

Sujet de thèse de doctorat

Titre de la thèse : **Commande de systèmes logistiques hospitaliers par la théorie des dioïdes.**

Mots-clés : SED, logistique, santé, modélisation et commande, dioïdes, systèmes à commutation.

Résumé : Les flux logistiques liés aux centres hospitaliers sont aujourd'hui en partie automatisés. Cette tendance à l'application de solutions éprouvées dans l'industrie a permis de libérer du temps aux personnels hospitaliers tout en assurant en parallèle que les matériels et informations nécessaires aux opérations de soin soient disponibles. D'un point de vue fiabilité du système de santé, cette automatisation de la logistique permet par ailleurs de garantir une certaine traçabilité sur les médicaments et matériels spécifiques. Ainsi, les expérimentations successives en milieu hospitalier de logistique automatisée pour le linge, pour le nettoyage et la stérilisation des matériels spécifiques ou pour le transfert des dossiers médicaux inter-services, contribuent à la cohabitation de systèmes logistiques hétérogènes qui utilisent cependant des ressources partagées tels que les couloirs et ascenseurs. Outre le fait que ces divers systèmes logistiques (tels que ceux de la Figure 1) partagent des tronçons critiques, il est à noter qu'ils sont généralement acquis auprès de fournisseurs spécialisés et leurs intégrations successives dans l'environnement des centres hospitaliers se fait sans nécessairement repenser les divers systèmes logistiques déjà existants. Ceci implique des contraintes de fonctionnement supplémentaires auxquelles il faut aussi répondre.

En résumé, les systèmes logistiques hospitaliers, aussi bien internes [10, 4, 9] qu'externes [3], incluent généralement des sections partagées permettant des croisements de flux ou un choix entre différentes routes par exemple, mais qui doivent être régulées *a priori* ou, au plus tard, au moment de l'arrivée d'un transporteur, afin de ne pas risquer de collision, par exemple. Une piste de recherche qui nous semble pertinente pour superviser ces zones de conflit serait d'utiliser le cadre des **dioïdes à commutation** [1].

Les sujets d'étude déjà identifiés sont les suivants :

- la robustesse des trajectoires des membres des différentes flottes. La durée d'une mission pour les véhicules et robots liés à la logistique est susceptible d'être altérée du fait d'arrêts pour la sécurité de la circulation du public usager ou de contournements d'autres obstacles. Ainsi, dans le cas de missions qui ont un caractère urgent avec une échéance à respecter, il faudrait être capable de trouver une route garantissant que l'échéance soit effectivement respectée ou, tout du moins, être capable de quantifier le retard à prévoir ;
- les règles d'affectation des différentes missions aux éléments de la flotte, en fonction de critères exprimés par les gestionnaires des systèmes hospitaliers ;
- la possibilité de découper le problème de gestion de flotte et d'utiliser une commande modulaire locale ou une intégration itérative des contraintes. Dans le cadre de la théorie de la commande supervisée [8], le découpage modulaire local a déjà été abordé [7] ainsi que l'intégration itérative [5]. Mais il n'a pas encore été abordé dans le cadre des dioïdes à notre connaissance et certaines pistes semblent prometteuses, comme celle de [1], dont les cas applications présentent des caractéristiques similaires à celles de sections partagées.



FIGURE 1 – Exemples de systèmes automatisés utilisés en milieu hospitalier

Les cas d'application seront dans un premier temps théoriques. Le/la doctorant.e pourra utiliser à cette fin la bibliothèque PyMinMaxGD [2] développée par les encadrants afin d'illustrer les résultats sur des cas de dimension intermédiaire. Suite à une nécessaire phase de simulation sur logiciel dédié, le passage à l'échelle s'effectuera normalement dans les futurs locaux encore en construction du nouveau complexe de 225 000 m<sup>2</sup> hébergeant le CHU de Nantes (cf. Figure 2), dans le cadre d'un consortium de recherche en cours de montage et consacré à la logistique d'étage hospitalière. Ce consortium regroupe deux entreprises industrielles, le service logistique du CHU de Nantes ainsi que le LS2N en tant que partenaire académique (impliquant les trois membres de l'équipe encadrante de ce sujet de thèse).

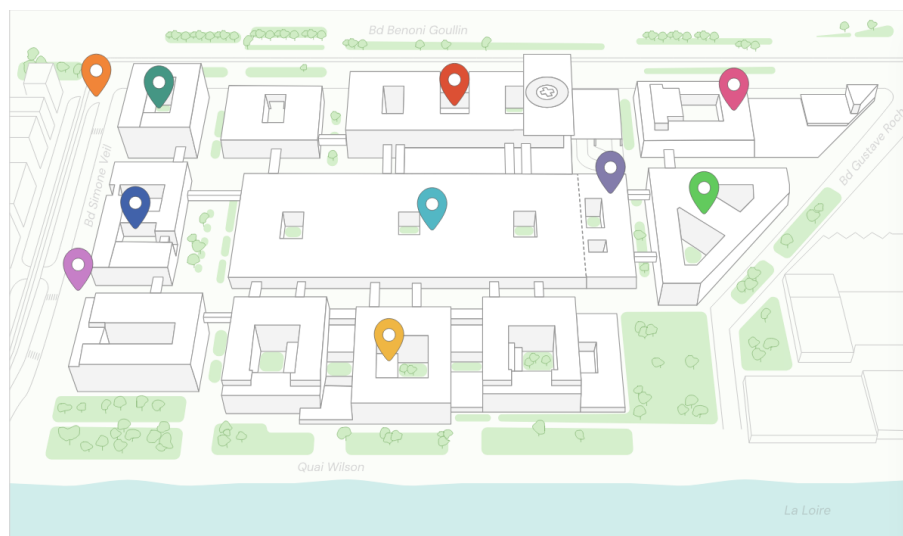


FIGURE 2 – Plan du nouveau CHU de Nantes – [www.nouvelhopital-chu-nantes.fr](http://www.nouvelhopital-chu-nantes.fr)

Encadrement :

- Directeur : Dr Naly Rakoto (40%),
- Maître-Assistant HDR (IMT Atlantique / LS2N),
- [naly.rakoto@imt-atlantique.fr](mailto:naly.rakoto@imt-atlantique.fr) ;
- co-encadrant : Dr Claude Martinez (30%),
- Maître de Conférences (IUT de Nantes / LS2N),
- [claudemartinez@univ-nantes.fr](mailto:claudemartinez@univ-nantes.fr) ;
- co-encadrant : Dr Olivier Boutin (30%),
- Enseignant-Chercheur (3iL Ingénieurs – campus de Nantes / LS2N),
- [olivier.boutin@ls2n.fr](mailto:olivier.boutin@ls2n.fr).

Financement : 2 demi-bourses vont servir au financement de cette thèse :

- 3iL Ingénieurs (50%), acquise ;
- IMT Atlantique (50%), en attente d'acceptation.

Laboratoire d'accueil :

LS2N (Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes) – UMR 6004 – [www.ls2n.fr](http://www.ls2n.fr).  
Équipe CPS3 (Conception, Pilotage, Surveillance et Supervision des Systèmes).

Localisation du doctorant : IMT Atlantique, campus de Nantes.

Environnement technique :

- La boîte à outil **Python** [2] consiste en un enrobage **SWIG** autour d'un cœur applicatif codé en **C++** développé par des collègues chercheurs de Polytech Angers [6].
- **Git** est l'outil de gestion de version qui permet de correctement gérer le projet de développement associé.
- **Mattermost** est l'outil de discussion en ligne pour le projet.

Profil souhaité : Les connaissances et compétences suivantes sont appréciées pour la candidature :

- connaissances en algèbre et en géométrie algébrique ;
- capacité d'abstraction et appétence pour la modélisation ;
- notions de gestion de production ;
- compétences en travail collaboratif (autonomie, partage, respect).

Procédure de candidature : Envoyer *par courriel* un dossier aux trois encadrants contenant au moins :

- un *curriculum vitae* ;
- une lettre de motivation, montrant sa compréhension du sujet ;
- un relevé de notes des 2 années de master (ou deux dernières années d'études équivalentes) ainsi que les attestations de classement correspondantes ;
- un certificat de niveau en langue anglaise ;
- deux lettres de recommandation minimum.

Tout autre document jugé utile peut être joint au dossier de candidature.

Date limite de candidature : le **dimanche 30 mars** dernier délai.

À Nantes, le 13 février 2025.

Bibliographie :

- [1] D. ANIMOBONO et al. « The Model Matching Problem for Switching Max-Plus Systems : a Geometric Approach ». In : *IFAC-PapersOnLine* 55.40 (2022). 1<sup>st</sup> IFAC Workshop on Control of Complex Systems COSY 2022, p. 7-12. ISSN : 2405-8963. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.01.040>.
- [2] Olivier BOUTIN, Claude MARTINEZ et Naly RAKOTO. « On Solving Controlled-Invariance Problems in Dioids Using the PyMinMaxGD Python Scripts Library ». In : *Proceedings of the 21st International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO 2024)*. T. 1. INSTICC. Porto, Portugal, nov. 2024, p. 555-566. ISBN : 978-989-758-717-7. DOI : [doi.org/10.5220/0012936500003822](https://doi.org/10.5220/0012936500003822).
- [3] Maria DI MASCOLO, Cléa MARTINEZ et Marie-Laure ESPINOUSE. « Routing and scheduling in Home Health Care : A literature survey and bibliometric analysis ». In : *Computers & Industrial Engineering* 158 (2021). ISSN : 0360-8352. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107255>.

- [4] David DOBRZYKOWSKI et al. « A structured analysis of operations and supply chain management research in healthcare (1982–2011) ». In : *International Journal of Production Economics* 147 (2014). Building Supply Chain System Capabilities in the Age of Global Complexity : Emerging Theories and Practices, p. 514-530. ISSN : 0925-5273. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.04.055>.
- [5] Johan GIRAULT, Jean Jacques LOISEAU et Olivier H. ROUX. « On-line compositional controller synthesis for AGV ». In : *Discrete Event Dynamic Systems* 26 (2016), p. 583-610. ISSN : 1573-7594. DOI : <https://doi.org/10.1007/s10626-015-0222-1>.
- [6] Laurent HARDOUIN. *Data processing tools to handle periodic series in dioid*. [perso-laris.univ-angers.fr/~hardouin/outils.html](http://perso-laris.univ-angers.fr/~hardouin/outils.html). 4 juill. 2024.
- [7] Max H. de QUEIROZ et José E. R. CURY. « Modular Supervisory Control of Large Scale Discrete Event Systems ». In : *Discrete Event Systems : Analysis and Control*. Sous la dir. de R. BOEL et G. STREMERSCHE. Boston, MA : Springer US, 2000, p. 103-110. ISBN : 978-1-4615-4493-7. DOI : [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4493-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4493-7_10).
- [8] P. J. RAMADGE et W. M. WONHAM. « Supervisory Control of a Class of Discrete Event Processes ». In : *SIAM Journal on Control and Optimization* 25.1 (1987), p. 206-230. DOI : <https://doi.org/10.1137/0325013>.
- [9] Jonas VOLLAND et al. « Material logistics in hospitals : A literature review ». In : *Omega* 69 (2017), p. 82-101. ISSN : 0305-0483. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.omega.2016.08.004>.
- [10] Jan de VRIES et Robbert HUIJSMAN. « Supply chain management in health services : an overview ». In : *Supply Chain Management : An International Journal* 16.3 (2011), p. 159-165. ISSN : 0360-8352. DOI : <https://doi.org/10.1108/135985411111127146>.