



System Modeling and Simulation

2025-2026

Niveau : L2-INFO

Objectifs du cours

- Comprendre les fondamentaux de la modélisation et de la simulation de systèmes.
- Apprendre les différents types de modèles utilisés dans la représentation des systèmes.
- Acquérir une expérience pratique avec des outils de simulation.
- Appliquer la modélisation et la simulation pour résoudre des problèmes du monde réel.
- Valider et analyser les modèles pour en assurer la précision et la fiabilité.

1. Introduction

a. Qu'est-ce qu'un système ?

- Un système est un ensemble de composants qui interagissent entre eux pour atteindre une fonction ou un objectif précis. Les systèmes peuvent être :
 - Naturels (par ex. : écosystèmes, systèmes climatiques).
 - Conçus (par ex. : automobiles, réseaux électriques).
 - Sociaux (par ex. : systèmes de santé, économies).

La modélisation est un outil essentiel dans l'évaluation des performances des systèmes informatiques (comme nous le verrons bientôt).

À noter que la modélisation est à la fois un « art » et une « science ».

1. Introduction

b. Qu'est-ce que la modélisation ?

La modélisation est le processus de création d'une représentation simplifiée d'un système réel. Elle capture les caractéristiques et comportements essentiels afin de rendre le système plus compréhensible et plus facile à gérer.

- Albert Einstein disait : « Les choses doivent être rendues aussi simples que possible, mais pas plus simples. »(Hector Guerrero, 2010, Excel Data Analysis).

Types de modèles :

- **Modèles mathématiques** : utilisation d'équations pour décrire le système.
- **Modèles physiques** : versions réelles et réduites de systèmes.
- **Modèles conceptuels** : schémas simplifiés ou modèles logiques.
- **Modèles de simulation** : programmes informatiques qui imitent le fonctionnement du système.

2. Évaluation des performances des systèmes informatiques

- La performance est un élément clé dans la conception, l'acquisition et l'utilisation des systèmes informatiques.
- L'objectif typique est d'obtenir les meilleures performances possibles pour un coût donné (par ex. : en argent, en énergie).
- Il est nécessaire d'avoir des connaissances de base sur les outils et techniques d'évaluation des performances des systèmes informatiques :
 - Quelles sont les exigences en matière de performance ?
 - Comment comparer différentes alternatives de systèmes ?

2. Évaluation des performances des systèmes informatiques

○ Exigences de performance :

- Temps de réponse (latence).
- Débit (Throughput) : quantité de travail que le système peut accomplir durant une période donnée.
- Utilisation des ressources : efficacité avec laquelle le système utilise ses ressources (CPU, mémoire, disque, réseau).
- Scalabilité (extensibilité).
- Fiabilité.
- Efficacité énergétique.

2. Évaluation des performances des systèmes informatiques

○ Méthodes de comparaison des alternatives de systèmes

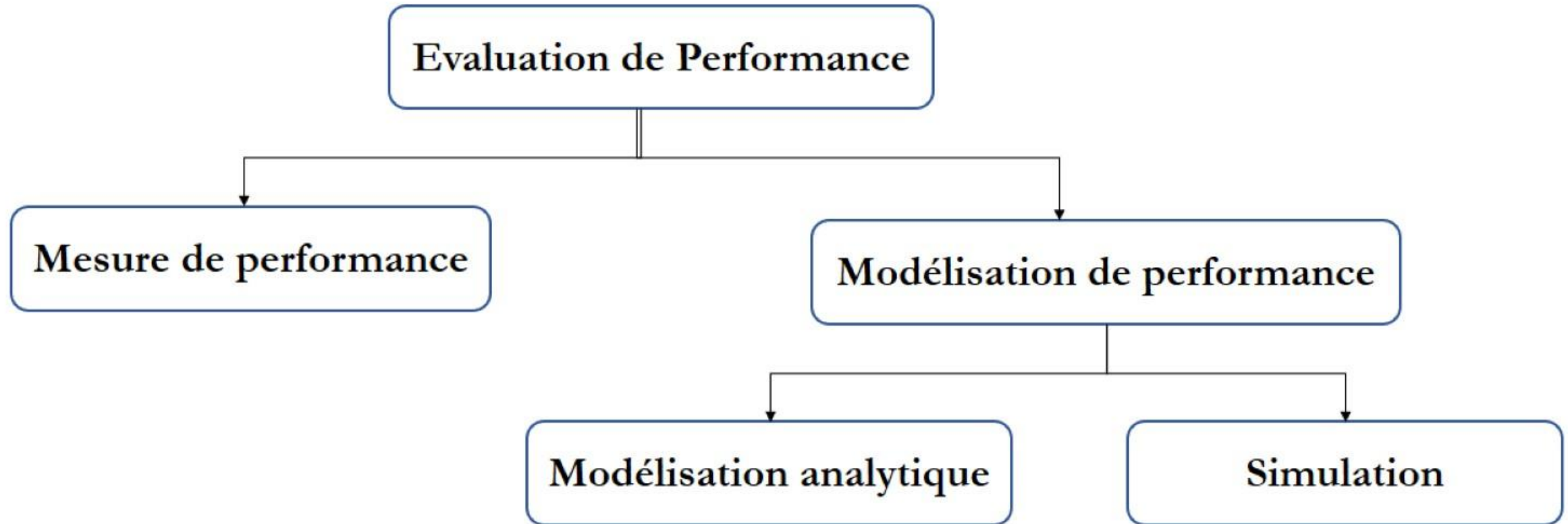
- **Benchmarking** : utiliser des tests standards (benchmarks) pour mesurer la performance des systèmes dans des scénarios similaires.
- **Analyse coût-performance** : Le meilleur système est celui qui offre le meilleur rapport performance/coût.
- **Surveillance**: surveiller et analyser l'utilisation des ressources dans différents systèmes afin de comprendre leur comportement et d'identifier les goulots d'étranglement.
- **Analyse multicritère** : comparer les systèmes sur la base de plusieurs critères (latence, débit, coût, consommation d'énergie, etc.), en les pondérant selon les priorités spécifiques du projet.
- **Simulations** : créer des modèles de systèmes pour simuler leurs performances sous différentes charges et configurations.

3. Approches d'évaluation des performances

○ Trois approches principales :

- **Expérimentale** : Collecter des mesures sur un système existant et évaluer de nouveaux algorithmes ou conceptions en les implémentant puis en les comparant dans ce système réel.
- **Modélisation par simulation** : Créer un programme basé sur un modèle abstrait du système et le manipuler pour estimer ses performances.
- **Modélisation analytique** : Utiliser un modèle mathématique du système et ajuster ses paramètres pour analyser les performances.

3. Approches d'évaluation des performances



Mesure de Performance

Mesure directe sur un système : dans des conditions réelles, obtenir des informations sur son comportement opérationnel.

- **Caractérisation de la charge de travail :** Il est essentiel de définir la charge de travail appliquée pendant la mesure.
- **Résultats précis :** reflète le véritable comportement du système dans son environnement réel.

⊖ **Flexibilité limitée :** Cette approche peut être rigide, rendant difficile, voire impossible, l'ajustement de certains paramètres de la charge de travail (par exemple, le nombre d'utilisateurs ou le volume de données) pour tester le système dans différents scénarios.

Mesure de Performance

- **Construction d'un modèle :**

Créer une représentation simplifiée et abstraite d'un système en faisant des hypothèses sur son comportement.

Mesure de Performance

- Pourquoi utiliser des modèles ?

Tester directement sur le système réel peut être :

- excessivement coûteux,
- potentiellement risqué, ou
- fortement perturbateur pour ses opérations normales.

→ Le système peut ne pas encore exister, par exemple lors de la phase de planification ou de conception.

Modélisation analytique

- **Utilisation de méthodes mathématiques**
→ Exemples : modèles de files d'attente.
- L'obtention de résultats numériques devient significativement plus simple et rapide.
- Pratique pour des estimations approximatives.
- Importance dans la conception et l'optimisation des systèmes.
- **Défis avec les modèles complexes:** Résoudre des modèles complexes peut poser des défis importants, nécessitant souvent des techniques mathématiques avancées ou des approximations

4. Processus de simulation : Modélisation par simulation

- Développer un programme de simulation qui met en œuvre le modèle.
- Exécuter la simulation, collecter les données et estimer les mesures de performance à l'aide de la randomisation.
- Un système peut être étudié à un niveau de détail arbitraire.
- Le développement et l'exécution du programme de simulation peuvent être coûteux.

→ La modélisation analytique complète la simulation en offrant une base théorique pour concevoir et valider des modèles de simulation plus précis et détaillés.

4. Modélisation par simulation

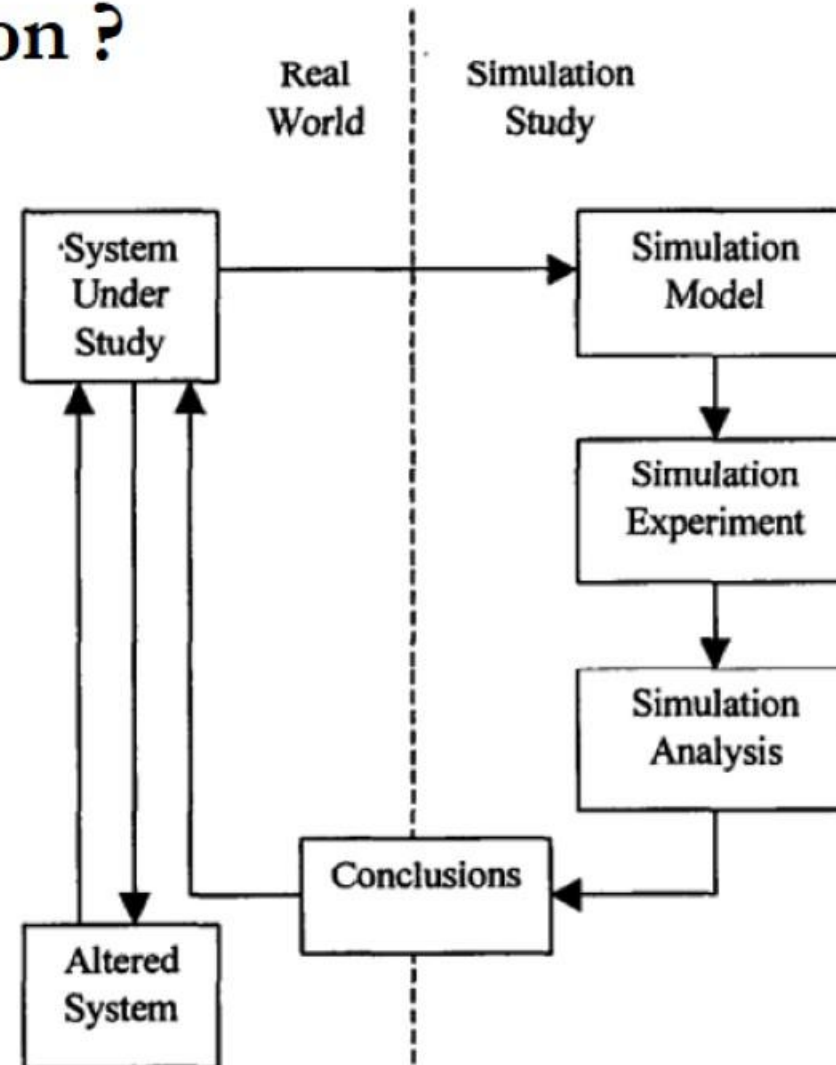
c. Qu'est-ce que la simulation ?

- **Simulation** : La simulation consiste à exécuter un modèle pour analyser le comportement d'un système sans impacter la réalité.
- Elle utilise différents types de modèles (statique/dynamique, déterministe/stochastique, continu/discret) pour tester des scénarios, réduire les risques d'échec, éviter les problèmes imprévus, optimiser les ressources et évaluer les performances sous diverses configurations sur le long terme.

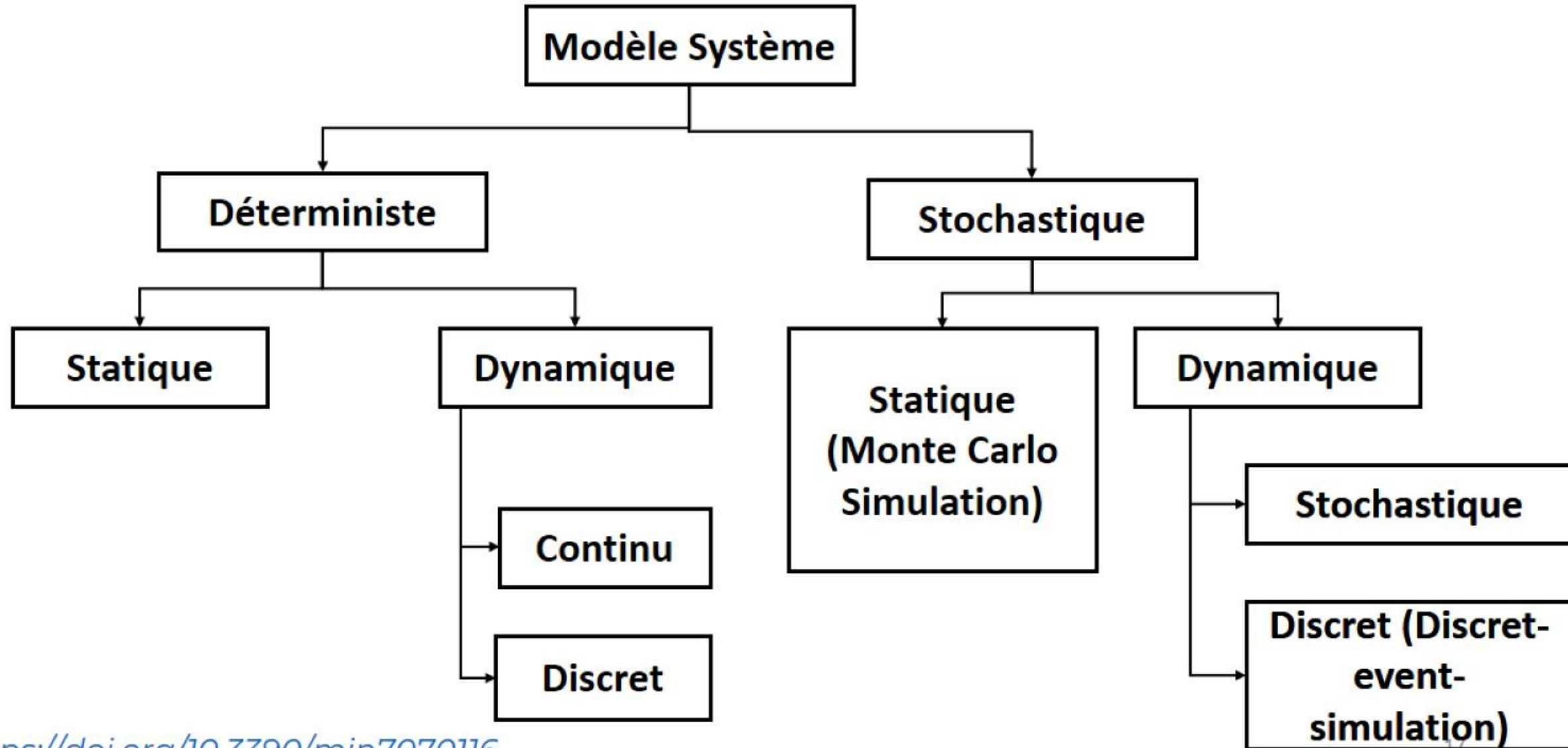
4. Modélisation par simulation

c. Qu'est-ce que la simulation ?

Schéma d'une étude de simulation



Types de modèles et de simulations



Types de modèles et de simulations

a. Modèles déterministes

- Utilisés lorsqu'on traite de processus dont le comportement peut être entièrement prédit du début à la fin.
- Avec un ensemble donné d'entrées, les modèles déterministes produisent toujours les mêmes sorties.
- Le système est indépendant de l'influence de variables aléatoires ou imprévisibles.

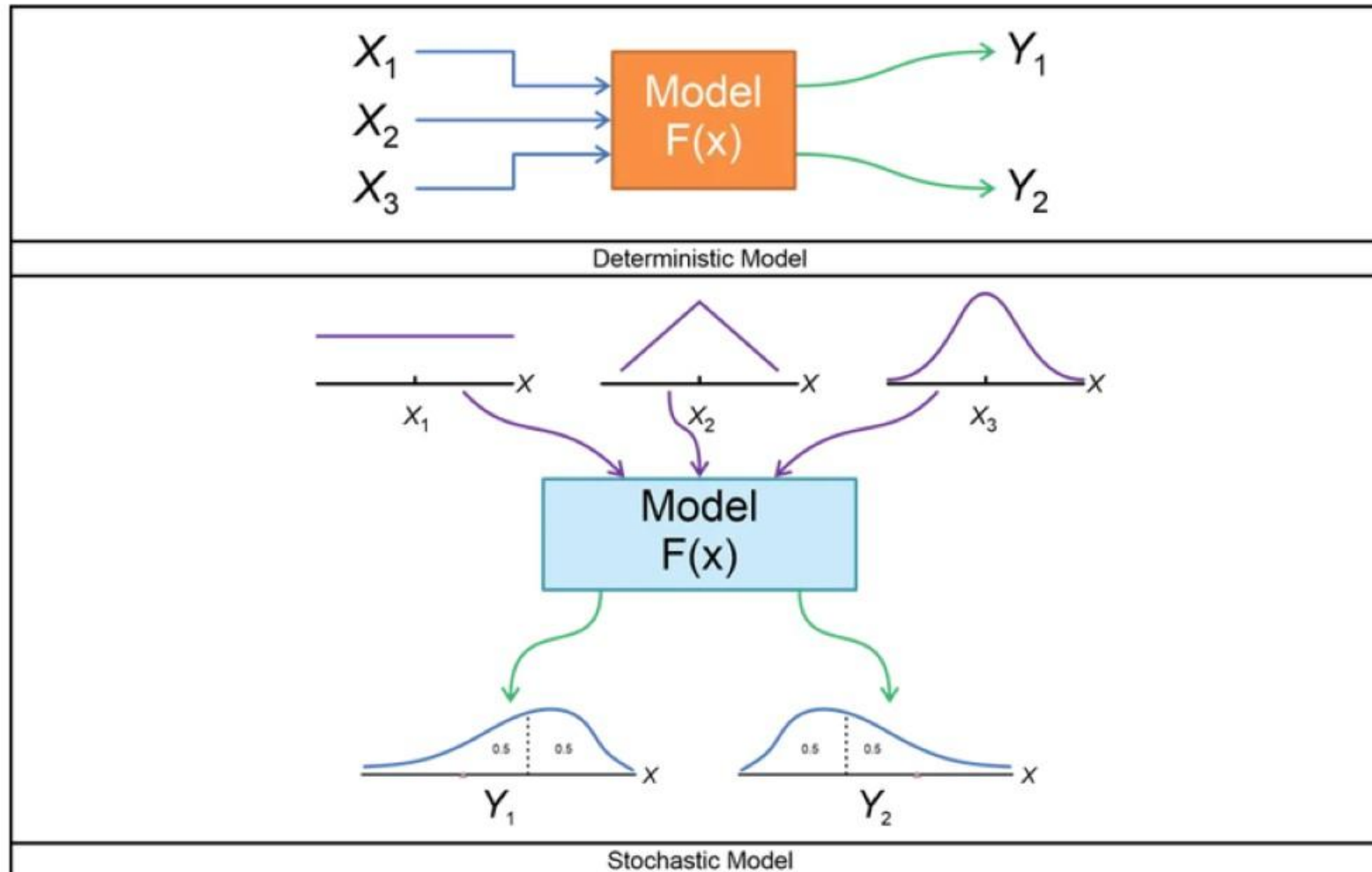
Types de modèles et de simulations

b. Modèles stochastiques

- Lorsque les aléas jouent un rôle significatif dans le comportement du système (exemple : les pannes).
- Utilisés lorsque nous ne pouvons pas estimer avec précision les variables d'entrée, soit parce que nous n'avons pas suffisamment d'informations sur ces variables, soit parce qu'elles changent dans une plage spécifique.

Types de modèles et de simulations

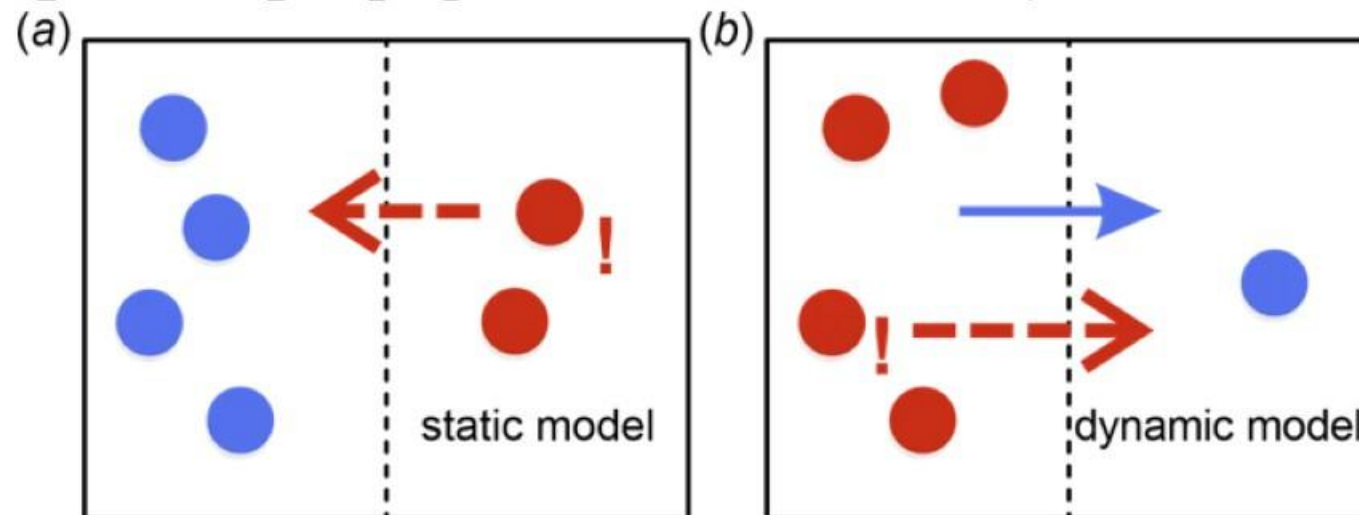
Modèles déterministes vs. stochastiques



Types de modèles et de simulations

b. Modèles statiques vs. modèles dynamiques

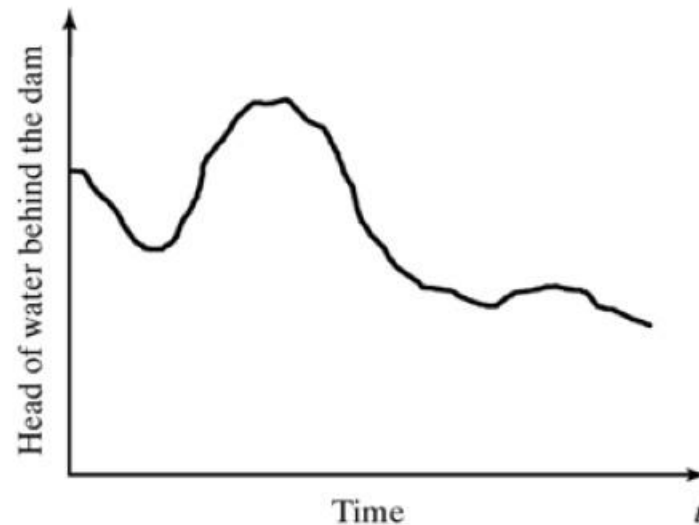
- **Modèles statiques** : Représentent les systèmes à un moment précis dans le temps (par ex., analyse structurelle d'un bâtiment).
- **Modèles dynamiques** : Suivent l'évolution du système au fil du temps (par ex., propagation d'une maladie).



Types de modèles et de simulations

c. Modèles continus vs. modèles discrets

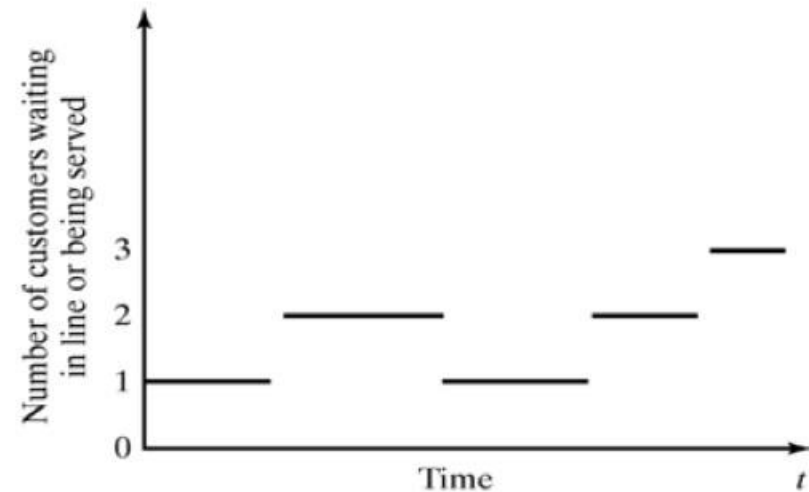
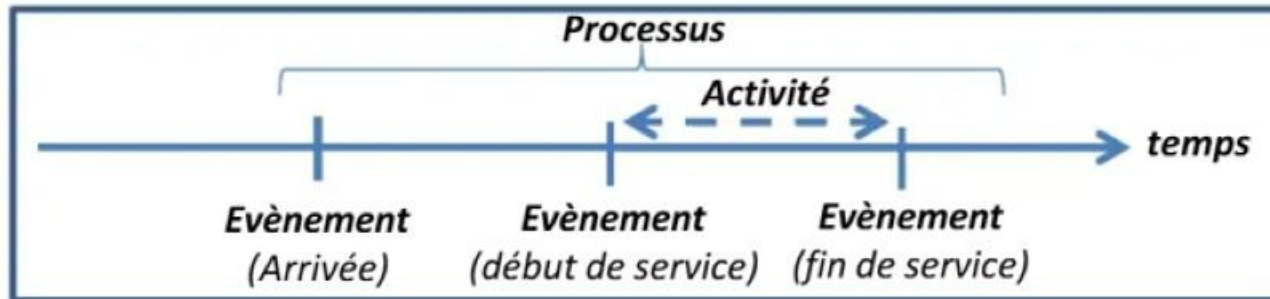
- **Modèles continus** : Changent de manière fluide avec le temps et sont décrits par des équations différentielles (ex. : dynamique des populations).



Types de modèles et de simulations

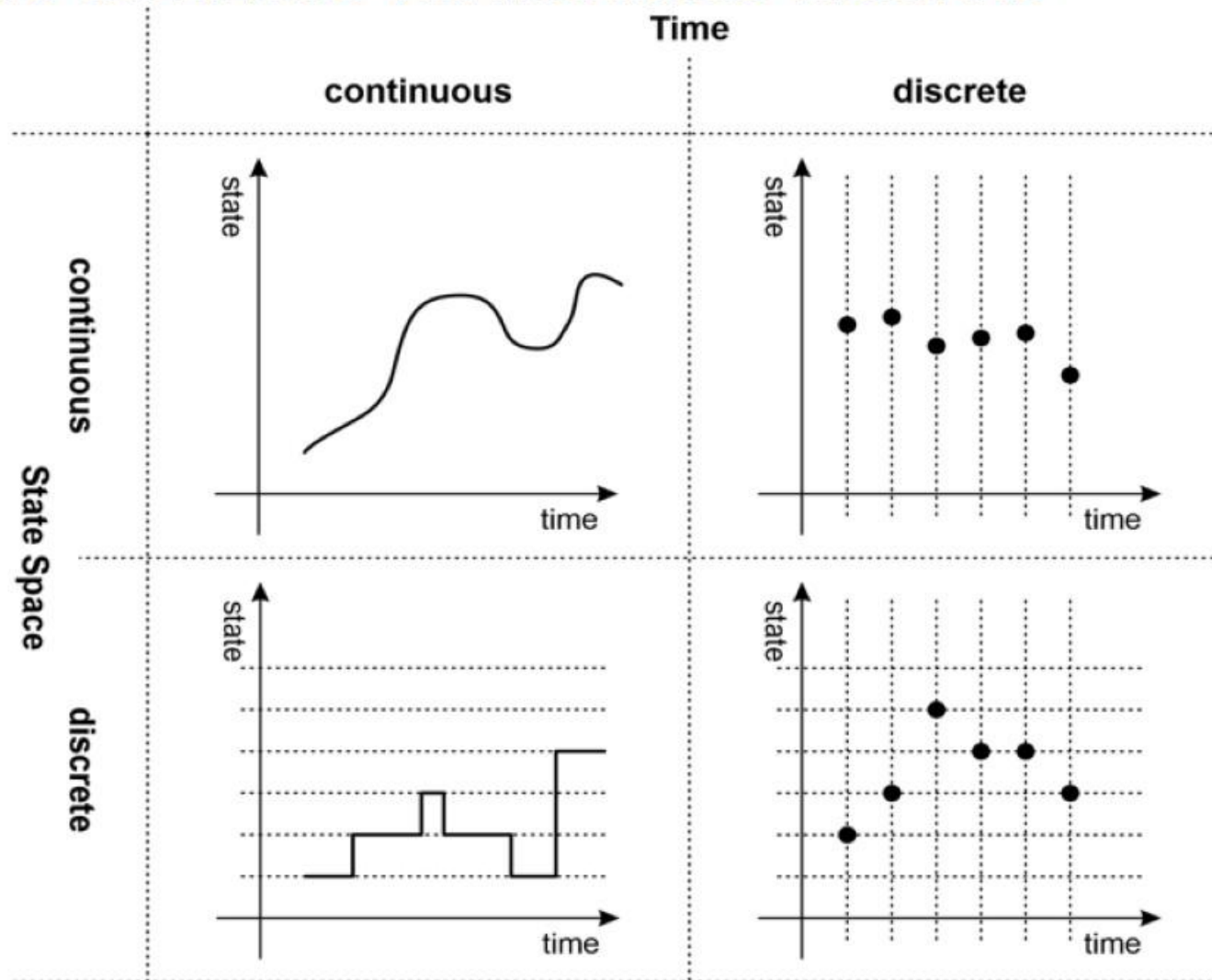
c. Modèles continus vs. modèles discrets

- **Modèles discrets** : Systèmes où les changements d'état se produisent à des points spécifiques dans le temps (ex. : arrivées de clients dans une file d'attente).



Types de modèles et de simulations

c. Modèles continus vs. modèles discrets



Types de modèles et de simulations

d. Modèles hybrides

Combinent des composantes continues et discrètes pour représenter des systèmes qui présentent les deux types de comportements.

ex. : processus de fabrication avec des machines fonctionnant en continu et des événements discrets comme les pannes de machines.

Exemples de systèmes et classification

Système 1 : Temps d'arrivée des étudiants dans une salle de classe.

Système 2 : Gestion d'un barrage hydraulique

Système 3 : Planification d'un réseau de livraison de colis

Système 4 : Prévion de la propagation d'une épidémie

Système 5 : Vente aléatoire de billets pour un concert

Système 6 : Planification des vols d'une compagnie aérienne

Système 7 : Trafic routier dans une ville à l'heure de pointe

Quand simuler ?

