



# Vérification et validation du modèle

# Vérification et validation du modèle

**Vérification:** Est-ce que le programme de simulation correspond vraiment au modèle? (notion de programme correct)

**Validation:** Est-ce que le modèle représente bien la réalité?

**Analyse** (ne pas confondre avec la vérification et la validation)

**des résultats:** "Estimation" (au sens large) de certains paramètres du modèle.

**Calibration:** Utiliser le modèle avec des données historiques à l'entrée et l'ajuster jusqu'à ce que les résultats produits correspondent aux résultats historiques.

Utiliser des données historiques **indépendantes** pour valider le modèle.

**But :** établir l'adéquation entre le modèle de simulation et le système réel.

# Vérification et validation du modèle



La construction d'un modèle de simulation exige plusieurs niveaux de modélisation (voir schéma).

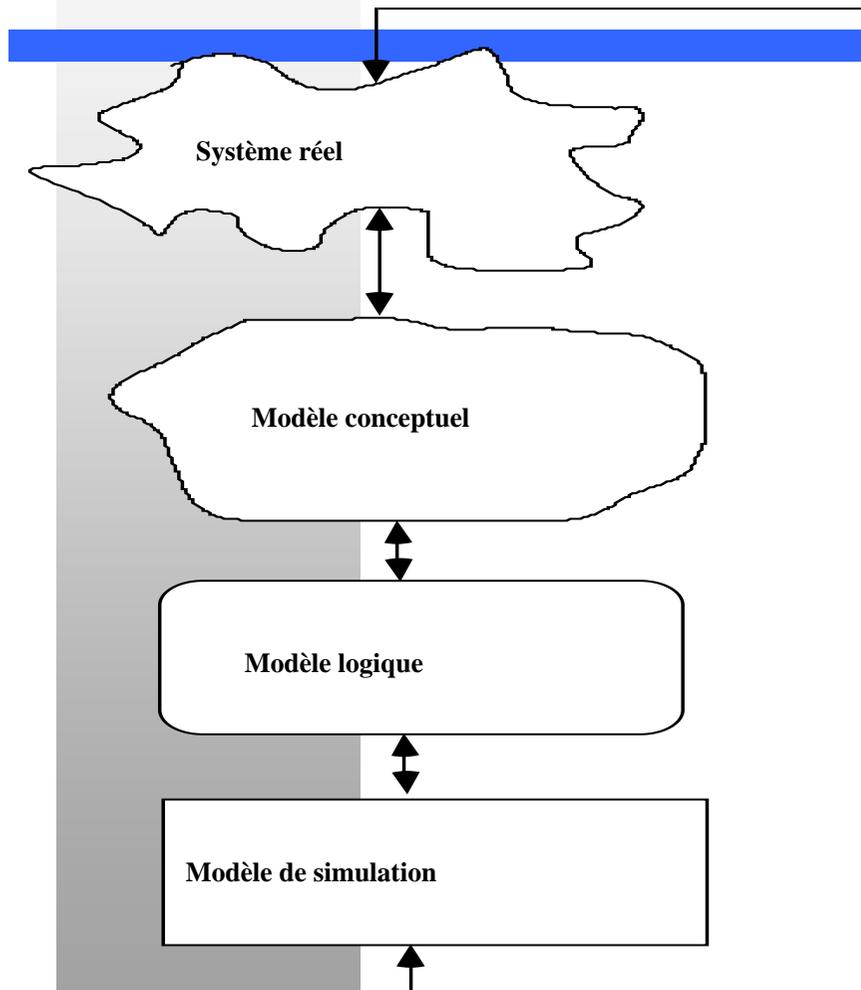


Le développement d'un modèle de simulation est un processus itératif.



La vérification et la validation d'un modèle de simulation est aussi un processus itératif.

# Construction d'un modèle de simulation



Vérification et validation du modèle

Le **modèle conceptuel** contient les éléments du système qui doivent être inclus dans notre modèle.

Le **modèle logique** contient les liens logiques entre les éléments du système, et les variables exogènes affectant le système.  
(diagramme ou organigramme)

Le **modèle de simulation** consiste à représenter le modèle logique à l'aide d'un langage tout-usage ou d'un langage spécialisé.

# Construction d'un modèle de simulation

**Notes:** Il existe une forte interrelation entre les modèles adjacents de même qu'entre le modèle conceptuel et le modèle de simulation.

- La validité n'est pas un terme binaire; on parle plutôt du **degré de validité**.
- Un modèle de simulation doit toujours être construit avec un objectif précis, pour répondre à un besoin précis.

Pour vérifier ou valider chacun de ces modèles, nous avons besoin d'établir un ensemble de critères, reliés à cet objectif.

- Mais qui appliquera ces critères pour évaluer ces modèles?  
Mais qui jugera jusqu'à quel point ces critères sont satisfaits?  
Idéalement, cela devrait être un travail d'équipe: gestionnaires, analystes en simulation, usagers du système réel, etc.

# Construction d'un modèle de simulation

Malheureusement, ce rôle est souvent dédié à l'analyste en simulation; il aura alors à convaincre les autres intervenants de la validité de ses conclusions.

- Une autre façon de juger de la validité du modèle est sa capacité à reproduire le comportement passé du système ou à prédire son comportement futur.
- Cette méthode peut être inappropriée dans certains cas ou tout simplement inapplicable pour évaluer le modèle.  
Un modèle de simulation peut exclure volontairement certains aspects du système qui ne sont pas liés à l'objectif poursuivi.
- Il n'existe pas d'ensemble universel de critères pour évaluer un modèle. Ils doivent refléter le but poursuivi par le modèle de simulation, i.e., les questions auxquelles doit répondre le modèle de simulation.

# Construction d'un modèle de simulation

- Les critères et les méthodes pour vérifier et valider un modèle de simulation doivent être déterminés très tôt dans un projet de simulation.
- Les objectifs et les critères peuvent changer lorsque notre compréhension du système s'accroît.
- Toutefois, ces critères doivent être appliqués systématiquement à chaque étape de la modélisation.

# Exemple

## Paiement des articles achetés dans un supermarché

- 1er étape: **déterminer les questions auxquelles le modèle de simulation doit tenter de répondre?**

Les gestionnaires et les usagers du système doivent élaborer ces questions. L'analyste en simulation doit jouer un rôle consultatif seulement.

Procéder autrement peut entraîner le développement d'un modèle inapproprié.

# Exemple

Questions envisagées:

- Quelle est la relation entre le nombre d'emballeurs et de caissiers vs le temps d'attente des clients dans une file?
- Quel est l'impact d'une ou plusieurs caisses rapides sur le temps d'attente des clients?
- Quel est l'impact de la situation où un emballeur est partagé par 2 ou plus de 2 caissiers sur le temps d'attente des clients?
- Quel est l'impact sur le temps d'attente des clients d'avoir des caissiers disponibles seulement lorsque le nombre de clients en attente le justifie?

# Exemple

## - 2e étape: Formulation du modèle conceptuel

Ces questions encore imprécises sont le point de départ de l'**élaboration du modèle conceptuel**.

Il s'agit d'identifier les éléments du système, les variables d'état, variables endogènes et exogènes, mesures de performance, relations, ... que nous incluons dans le modèle ainsi que les événements qui se produisent dans le système.

Les gestionnaires et les usagers du système doivent **valider le modèle** i.e. se demander si tous les éléments retenus du système permettent de répondre aux questions posées?

# Exemple

## - 3e étape: Développement du modèle logique

En élaborant le modèle logique, il arrive souvent de détecter des lacunes ou des erreurs dans le modèle conceptuel.

Le cas échéant, le modèle conceptuel révisé entraîne nécessairement la validation du modèle conceptuel révisé p/r au système réel.

La comparaison entre les modèles logique et conceptuel entraîne:

validation: Le modèle logique contient-il :

- tous les événements inclus dans le modèle conceptuel?
- toutes les relations du modèle conceptuel?

vérification: Les événements sont-ils correctement représentés?

Les formules mathématiques, les relations mathématiques et les mesures statistiques sont-elles formulées correctement?

# Exemple

- 4e étape: Programmation du modèle de simulation

- Lorsque la programmation du modèle de simulation est terminée, il s'agit de **vérifier que le programme est une implantation correcte du modèle logique.**
- Cette tâche revient exclusivement à l'analyste en simulation.
- Tous les aspects du modèle logique ont-ils été considérés?
- Les statistiques sont-elles calculées correctement?
- Des erreurs dans le code sont-elles présentes?

# Exemple

- 5e étape: Validation du programme de simulation p/r au système réel

Lorsque l'analyste en simulation est confiant (hors de tout doute) que le programme de simulation est une représentation correcte du modèle logique, nous devons valider le programme de simulation lequel doit être une représentation du système réel permettant de répondre précisément aux questions initialement posées.

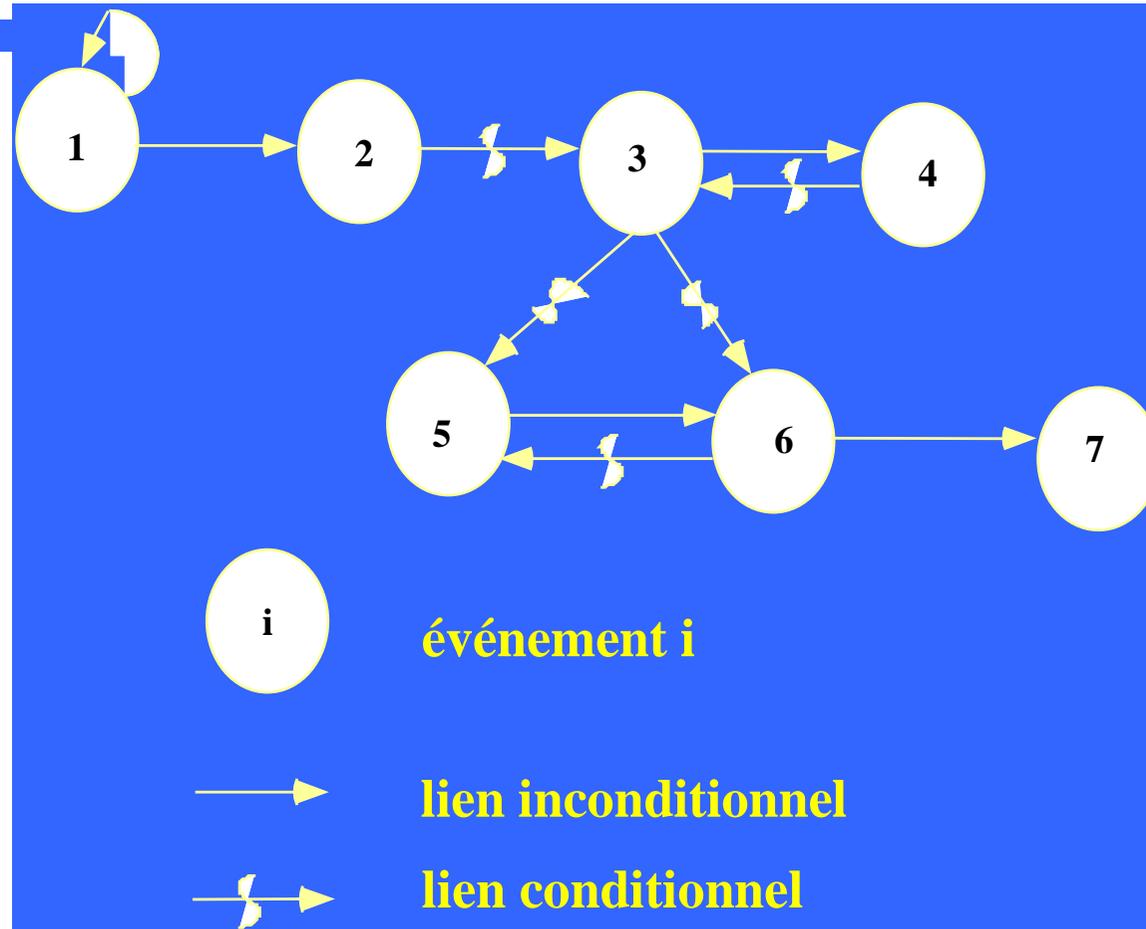
Les files, les temps d'attente des clients, le taux d'utilisation des caissiers et des emballeurs dans le modèle de simulation représentent bien ce qui se produit dans le système réel lorsque les variables de décision changent.

# Présentation de différentes méthodes de validation et vérification

## Validation du modèle conceptuel

- Cette validation consiste à évaluer la pertinence du modèle conceptuel pour répondre aux questions que l'on se pose sur le comportement du système. Les aspects du système qui ont été retenus sont-ils adéquats?
- Il n'existe pas de méthodes standards pour effectuer cette validation mais certaines approches se sont avérées utiles.
  - A) Représentation des événements du système.
    - Nous pouvons utiliser un graphe pour représenter les événements (sommets) et les liens de causalité entre les événements (arcs).
    - Les liens de causalité peuvent être soumis à des conditions i.e. un événement peut se produire seulement lorsqu'un ensemble de conditions est vérifié.

# Exemple



# Exemple

1. Un client arrive aux caisses.
2. Le client choisit un caissier.
3. Le caissier commence à servir le client.
4. Le caissier termine le service du client.
5. L'emballeur débute l'emballage des articles achetés.
6. L'emballeur termine le service du client.
7. Le client quitte le supermarché.

- Cette représentation graphique peut être un outil de communication très utile lors des rencontres avec les gestionnaires et les usagers du système.
- Les diagrammes de flot peuvent aussi être un outil très intéressant.

## B) Identification des éléments qui doivent être présents dans le modèle

- ⇒ Le modèle conceptuel ne peut pas inclure tous les détails et nuances.
- ⇒ Pour identifier les éléments du système qui doivent être présents, 2 stratégies complètement opposées peuvent être utilisées:
  - 1) Inclure tous les aspects du système qui peuvent avoir un effet sur son comportement et simplifier le modèle au fur et à mesure que les éléments pertinents du système se précisent.
  - 2) Débuter avec un modèle simple du système.  
  
Augmenter la complexité du modèle dès que des éléments additionnels s'avèrent nécessaires pour répondre aux questions posées.
- ⇒ Une approche intermédiaire plus souhaitable consiste à identifier en équipe les éléments du système qui auront un impact significatif sur les réponses aux questions posées.

# Exemple

Appliquons cette approche à notre exemple:

**événements:**

- les 7 événements décrits précédemment.

**ressources:**

- les caissiers
- les emballeurs

**variables d'état:**

- Nombre de clients en attente à chaque caisse.
- état des caissiers (occupé ou disponible).
- état des emballeurs (occupé ou disponible).

# Exemple

## mesures de performance:

- Temps d'attente des clients.
- Taux d'utilisation des caissiers.
- Taux d'utilisation des emballeurs.

## variables de décision:

- Nombre de caissiers.
- Nombre d'emballeurs.
- Nombre de caisses rapides.
- # max. d'items permis pour avoir accès à une caisse rapide.

## conditions d'opération:

- Un client sélectionne toujours la file la plus courte.
- Un client ne change pas de caissier en cours de route.
- Les caissiers ne surpassent pas trop les emballeurs en rapidité.

# Exemple

## Aspects du système non retenus dans le modèle:

- Manigance entre les caissiers.
- Non conformité avec les conditions d'opération des caisses rapides
- Arrivées en masse de clients.
- Bris d'équipement.
- Absence de caissiers et/ou d'emballeurs.

# Validation et vérification du modèle logique

## Gestion des événements:

- tous les événements du modèle conceptuel doivent être présents;
- la cédule des prochains événements doit être correct;
- les liens de causalité entre les événements sont respectés;
- une méthode pour vérifier et valider la gestion des événements dans le cadre du modèle logique exige du concepteur du modèle d'expliquer aux autres intervenants du projet la logique du modèle.

Cette démarche permet souvent de détecter des erreurs dans le modèle logique. Ces erreurs sont détectées soit par le concepteur du modèle ou par les autres intervenants.

# Validation et vérification du modèle logique

## Vérification des formules et relations mathématiques:

- Un cas simple est la vérification des lois de conservation.

ex.: #clients servis = #clients arrivés - #clients en attente  
- #clients en service.

# Validation et vérification du modèle logique

## Vérification des statistiques et des mesures de performance:

Une erreur souvent rencontrée est l'oubli de mettre à jour les statistiques et mesures de performance à chaque occurrence d'événement.

Pour vérifier si ces mises à jour sont effectuées correctement, on utilise le graphe d'événement. Il s'agit d'associer à chaque événement une liste complète de toutes les statistiques et/ou mesures qui sont susceptibles de changer lors d'une occurrence d'événement.

Dans certains langages de simulation (GPSS, SIMSCRIPT), certaines mesures statistiques sont recueillies automatiquement.

Cela réduit les erreurs possibles.

# Vérification du programme de simulation

Afin de montrer que le programme de simulation est une implantation correcte du modèle logique, plusieurs méthodes sont proposées:

1. **Méthodes de programmation structurées.**  
(Approche "TOP-DOWN", modularité, modules compacts, structures de contrôle de haut niveau).
2. **Impression d'une trace du programme de simulation.**  
Imprimer une trace pour au moins quelques exécutions.  
  
Utiliser différents jeux d'essais: des données pour lesquelles on sait ce qui va se passer, des données bizarres, etc.
3. **Tests des modules du programme selon une approche "TOP-DOWN" ou "BOTTOM-UP".**

# Vérification du programme de simulation

4. Vérifier si certaines relations ou lois de conservation sont toujours satisfaites en cours d'exécution du programme.
5. Exécuter le simulateur dans le cas d'un modèle simplifié et/ou analytique, pour lequel on connaît les résultats théoriques.
6. Lire le programme en groupe (2 à 4) et s'assurer que chacun est convaincu que chaque énoncé est correct.
7. Visualiser graphiquement l'exécution d'un programme de simulation en temps réel.

# Validation du programme de simulation p/r au système

1. **Comparaison des résultats du modèle avec le comportement du système**
  - le plus souvent utilisé;
  - Cette comparaison est souvent basée sur un test statistique: test (t Student) sur l'égalité des moyennes d'une mesure de performance selon le modèle de simulation et selon le système.
  - Toutefois, l'analyse statistique des résultats d'une simulation n'est pas chose facile.
  - Certains aspects du système n'ayant pas été considérés, l'impact que cela peut avoir sur la comparaison des résultats est souvent difficile à contrôler.
  - Pour effectuer une comparaison des résultats du modèle avec le comportement du système, des données sur le comportement du système doivent être disponibles; en particulier, le système doit exister sinon, cette approche est inapplicable.

# Validation du programme de simulation p/r au système

## 2. La méthode Delphi

- utilisé lorsque peu ou pas de données sur le système sont disponibles;
- cette méthode consiste à former un panel (groupe d'experts) qui doit arriver à un consensus face aux questions qui leur sont posées; il s'agit de prédire le comportement du système.
- ce panel est formé de gestionnaires et/ou d'utilisateurs;
- les questions touchent le comportement ou la performance du système sous certaines conditions d'opération.
- cette méthode exclut une discussion en groupe. Le panel est consulté plusieurs fois à l'aide de questionnaires individuels. L'élaboration d'un questionnaire dépend du précédent.
- Cette méthode est souvent très coûteuse mais tout est relatif.

# Validation du programme de simulation p/r au système

## 3.

### Le test de Turing

- Les experts peuvent-ils distinguer entre les résultats fournis par le simulateur et les caractéristiques propres au système réel? Si oui, le modèle devient de plus en plus crédible.
- A l'inverse de la méthode de Delphi, on demande de reconnaître le modèle du système.

# Validation du programme de simulation p/r au système

## 4. Comportement du modèle à des conditions extrêmes

- Il s'agit d'observer le comportement du système soumis à des conditions extrêmes.
- Ceci peut être une façon simple de recueillir des données qui caractérisent le système pour les comparer aux données correspondantes du modèle.
- Ceci peut être une façon simple de la part des gestionnaires ou des utilisateurs du système de prédire le comportement du système soumis à des conditions extrêmes.