

Sujet de de stage *de recherche M2* ou **dernière année ingénieur.e** – 2024–2025

## Simulation de commande dans un dioïde grâce à une bibliothèque Python

Mots-clés : dioïdes, commande, systèmes à événements discrets, bibliothèque logicielle, Python, génie logiciel, Git.

---

Encadrant principal : Olivier BOUTIN  
courriel : [Olivier.Boutin@ls2n.fr](mailto:Olivier.Boutin@ls2n.fr)  
tél. : +33 2 55 58 91 72  
Équipe CPS3, LS2N (UMR CNRS 6004)



Co-encadrant : Pascal ANDRÉ  
courriel : [Pascal.Andre@ls2n.fr](mailto:Pascal.Andre@ls2n.fr)  
Équipe VELO, LS2N (UMR CNRS 6004)

---

## 1 Contexte et problématique

Le Comité Technique *IMS*<sup>1</sup> de la SAGIP<sup>2</sup> organise un concours, appelé *Intelligent Manufacturing International Contest*<sup>3</sup>, proposant un banc d'essai basé sur un modèle de simulation défini au sein du logiciel *FlexSim*<sup>4</sup>. C'est une occasion pour nous de tester un *passage à l'échelle* d'une approche utilisée dans **l'équipe CPS3** (basée sur des « dioïdes » [2]), depuis des problèmes actuels académiques, représentant des systèmes logistiques vus comme des **systèmes à événements discrets** à automatiser grâce à des systèmes de commande, vers des systèmes de plus en plus complexes et réalistes.

En parallèle à la **problématique de commande**, il s'agit d'étudier pour la boîte à outil des **propriétés du domaine de génie logiciel** d'intérêt pour les membres de **l'équipe VELO**, telles que le chaînage logiciel, la réusabilité, l'évolutivité et la maintenance.

L'opportunité de participer au concours, qui semble plus reposer sur un problème d'ingénierie<sup>5</sup> qu'un problème de recherche, ne doit pas prendre le pas sur les **objectifs de recherche** du sujet. Par ailleurs, si des résultats pour le concours seraient obtenus assez tôt, des extensions et ouvertures possibles pourront être abordées selon le temps restant.

## 2 Objectifs du projet

Sur la base d'un système réel du groupe La Poste appelé *Flexibac* et implanté dans un **simulateur**, il s'agit de réaliser la **commande** de ce système automatisé prenant la forme d'un **bras robotisé 6 axes**, tel qu'illustré à la Figure 1, afin qu'il arrive à *déplacer des boîtes* selon différents critères de **gestion de production**.

---

1. *Intelligent Manufacturing & Services Systems* – <http://ims2.cran.univ-lorraine.fr/>.

2. Société d'Automatique, de Génie Industriel et de Productique – [www.sagip.org](http://www.sagip.org).

3. Ou IMIC – <https://github.com/GIS-S-mart/Benchmark-9-IMIC/>.

4. <https://www.flexsim.com/>

5. Avec comme premières pistes des documentations telles que [docs.flexsim.com/en/22.1/Reference/DeveloperAdvancedUser/ConnectingToExternalCode/ConnectingToExternalCode.html](https://docs.flexsim.com/en/22.1/Reference/DeveloperAdvancedUser/ConnectingToExternalCode/ConnectingToExternalCode.html), [answers.flexsim.com/questions/110439/how-to-connect-flexsim-with-gui-made-by-python.html](https://answers.flexsim.com/questions/110439/how-to-connect-flexsim-with-gui-made-by-python.html) ou [github.com/flexsim/FlexSimPy](https://github.com/flexsim/FlexSimPy).

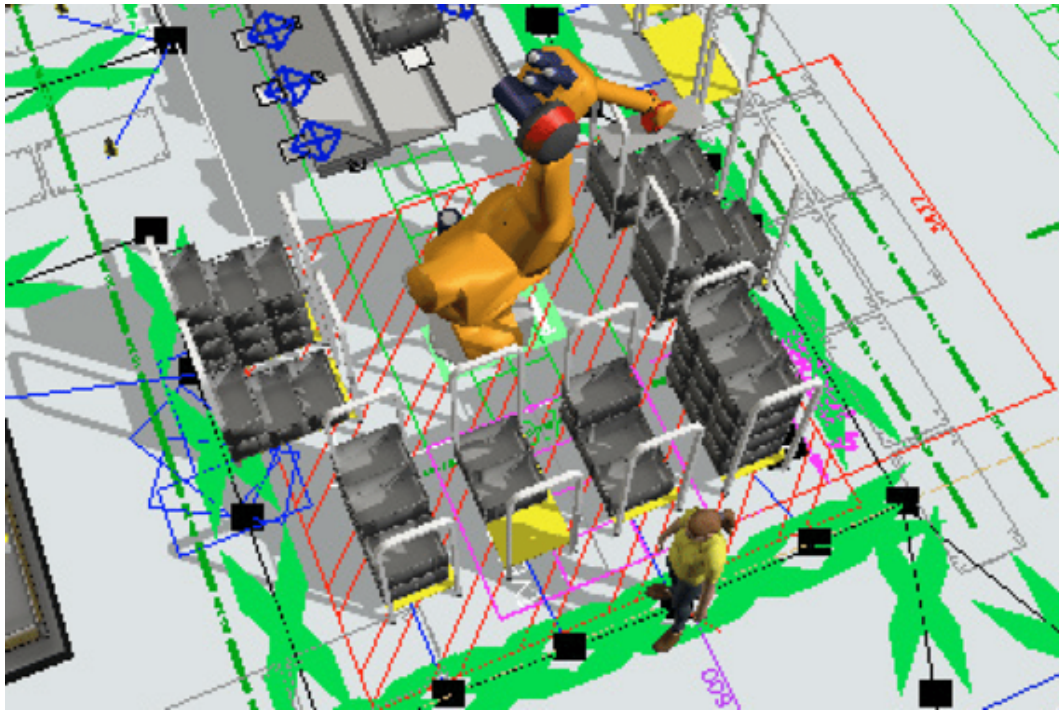


FIGURE 1 – Système Flexibac représenté dans FlexSim

La commande devra utiliser le contexte algébrique des **diïodes** [2, 4] afin d’obtenir une solution en passant par un *modèle formel* du système physique. Ce cadre formel se prête normalement bien aux éléments de gestion de production demandés dans le cadre de ce concours : détermination de dates d’événements particuliers (déplacements d’objets) et indicateurs de performance basés sur des maximisations et des minimisations, conformément au travail demandé pour le concours résumé dans la Figure 2.

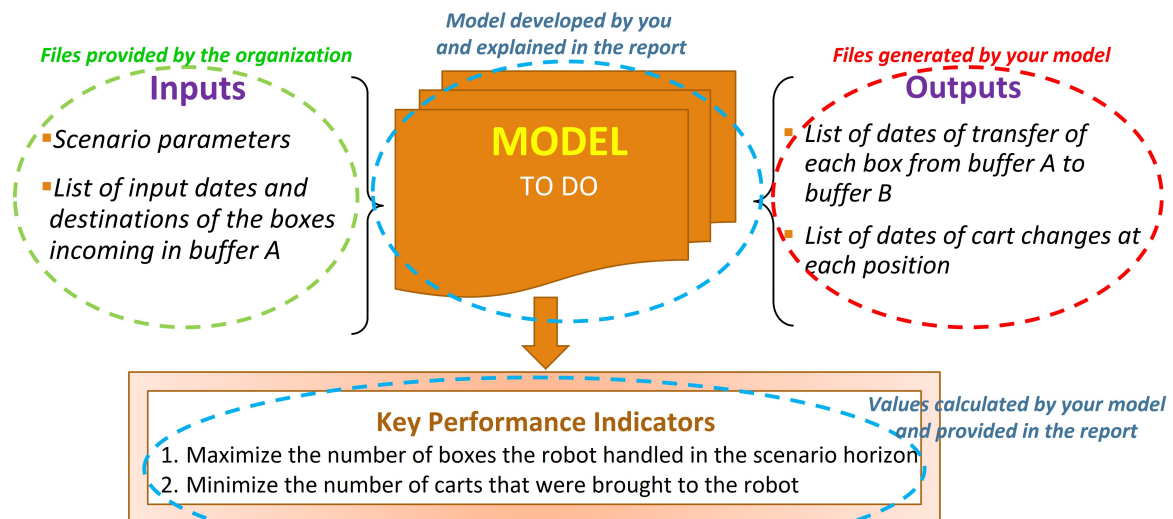


FIGURE 2 – Résumé du travail demandé pour IMIC

Un autre axe d’étude demandé porte sur des considérations du domaine du **génie logiciel** à aborder, en prenant comme support *PyMinMaxGD*, la boîte à outils Python développée au LS2N par membres de l’équipe CPS3 [1].

## 3 Livrables

Au cours du stage, l'étudiant.e sera amené.e à

- étudier le problème et concevoir une solution outillée fonctionnelle testée et validée ;
- positionner la solution dans l'existant applicatif et bibliographique (*état de l'art*) ;
- valider la solution par une expérimentation sur le cas « Flexibac » notamment, illustré par un démonstrateur ;
- produire une analyse objective des limites actuelles et des propositions étayées d'améliorations.

Concrètement les livrables attendus sont du code et de la documentation correspondant à l'application (conception / manuel utilisateur / manuel de référence).

Comme finalité possible, si les résultats s'avèrent probants, le travail sera valorisé par une participation au concours lancé par le CT IMS<sup>2</sup>, en particulier sous la forme d'un article de recherche soumis au concours et présentant la solution qui aura été développée, voire une publication à l'occasion du prochain « workshop » SOHOMA en 2025<sup>6</sup>.

## 4 Environnement

### Conditions de travail

- Laboratoire d'accueil : LS2N<sup>7</sup> – UMR 6004.
- Financement demandé sur fonds propres du laboratoire pour gratification pendant toute la période de stage (selon barème français en vigueur).
- Lieux du stage : *École Centrale de Nantes* et *Faculté des Sciences et des Techniques* de Nantes Université (situées dans quartier *Petit Port* de la ville de Nantes).
- Durée : jusqu'à 6 mois, à partir de février 2025.

### Environnement technique

La boîte à outil **Python** [1] consiste en un enrobage **SWIG** [6] autour d'un cœur applicatif codé en **C++** développé par des collègues chercheurs de Polytech Angers [3].

Ce cœur fait, par ailleurs, actuellement l'objet d'une étude à l'occasion d'un stage court en 2<sup>e</sup> année d'études d'ingénieur et sera réputé stable au moment du stage de recherche. Cependant, des interactions entre les deux études pourront être envisagées si l'opportunité ou le besoin s'en présente.

**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.

**Trello** est l'outil de gestion de projet opérationnel.

## 5 Candidature

### 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 ;
- connaissances avérées en génie logiciel (conception, programmation, tests) ;
- notions de gestion de production ;
- compétences en travail collaboratif (autonomie, partage, respect).

---

6. Service-Oriented, HOlonic and Multi-Agent manufacturing systems for industry of the future – site Web de la dernière édition disponible : [sohoma2024.sciencesconf.org](http://sohoma2024.sciencesconf.org).

7. Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes – <http://www.ls2n.fr>.

## Procédure de candidature

Envoyer *par courriel* un dossier aux deux encadrants contenant au moins :

- un *curriculum vitae* ;
- une lettre de motivation, montrant sa compréhension du sujet ;
- un relevé de notes des 2 années précédentes.

Des lettres de recommandation et tout autre document jugé utile peut être joint au dossier de candidature.

Vous pouvez contacter Olivier Boutin par téléphone pour toute question concernant ce sujet.

## 6 Bibliographie

- [1] Olivier BOUTIN, Claude MARTINEZ et Naly RAKOTO. « On Solving Controlled-Invariance Problems in Dioids Using the PyMinMaxGD Python Scripts Library ». In : *Proceedings of the 21<sup>st</sup> International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO 2024)*. T. 1. Disponible à l'adresse [dx.doi.org/10.5220/0000193700003822](https://dx.doi.org/10.5220/0000193700003822). Portugal, nov. 2024, p. 555-566. ISBN : 978-989-758-717-7.
- [2] Thomas BRUNSCH et al. « Discrete-Event Systems in a Dioid Framework : Modeling and Analysis ». In : *Control of Discrete-Event Systems : Automata and Petri Net Perspectives*. Sous la dir. de Carla SEATZU, Manuel SILVA et Jan H. van SCHUPPEN. T. 433. Lecture Notes in Control and Information Sciences. Disponible à l'adresse [dx.doi.org/10.1007/978-1-4471-4276-8\\_21](https://dx.doi.org/10.1007/978-1-4471-4276-8_21). Londres : Springer, 2013. Chap. 21, p. 431-450. ISBN : 978-1-4471-4275-1.
- [3] Laurent HARDOUIN. *Data processing tools to handle periodic series in dioid*. [perso-laris.univ-angers.fr/~hardouin/outils.html](https://perso-laris.univ-angers.fr/~hardouin/outils.html). Consulté le 6 septembre 2024. 4 juill. 2024.
- [4] Laurent HARDOUIN et al. « Discrete-Event Systems in a Dioid Framework : Control Theory ». In : *Control of Discrete-Event Systems : Automata and Petri Net Perspectives*. Sous la dir. de Carla SEATZU, Manuel SILVA et Jan H. van SCHUPPEN. T. 433. Lecture Notes in Control and Information Sciences. Disponible à l'adresse [dx.doi.org/10.1007/978-1-4471-4276-8\\_22](https://dx.doi.org/10.1007/978-1-4471-4276-8_22). Londres : Springer, 2013. Chap. 22, p. 451-469. ISBN : 978-1-4471-4275-1.
- [5] Carla SEATZU, Manuel SILVA et Jan H. van SCHUPPEN, éd. *Control of Discrete-Event Systems : Automata and Petri Net Perspectives*. T. 433. Lecture Notes in Control and Information Sciences. Londres : Springer, 2013. ISBN : 978-1-4471-4275-1.
- [6] SWIG MAINTAINERS. *SWIG*. [www.swig.org](http://www.swig.org). Consulté le 25 avril 2024. 24 fév. 2024.



Cette œuvre est mise à disposition selon les termes de la **Licence Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation Commerciale 4.0 International**. Pour voir une copie de cette licence, visitez [creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.fr](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.fr).