

Sujet de thèse

Développement d'un oracle énergétique pour les systèmes intralogistiques basé sur l'apprentissage automatique.

Laboratoire d'accueil : LISPEN Lille - <https://lispén.artsetmetiers.fr>

Encadrement : Richard BEAREE, Quentin CONSIGNY

Entreprise porteuse du projet : SAVOYE

Financement : ANR PRCE - Frugal Logistics Operations With an Energy Oracle (FLOWER)

Mots clés : Modélisation, simulation, réduction de modèle, apprentissage automatique, énergie.

Contexte :

Les travaux proposés s'inscrivent dans le contexte du projet ANR FLOWER dont le consortium, porté par l'entreprise Savoye, rassemble deux acteurs académiques : le laboratoire DISP et le laboratoire LISPEN. Savoye est une entreprise internationale, qui conçoit, fabrique (en France) et intègre des systèmes automatisés et robotiques pour l'intralogistique, ainsi que des solutions logicielles complètes pour la "Supply Chain". L'ambition du projet Flower consiste à intégrer les critères de coût énergétique dans la conception et dans la gestion algorithmique des plateformes logistiques afin de réaliser une réduction significative des émissions de CO₂. La solution qui sera développée dans FLOWER permettra aux plateformes logistiques d'adapter dynamiquement leurs règles de gestion pour respecter tous les engagements de flux au coût énergétique le plus bas. Le projet conduira à une réduction de la consommation d'énergie dans tous les domaines, à la fois en termes de performance accrue et de régimes plus économiques.

La solution qui permettra d'adapter les régimes de fonctionnement s'appuiera sur le développement d'un oracle énergétique, qui constitue le sujet de cette proposition de thèse, et d'un orchestrateur, qui sera développé par les partenaires du projet.

Objectifs et approche proposée :

Cette thèse vise à développer un oracle énergétique utilisant l'apprentissage automatique pour estimer rapidement (en quelques minutes) la consommation énergétique d'une installation intralogistique en fonction d'un carnet de commandes et de règles de gestion spécifiques.

Les grandes étapes des développements sont présentées à la figure 1

1. Générer des bases de données nécessaires aux étapes suivantes avec le simulateur à événement discret exploité par l'entreprise. Cette étape se fera en lien direct avec l'entreprise.
2. Valider un modèle basé sur l'apprentissage, pour une ou différentes configurations d'entrepôt et pour chaque règle de gestion (mode de pointe, mode éco) en utilisant les données générées précédemment. L'oracle énergétique associé résultera de la combinaison des modèles précédents, couplé aux modèles énergétiques des équipements.
3. Développer un oracle énergétique agnostique. On investiguera ici la faisabilité et les performances d'un oracle énergétique prenant la configuration de l'entrepôt comme entrée. La configuration de l'entrepôt serait décomposée en primitives principales, c'est-à-dire que pour chaque composant (zone de réception, zone de stockage, zone de prélèvement...), la primitive correspondante prendrait en compte le nombre d'équipements et leur emplacement/agencement comme paramètres.

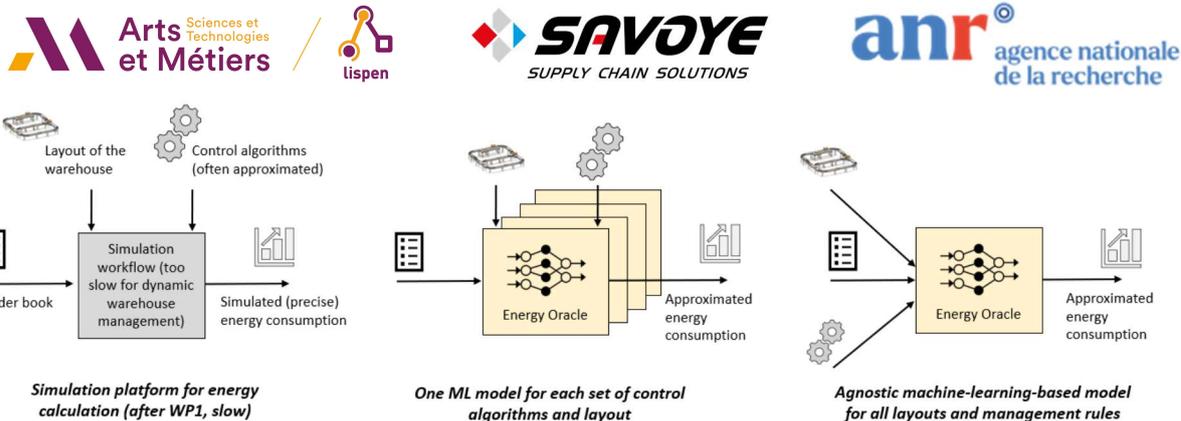


Figure 1 – Vue des étapes de développement de l’oracle énergétique.

Etat de l’art

La simulation à événements discrets (SED) est une solution largement répandue pour la conception et l'évaluation des performances des systèmes de fabrication et de logistique. Les SED commerciaux prêts à l'emploi sont des outils très efficaces, mais leur complexité computationnelle empêche leur utilisation pour une estimation rapide d'un changement dans un entrepôt réel (ex : évolution des commandes).

Dans le contexte de l'intralogistique, la consommation d'énergie est principalement induite par le mouvement actionné des sous-systèmes (convoyeurs, élévateurs, navettes automatisées). Dans une étude précédente entre SAVOYE et le laboratoire LISPEN, la consommation d'énergie des sous-systèmes de base a été estimée en utilisant une étape de post-traitement des sorties du simulateur SED via un modèle analytique basé sur la physique de l'énergie consommée. Les validations expérimentales menées sur un élévateur ont confirmé la validité du modèle et le potentiel d'économie d'énergie en utilisant des règles de gestion adaptées. Par conséquent, l'approche hybride [Sel22] s'appuyant sur une approximation basée sur l'apprentissage automatique du SED, combinée à un modèle énergétique analytique, sera la voie privilégiée pour cette étude.

Dans [Chw06], les auteurs soulignent le manque de recherche concernant la technique de réduction de modèle pour les SED et proposent des règles générales pour aider au processus de transformation du modèle conventionnel en un format de spécification de condition, plus adapté à la réduction. [Bro00] a mis en évidence l'intérêt d'utiliser des modèles de simulation réduits ou agrégés les plus simples. Les techniques précédentes sont pertinentes pour réduire la complexité d'un modèle SED lors de la phase de conception de la modélisation, mais ne sont pas appropriées pour les grands modèles existants. De fait, les approches basées sur les réseaux neuronaux, qui ont prouvé leur capacité à extraire des modèles performants à partir de données expérimentales, pourraient constituer de bons candidats pour les métamodèles [Tho09], [Tho13]. Pour limiter le temps d'inférence à quelques minutes, sans sacrifier la précision, la structure du réseau peut être réduite en utilisant des approches constructives ou d'élagage basées sur une analyse de la variance de la sensibilité des paramètres [Gre23] [Pir17]. [Dun20] introduit une méta-modélisation basée sur les réseaux neuronaux adaptée à la prise de décision en ligne. Cette approche pourrait être étudiée pour comparer différentes règles de gestion (par exemple, des stratégies basées sur l'énergie) en exécutant plusieurs simulations dans des temps de calcul raisonnables.

Bibliographie

[Bro00] R.J. Brooks, and A.M. Tobias, Simplification in the simulation of manufacturing systems. *Int. J. Prod. Res.*, 38(5), pp.1009-1027.

[Chw06] L. Chwif, R.J. Paul, M.R.P. Barretto, Discrete event simulation model reduction: A causal approach, *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 14, Issue 7, 2006, pp. 930-944.

[Dun20] F. Dunke, S. Nickel, “Neural networks for the metamodeling of simulation models with online decision making”, *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 99, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.102016>.

[Gre23] A. Greasley, “Simulation Modelling: Concepts, Tools and Practical Business Applications”, Routledge publisher, 2023, ISBN 9780367643539.

[Pir17] R. Pires dos Santos, “The Application of Artificial Neural Networks for Prioritization of Independent Variables of a Discrete Event Simulation Model in a Manufacturing Environment”, All Theses and Dissertations, 2017. <https://scholarsarchive.byu.edu/etd/6431> (open access)

[Sel22] M. Selingue, A. Olabi, S. Thiery, R. Béarée, “Experimental Analysis of Robot Hybrid Calibration Based on Geometrical Identification and Artificial Neural Network”, *IECON 2022 – 48th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Brussels, Belgium, pp. 1-6, 2022, doi: 10.1109/IECON49645.2022.9968704.

[Tho13] Ph. Thomas, M.-C. Suhner, A. Thomas, “Variance Sensitivity Analysis of Parameters for Pruning of a Multilayer Perceptron: Application to a Sawmill Supply Chain Simulation Model”, *Advances in Artificial Neural Systems*, 2013, <https://doi.org/10.1155/2013/284570> (open access).

[Tho09] Ph. Thomas, A. Thomas, How deals with discrete data for the reduction of simulation models using neural network, *IFAC Proceedings*, Volume 42, Issue 4, 2009, pp. 1172-1177.