

---

# *M1 SIAD*

## *Module : Simulation et Prototypage*

### *Chapitre 01:*

#### Modélisation et simulation : une Introduction

##### **Sommaire**

1. Introduction
2. Notion de Système
3. Modélisation et Modèle
4. Simulation

## 1. Introduction

- Actuellement, les systèmes ont connu un développement sans précédent qui s'est accompagné d'un accroissement important de leur complexité.
- Pour maîtriser leur complexité, il est nécessaire de disposer d'outils performants permettant de :
  - Comprendre leurs comportements dynamiques.
  - Prédire leurs performances
  - Evaluer et de comparer les différentes configurations ou stratégies de pilotage.
  - Les optimiser.
- La simulation est une technique puissante pour la conception et l'analyse des systèmes. C'est un outil d'aide à la décision dont le but est :
  - Etudier les performances d'un système complexe avant sa construction
  - Evaluer les performances d'un système existant pour l'améliorer s'il y a une grande différence au niveau de performances.

# 1. Introduction

→ La simulation peut être utilisée dans plusieurs domaines d'application, tels que :

- *Systèmes informatiques et télécommunications*
  - Etude des comportements des systèmes d'exploitation.
  - Evaluation de protocoles de gestion des transactions de bases de données.
  - ...
- *Systèmes de flux de production ou de fabrication*
  - Equilibrage de lignes d'assemblage,
  - Dimensionnement des stocks d'un atelier,
  - ...
- *Systèmes de services*
  - Etude de transactions bancaires,
  - Gestion de restaurants,
  - ...
- *Systèmes de transport et Flux logistiques*
  - Conception et dimensionnement d'entrepôts,
  - Dimensionnement d'une flotte de camions,
  - ...
- *Les systèmes naturels (biologiques, écologiques,...)*

## 1. Introduction

- Etudier un système consiste à faire un ensemble de suppositions sur son fonctionnement.
- Généralement, ces suppositions prennent la forme de relations mathématiques ou logiques, constituent ainsi un modèle.

↳ Le modèle est utilisé comme support pour conduire des expériences afin d'évaluer et de déduire les performances du système qu'il le représente.

### Remarques

- Si les relations qui composent le modèle sont assez simples, il peut être possible d'utiliser des méthodes mathématiques (telle que l'algèbre, la théorie des probabilités) pour obtenir des réponses exactes aux questions qui nous intéressent. Une telle solution s'appelle une solution analytique.
- Les systèmes qu'on trouve dans la réalité sont le plus souvent trop complexes pour pourvoir se prêter à une évaluation analytique, et leurs modèles doivent être étudiés au moyen de la simulation.
- Dans une simulation, on utilise l'ordinateur pour évaluer numériquement un modèle dans le but d'estimer les caractéristiques souhaitées du modèle.

## 2. Notion de Système

→ Le mot *Système* désigne :

- ↳ Ensemble de composants reliés entre eux.
- ↳ Combinaison de parties (matérielles ou immatérielles) qui se coordonnent, pour concourir à un résultat de manière à former un ensemble (Larousse).
- ↳ Ensemble d'éléments interagissant entre eux selon certains principes ou règles.

→ Un système est caractérisé par :

- ↳ C'est un tout composé de parties ordonnées.
- ↳ Chaque partie a ses lois et une certaine indépendance.
- ↳ Les parties ont des liens ou relations entre elles pour atteindre un but.
- ↳ Cet ensemble change au cours du temps.
- ↳ Il est influencé par le milieu dans lequel il existe et qui réagit sur lui.

→ Ces caractéristiques font ressortir qu'un système est défini (déterminé) par :

- ↳ La connaissance de sa frontière, c'est-à-dire le critère d'appartenance au système.
- ↳ La connaissance de ses interactions avec son environnement.
- ↳ La connaissance de ses parties ou composants (la nature de ses éléments constitutifs).
- ↳ La connaissance des lois propres de chaque composant.
- ↳ La connaissance des lois d'interaction qui déterminent son but.

## 2. Notion de Système

- Chaque système est influencé par son environnement.
- Un système peut être ouvert, fermé, ou isolé selon son degré d'interaction avec son environnement.
- L'identification des frontières du système avec son environnement (son milieu) permet de délimiter la portée du système (c'est-à-dire déterminer ce qui doit être à l'intérieur du système et ce qui doit rester à l'extérieur).
- Les relations entre un système et son environnement sont des *relations de cause à effet*. Certains facteurs (paramètres) externes peuvent influencer le système :
  - Si ces facteurs contrôlent entièrement la dynamique du système, il n'y a pas d'intérêt à conduire des expérimentations avec ce système et il faudra le redéfinir.
  - Si par contre ces facteurs contrôle partiellement la dynamique du système, On peut alors soit :
    - 1. Elargir le système de façon à les inclure.
    - 2. Les ignorer (si on juge que leurs effets sont négligeables).
    - 3. Les considérer comme des entrées du système.
- ➔ Décrire un système consiste à déterminer ses éléments, ses relations, leurs propriétés et les valeurs que peuvent prendre ainsi que son activité et son organisation.

## 2. Notion de Système

### Définition:

*"Un système est une entité complexe traitée comme une totalité organisée, formée d'éléments et de relations entre ces éléments"*

→ La complexité d'un système provient de :

- ↳ la multiplicité des éléments qui le composent,
- ↳ leurs objectifs qui peuvent être en conflit,
- ↳ la diversité de leurs relations (ou interactions),
- ↳ de l'incertitude concernant l'évolution globale du système.

→ L'analyse du système doit disposer de méthodes et d'outils capables de représenter ces systèmes.

### Remarque

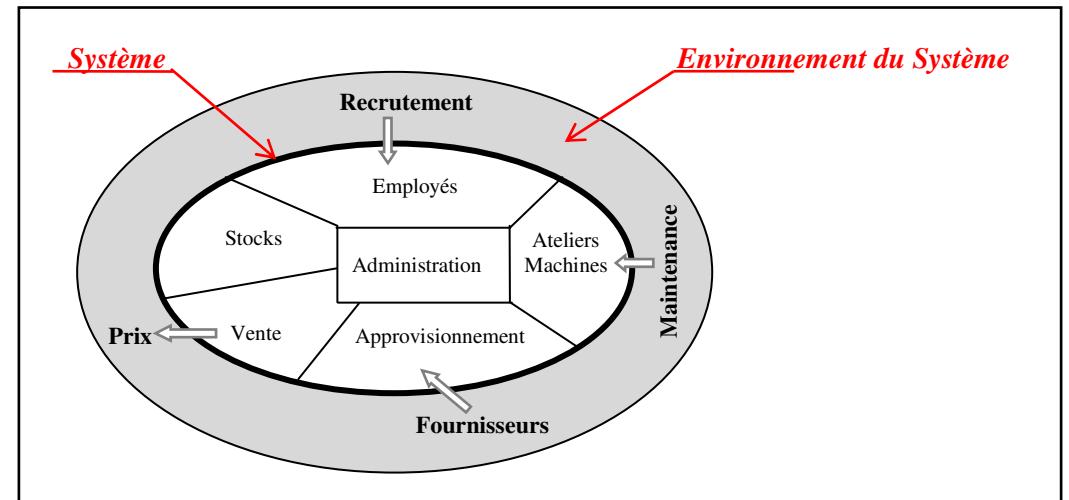
- Ces représentations ne doivent pas être trop simples afin de ne pas perdre de l'information sur le fonctionnement dynamique, et ne doivent pas être trop complexes et inexplicables pour simplifier l'analyse.

## 2. Notion de Système

### Exemple

Une usine de production représente un bon exemple de système. Les parties de ce système pourraient être :

- Administration
- Employés.
- Service Production.
- Service approvisionnement.
- Service ventes.
- Service de gestion de stocks.



- ✓ Chaque partie du système a ses propres lois de fonctionnement et elle partiellement indépendante des autres parties.
- ✓ Toutes les parties du système sont en interaction pour atteindre l'objectif attendu.
- ✓ La portée du système est délimitée par l'identification de ses frontières et les différentes interactions possibles.

### 3. Modélisation et Modèle

La modélisation est une démarche consistant à élaborer une description simplifiée d'un phénomène, d'un processus ou d'un système appelée un **modèle**, en vue d'en étudier ou d'en prévoir son fonctionnement.

#### 1-Définition (Modèle):

*Un modèle est un schéma qui, pour un champ de questions, est pris comme représentation abstraite d'une classe de phénomènes dégagés de leur contexte par un observateur pour servir de support à l'investigation, et/ou à la communication".*

→ Le modèle est plus ou moins *fidèle* pour répondre au compromis entre adéquation modèle-système et facilité d'analyse du modèle:

- le modèle devra être assez complet afin de pouvoir répondre aux diverses questions qu'on peut se poser sur le système qu'il représente.
- le modèle ne doit pas être trop complexe pour pouvoir être facilement manipulé.

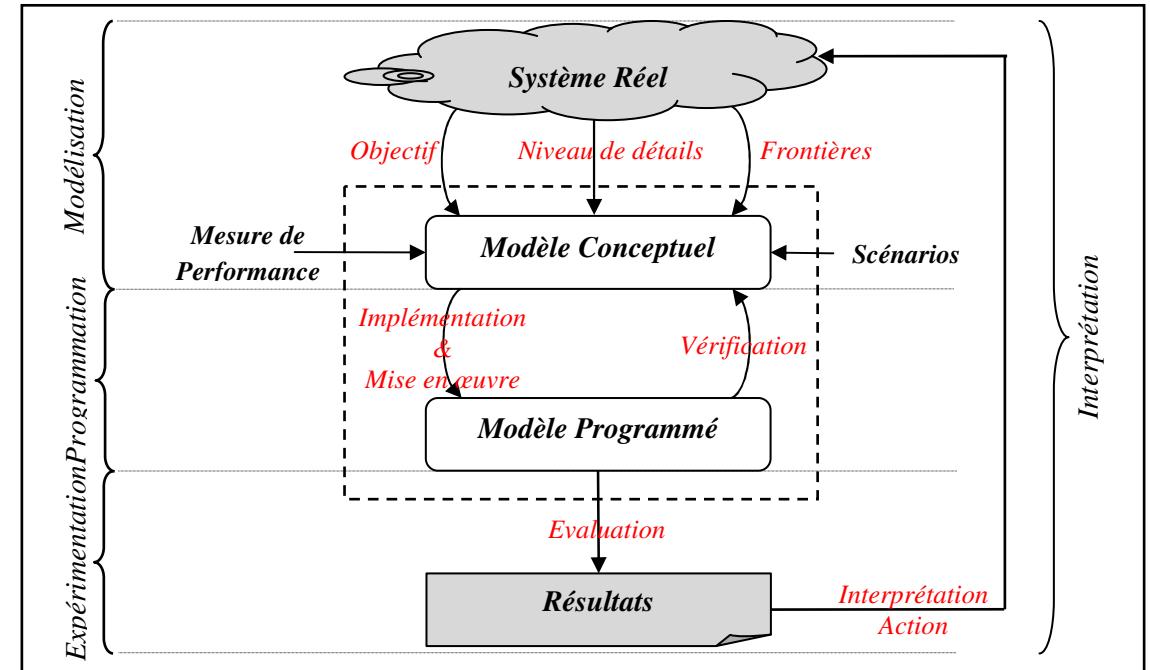
→ Les principaux avantages de manipuler un modèle plutôt que le système qu'il modélise sont:

- ✓ Un modèle évite la construction d'un système qui n'existe pas.
- ✓ Un modèle évite de faire des expérimentations directes sur un système existant (problèmes de sécurité, ou économiques, ou impossible : système solaire).

### 3. Modélisation et Modèle

#### 2-Processus de modélisation

- Le modèle conceptuel est une approximation mathématique ou logique du système réel.
- Le modèle programmé ou de simulation est la mise en œuvre du modèle conceptuel sur un calculateur.
- L'expérimentation consiste à construire des théories, ou hypothèses.
- Les renseignements sur le système réel sont obtenus à la suite d'expérimentations sur le modèle programmé.



Différents points doivent être abordés :

- Définir l'objectif de la modélisation.
- Définir le niveau de détails à incorporer dans le modèle.
- Définir les éléments du système et les interactions entre ces éléments.
- Définir les frontières du modèle et donc des variables internes, d'entrées et de sorties nécessaires.
- Définir la dynamique du système (comportement du système au cours du temps).

### 3. Modélisation et Modèle

#### 3-Classification des modèles

Il existe deux grandes classes de modèles

##### *Les modèles physiques*

- Sont ceux dans lesquels le système réel est représenté par une réplique ou une maquette, à une échelle différente et éventuellement à l'aide de matériaux différents.
- Ils sont utilisés à des fins d'entraînement : simulateurs de vol, de conduite, maquettes de véhicules pour des essais aérodynamiques en soufflerie, ...

##### *Les modèles symboliques ou analytiques*

- Sont des modèles abstraits définis par des relations mathématiques, logiques ou symboliques qui sont manipulées et changées pour voir comment le modèle du système réel réagit.
- Il est en général exécuté sur un ordinateur. C'est ce type de modèle qui sera utilisé dans la suite de ce cours.

Dans les modèles symboliques, un système est décrit par un ensemble de variables appelées **Variables d'État**, ces derniers permettent de décrire l'évolution (son état) du système à chaque instant.

### 3. Modélisation et Modèle

#### 3-Classification des modèles (suite...)

Selon la prise en compte du temps dans l'évolution des modèles, on distingue :

- **Modèles Statiques** : Les modèles statiques représentent les systèmes qui ne changent pas avec le temps, c'est-à-dire les variables d'état ne sont pas définies en fonction du temps.
- **Modèles Dynamiques** : Dans lesquels le temps est un facteur essentiel de l'évolution de l'état d'un système, c'est-à-dire ses variables d'état changent avec le temps. Selon la logique de changement d'état, les modèles dynamique sont de nature différente :
  - **Modèle Continu** : Lorsque le changement d'état du système est caractérisé par des paramètres dont la valeur évolue de façon continue dans le temps.
  - **Modèle Discret** : Dans ce type de modèles, les systèmes évoluent de manière discrète dans le temps.
  - **Modèle Combiné** : Des modèles qui contiennent à la fois des composantes discrètes et d'autres continues.

### 3. Modélisation et Modèle

#### 3-Classification des modèles (suite...)

Les modèles dynamiques peuvent être soit :

- **Modèles Déterministes** : Sont des modèles où l'état futur est connu à l'avance ou prévisible, c'est-à-dire à qu'il est facile de déterminer avec certitude l'état prochain à partir de l'état actuel (un seul état futur correspondant).
- **Modèles Stochastique** : Dans ces modèles, l'état prochain n'est pas connu avec certitude, il est donc imprévisible, le mécanisme de changement d'état est régi par les lois de probabilité. Donc, plusieurs états futurs sont candidats.

### 3. Modélisation et Modèle

#### 4-Outils de Modélisation

Pour décrire un système d'une manière compréhensible, il est nécessaire d'utiliser un langage de modélisation. Ces langages sont basés sur des formalismes permettant d'utiliser des règles et des contraintes facilitant le passage du système réel au modèle.

Parmi les outils de modélisation utilisés, on distingue :

- ↳ **Machines à états finis** : un outil abstrait de conceptualisation et de modélisation formelle basé sur la théorie des automates. Il est utilisé dans divers domaines où l'évolution du système est séquentielle.
- ↳ **Les StateChart** : Élargissement de l'outil classique Machine à états avec les notions de Hiérarchie, Parallélisme et diffusion.
- ↳ **Réseaux de Petri** : un outil graphique de modélisation formelle exprimant la concurrence, la synchronisation et le parallélisme des activités du système.
- ↳ **Processus Stochastique et Chaine de Markov** : Outils mathématiques permettant de décrire des systèmes dynamiques évoluant dans un environnement aléatoire.

## 4. Simulation

- La simulation est une méthode qui consiste à étudier le fonctionnement d'un système en imitant son fonctionnement au cours du temps en manipulant un modèle.
- La simulation est basée sur la génération d'un historique artificiel des changements d'état du système (une trajectoire d'état) et l'observation et l'analyse de cet historique pour faire des déductions sur ses caractéristiques de fonctionnement.
- La simulation est devenue incontournable et pratique permettant de modéliser aussi bien des systèmes à concevoir que des systèmes existants déjà pour analyser et valider des choix des solutions.
- Elle peut être utilisée pour:
  - ✓ Décrire et analyser la dynamique d'un système.
  - ✓ Répondre aux questions de type "*What If?*" (*Qu'est-ce qui se passe si ...*) sur le système réel.
  - ✓ Aider à la conception d'un système réel.

## 4. Simulation

### 1-Définition

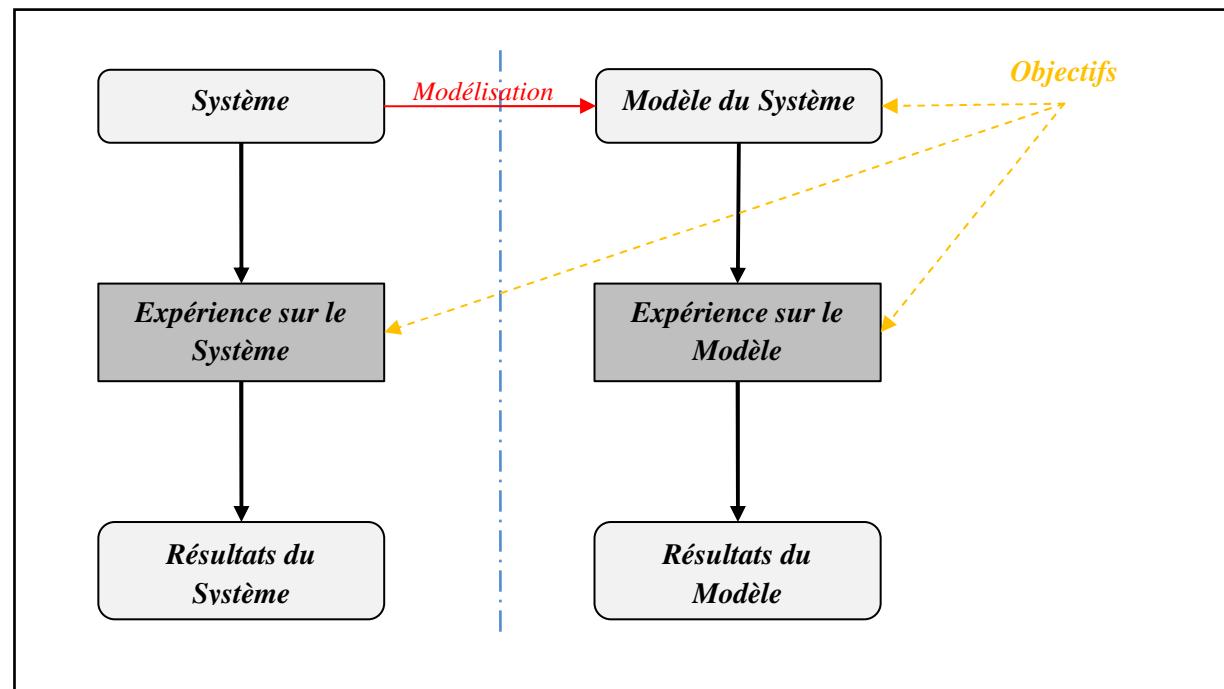
*" La simulation est l'étude du comportement dynamique d'un système, grâce à un modèle que l'on fait évoluer dans le temps en fonction de règles bien définies, à des fins de prédition ".*

À partir de cette définition, on peut dire que le terme de simulation est caractérisé par les mots clefs suivants :

- ↳ Basée sur un élément fondamental qui est le **modèle**.
- ↳ Le modèle est **manipulé** (sur ordinateur), cette manipulation fournissant des solutions.
- ↳ Les solutions trouvées sont celles du modèle et non du système modélisé.
- ↳ Son but est de choisir parmi les solutions celle qui semble être la meilleure.

## 4. Simulation

La simulation est une expérimentation indirecte car elle portée sur le modèle et non pas sur le système dont le but est de comparer plusieurs façons de procéder. Elle ne résout pas le problème posé en trouvant la bonne solution, mais elle aide seulement à prendre parmi plusieurs solutions la meilleure possible.



## 4. Simulation

### 2-Les langages de simulation

La programmation d'un modèle pour la simulation peut se faire dans un langage quelconque, on distingue :

- ↳ les *langages universels impératifs* ou procéduraux : Exemple : C, en lisp, en shell ou en PERL. La mise en œuvre peut être longue, par contre on dispose d'une grande flexibilité.
- ↳ les *langages déclaratifs* ou non procéduraux, Le plus connu de ces langages est PROLOG. On ne décrit pas les algorithmes à exécuter pour produire les résultats mais les objets et les relations entre eux.
- ↳ Utilisation des *Simulateurs* dédiés à un type de systèmes et un type de problème.
- ↳ les *langages spécifiques (les langages de simulation)* qui proposent des primitives de modélisation particulièrement adaptées à un type de domaine.

## 4. Simulation

### 3-Quand Simuler

La simulation est souvent caractérisée dans la littérature comme la méthode de dernier ressort. Ceci veut dire que si on a la possibilité de résoudre le problème posé avec des méthodes analytiques, il serait préférable de les utiliser car elles conduisent à des solutions *optimales*.

Le tableau ci-dessous présente la comparaison entre la simulation et les méthodes analytiques :

<i>Simulation</i>	<i>Méthodes Analytiques</i>
Résultats approximatifs	Résultats exacte si possible
Applique aux systèmes complexes	Pas toujours
Gourmande en temps de calcul	Peut couteuse en temps de calcul

Les résultats avec les formules analytiques ne sont pas toujours existants, mais s'ils existent ça sera exact, contrairement à la simulation qui donne des résultats approximatives.

## 4. Simulation

### 4-Limites (obstacles)

Malgré ses avantages, la simulation présente des inconvénients :

- ✗ *Coûteuse en termes de temps* : elle nécessite beaucoup de dépenses en temps pour la conception du modèles de simulation, la programmation, l'expérimentation et la validation.
- ✗ *Les résultats de simulation sont souvent complexes à interpréter* : les modèles utilisés pour étudier les systèmes à grande échelle ont tendance à être très compliqués, et l'analyse des résultats fournis par la simulation des ces modèles peut être une tâche difficile.
- ✗ *Non exhaustive* : en effet, la simulation n'est pas une technique d'optimisation de performance d'un système au sens propre. Elle peut seulement évaluer les performances d'une solution conçue et imaginée par l'utilisateur. Cette technique est entièrement itérative qui ne propose pas de solution finale optimale, mais qui permet seulement à l'utilisateur d'envisager des choix possibles. la simulation ne peut résoudre des problèmes mais seulement fournir des indications à partir desquelles des solutions approximatives peuvent être déduites.