control and Benders decomposition. *Journal of Manufacturing Systems*, 2021, vol. 59, p. 596-606.
- Shafer, G. "A mathematical theory of evidence." Ed. Princeton University Press, 1976.
- Tamssaouet, F., Towards system-level prognostics: Modeling, uncertainty propagation and system remaining useful life prediction, Thèse de doctorat de l'université de Toulouse, 2020.
- Wu, C.W., Brown, K.N., Beck, J.C. Scheduling with uncertain durations: Modeling  $\beta$ -robust scheduling with constraints. *Computers & Operations Research*, 2009, vol. 36, no 8, p. 2348-2356.
- Zadeh, L.A., "Fuzzy sets", *Information and Control*, vol.8, n°, 1965, p. 338- 353
- Zhai, S., Gehring, B., & Reinhart, G. Enabling predictive maintenance integrated production scheduling by operation-specific health prognostics with generative deep learning. *Journal of Manufacturing Systems*, 2021. vol.61, p. 830-855.

## Candidatures

Les candidatures sont à adresser à Agnès LETOUZEY ([agnes.letouzey@enit.fr](mailto:agnes.letouzey@enit.fr)) avant le 15 avril 2022 inclus. Une candidature comporte les documents suivants :

- Un CV détaillé,
- Une lettre de motivation,
- Les relevés de notes de M1 et M2,
- Un justificatif d'une expérience en recherche (communication scientifique, lettre de recommandation, mémoire de M2 comportant une étude bibliographique, etc.),
- Une lettre de recommandation.