



Faculté des sciences et génie  
IFT-7028 - Conception et simulation des systèmes intelligents  
pour l'industrie 4.0

## Robotisation d'un quai de chargement

**Préparé par:** Nicolas LeBlanc - Malek Naimi

**Équipe :** 06

**Date:** May 24, 2022

# Contents

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduction</b>   | <b>II</b> |
| <b>2</b> | <b>Robotisation d'un quai de chargement avec la librairie SimPy</b> | <b>II</b> |
| 2.1      | Question 1 . . . . .  | II        |
| 2.2      | Question 2 . . . . .  | V         |
| 2.3      | Question 3 . . . . .  | V         |
| 2.4      | Question 4 . . . . .  | VI        |

# 1 Introduction

Pour ce deuxième travail pratique dans le cadre du cours IFT-7028 *Conception et simulation des systèmes intelligents pour l'industrie 4.0*, l'objectif était de simuler un port et sa zone de déchargement avec des événements discrets avec des temps suivant des distributions données. Pour s'y faire, l'utilisation d'une librairie propre à la simulation était autorisée, l'équipe a décidé d'utiliser *SimPy*.

## 2 Robotisation d'un quai de chargement avec la librairie SimPy

### 2.1 Question 1

Pour la question 1, il était nécessaire de déterminer la durée de la période d'échauffement, qui correspond à l'addition de la durée du régime transitoire et de la période tampon. Pour s'y faire, quatre différents graphiques représentant des indicateurs de performance ont été analysés, la barre rouge verticale représentant le passage de la période d'échauffement au régime permanent. Les données disponibles sur les graphiques correspondent à une moyenne depuis le début de la simulation au temps indiqué sur l'axe des  $x$ . Les membres de l'équipe ont décidé de garder une valeur de temps de la période d'échauffement différente pour le cinq scénarios puisque cela permet d'avoir des résultats plus proches de la réalité tout en minimisant le temps de simulation, ce qui pourrait devenir critique si utilisé à plus grande échelle.

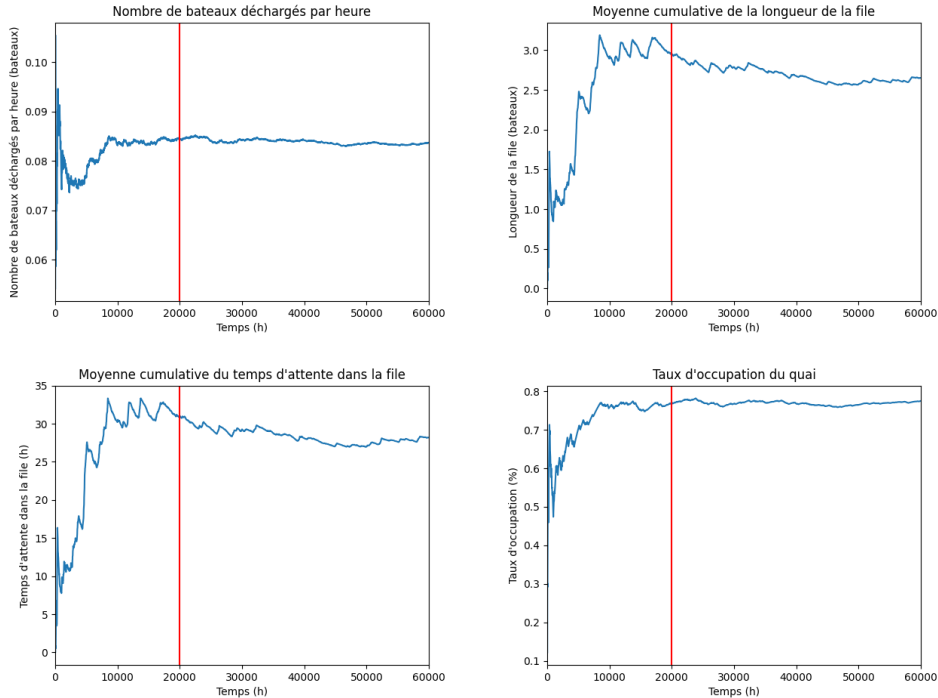


Figure 2.1: Les 4 indicateurs avec 2 robots et 20000 heures comme période d'échauffement

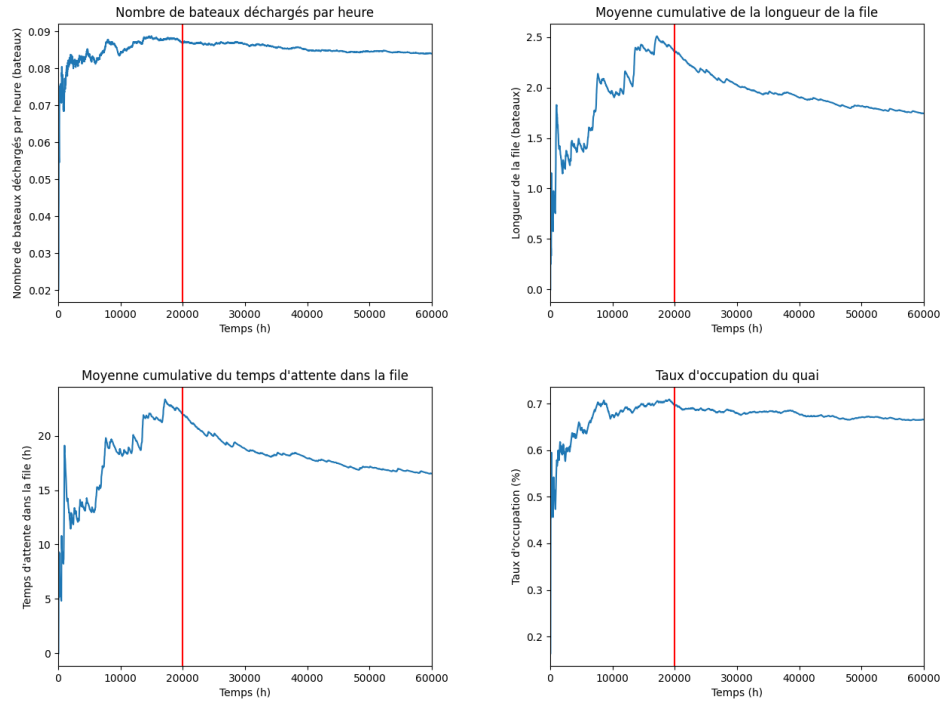


Figure 2.2: Les 4 indicateurs avec 3 robots et 20000 heures comme période d'échauffement

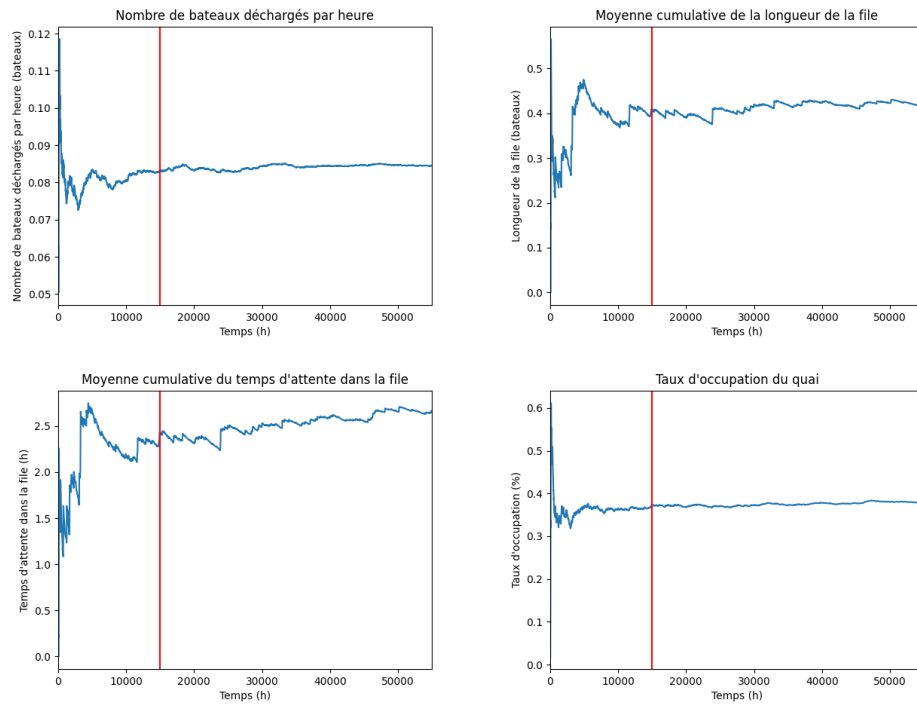


Figure 2.3: Les 4 indicateurs avec 6 robots et 15000 heures comme période d'échauffement

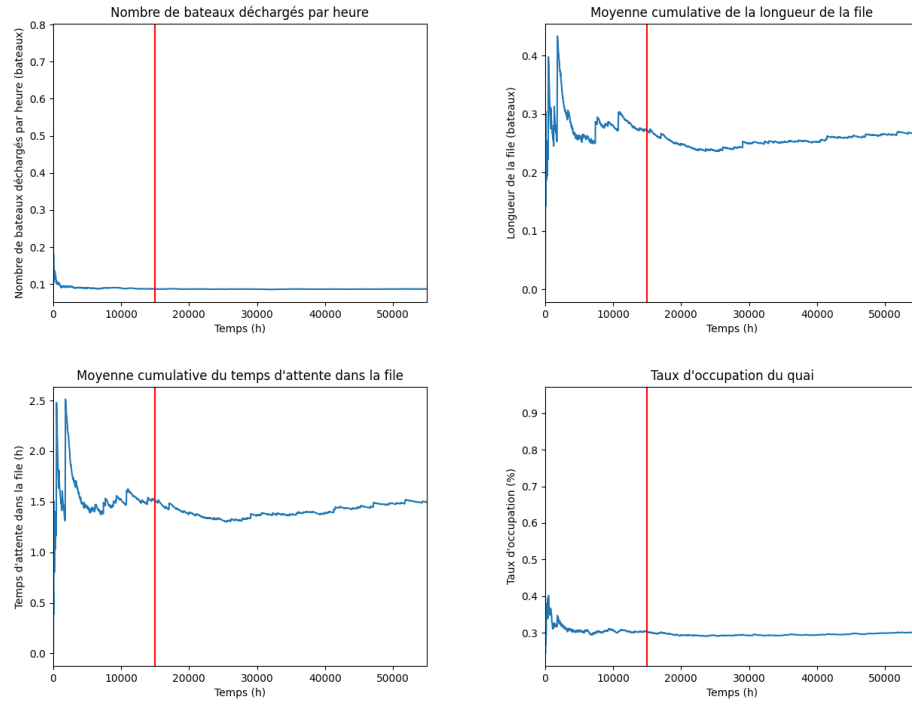


Figure 2.4: Les 4 indicateurs avec 8 robots et 15000 heures comme période d'échauffement

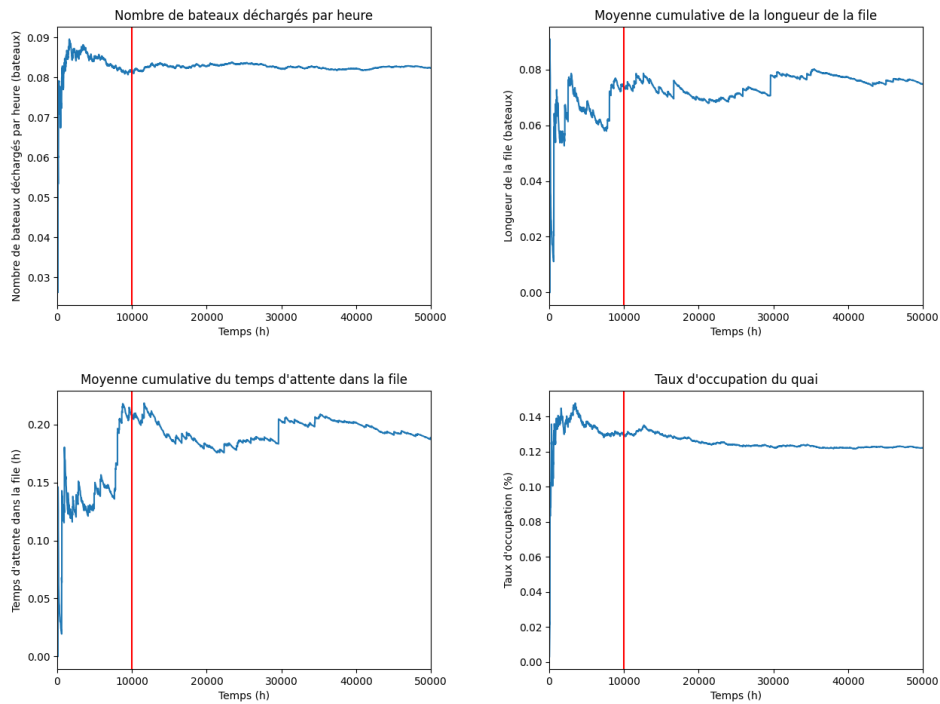


Figure 2.5: Les 4 indicateurs avec 13 robots et 10000 heures comme période d'échauffement

## 2.2 Question 2

La mesure des différents indicateurs de performance obtenus sur l’horizon de simulation avec un intervalle de confiance à 95 % est disponible dans le tableau ci-dessous. Pour obtenir ces valeurs, 100 répliques ont été effectuées pour chacun des scénarios et la valeur convergente de l’indicateur a été observée. Ces données sont disponibles dans le fichier *resultats\_comparaison2.xlsx* sous le dossier *resultats\_2*. Le scénario 1 correspond à celui avec 2 robots, le 2 avec 3 robots, le 3 avec 6 robots, le 4 avec 8 robots et le 5 avec 13 robots. Pour ce qui est des indicateurs, l’indicateur 1 correspond au nombre de bateaux déchargés par heure, le 2 au nombre de bateaux dans la file d’attente, le 3 au temps d’attente d’un bateau dans la file d’attente et le 4 au taux d’occupation du quai.

| Ind.   | Scénario 1           | Scénario 2           | Scénario 3          | Scénario 4          | Scénario 5          |
|--------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Ind. 1 | 0.0832 $\pm$ 0.0002  | 0.0832 $\pm$ 0.0003  | 0.0835 $\pm$ 0.0002 | 0.0834 $\pm$ 0.0002 | 0.0834 $\pm$ 0.0002 |
| Ind. 2 | 3.3948 $\pm$ 0.0844  | 1.6801 $\pm$ 0.0308  | 0.4132 $\pm$ 0.0055 | 0.2656 $\pm$ 0.0035 | 0.0804 $\pm$ 0.0010 |
| Ind. 3 | 36.0793 $\pm$ 0.8853 | 16.1947 $\pm$ 0.3011 | 2.6942 $\pm$ 0.0398 | 1.4409 $\pm$ 0.0196 | 0.2133 $\pm$ 0.0033 |
| Ind. 4 | 0.7929 $\pm$ 0.0031  | 0.6671 $\pm$ 0.0026  | 0.3752 $\pm$ 0.0016 | 0.2922 $\pm$ 0.0013 | 0.1249 $\pm$ 0.0005 |

Table 1: Performance sur l’horizon de simulation pour les 5 scénarios avec un intervalle de confiance de 95 %

## 2.3 Question 3

Voici une analyse des résultats présentés dans la dernière section. Il est possible d’observer que, lorsque le régime permanent est atteint, le premier indicateur, qui représente le nombre moyen de bateaux déchargés par heure, est très stable pour l’ensemble des scénarios à environ 0.0834. Cela peut sembler contre intuitif car les scénarios présentent une distribution des temps de chargement/déchargement de plus en plus bas, mais la limitation se trouve au niveau du temps d’inter-arrivées des bateaux. En effet, pour tout les scénarios, les temps d’inter-arrivées suivent une distribution centrée à 12 heures, ce qui signifie que lorsque les temps de chargement/déchargement diminuent, il n’y a pas assez de bateaux pour faire augmenter ce ratio.

Pour ce qui est du deuxième indicateur, qui correspond au nombre de bateaux dans la file d’attente, on observe une forte corrélation avec le troisième indicateur, qui lui représente le temps d’attente d’un bateau dans la file d’attente. Cela est facilement explicable en comprenant la nature même d’une file d’attente, le nombre de bateaux dans cette file sera directement corrélé au temps qu’un bateau y passera. Ces indicateurs diminuent au fur et à mesure que les scénarios étudiés augmentent le nombre de robots et diminuent le temps de chargement/déchargement. Il est logique que ces indicateurs diminuent puisque si le temps d’inter-arrivées reste constant mais que le temps de traitement diminue, la file sera plus courte, autant en termes du nombre de bateaux présents que du temps d’attente moyen dans celle-ci.

En ce qui concerne le quatrième indicateur, qui correspond au taux d’occupation du quai, celui-ci diminue aussi plus le chiffre du scénario augmente. Cela est attribuable au fait

que, plus le temps de traitement est court, moins les bateaux passeront du temps au quai de chargement/déchargement, celui-ci sera donc moins occupé.

Les recommandations à faire au gestionnaire seraient de maximiser le nombre de robots en place puisque le scénario 5 avec 13 robots présente la plus petite valeur pour le nombre de bateaux dans la file d'attente et le temps d'attente dans celle-ci. Ces deux indicateurs devraient être minimisés dans l'optique où le temps d'inter-arrivées des bateaux pourraient diminuer et ainsi présenter un achalandage plus élevé dans quelques années. Par contre, comme certains coûts sont probablement liés à l'achat, l'implantation et l'exploitation de ces robots, il est aussi intéressant de considérer l'achat de 6 ou 8 robots puisque les valeurs d'attente dans la file d'attente sont d'environ 2.6942 heure et 1.4409 heures au lieu de 36.0793 et 16.1947 pour les scénarios 1 et 2 respectivement, ce qui représente déjà une nette amélioration. Ainsi, l'achat de 8 robots est probablement plus facilement justifiable puisque cela est 4 fois plus dispendieux (dans l'optique où le coûts de 8 vs. 2 robots est 4 fois plus cher) mais permet de réduire de plus de 25 fois le temps d'attente moyen dans la file.

## 2.4 Question 4

Afin d'évaluer le nombre de bateaux que le port, composé de 13 robots, pourrait traiter tout en demeurant performant dans l'éventualité d'une augmentation de son achalandage, certaines expérimentations ont été effectuées. Le paramètre de la loi exponentielle a donc été progressivement diminué, passant de 12 à 1.5, afin d'évaluer l'impact qu'aurait une telle augmentation de l'achalandage sur la dynamique du port. Le tableau suivant illustre les résultats des indicateurs obtenus pour chaque valeur ::

| Ind.          | t = 12h | t = 10h | t = 6h | t = 3h | t = 2h | t = 1.75h | t = 1.5h |
|---------------|---------|---------|--------|--------|--------|-----------|----------|
| Ind. 1        | 0.08    | 0.10    | 0.16   | 0.33   | 0.50   | 0.57      | 0.66     |
| Ind. 2        | 0.08    | 0.10    | 0.20   | 0.74   | 2.82   | 5.98      | 48.27    |
| Ind. 3        | 0.19    | 0.29    | 0.48   | 1.49   | 4.83   | 9.67      | 72.22    |
| Ind. 4        | 0.1243  | 0.1546  | 0.2505 | 0.5002 | 0.7577 | 0.8573    | 0.9871   |
| Nb de bateaux | 4118    | 5082    | 8307   | 16680  | 25108  | 28627     | 33214    |

Pour conserver une bonne performance dans le système, le but est de maximiser le taux d'occupation du quai (Ind.4) tout en minimisant le temps d'attente des bateaux (Ind. 3). Il est alors possible de remarquer qu'avec des temps d'inter-arrivées suivant une loi exponentielle centrée en 1.75 heures, le temps d'attente dans la file est de 9.67 heures avec un taux d'occupation du quai de 85.73%. Cela semble être le minimum qu'il est possible d'atteindre tout en conservant une performance acceptable puisque pour un temps d'inter-arrivées de 1.5 heures, le temps d'attente monte à 72.22 heures ce qui est beaucoup trop élevé. Le nombre de bateaux que le port serait donc en mesure de traiter tout en demeurant performant, sur 50 000 heures, soit la période d'échauffement de 10 000 heures et le régime permanent de 40 000 heures, serait de 28 627.

## List of Figures

- 2.1 Les 4 indicateurs avec 2 robots et 20000 heures comme période d'échauffement II
- 2.2 Les 4 indicateurs avec 3 robots et 20000 heures comme période d'échauffement III
- 2.3 Les 4 indicateurs avec 6 robots et 15000 heures comme période d'échauffement III
- 2.4 Les 4 indicateurs avec 8 robots et 15000 heures comme période d'échauffement IV
- 2.5 Les 4 indicateurs avec 13 robots et 10000 heures comme période d'échauffement IV



## List of Tables

|   |  |   |
|---|--|---|
| 1 | Performance sur l'horizon de simulation pour les 5 scénarios avec un intervalle de confiance de 95 % . . . . . | V |
|---|--|---|