

# La simulation de flux

Qu'est-ce que la simulation?

A quoi ça sert?

Quand utiliser la simulation?

Étapes d'une étude de simulation  
Pièges à éviter et limitations

### Modélisation

Processus consistant à concevoir un modèle d'un système réel et de mener des expériences avec ce modèle dans le but de comprendre le comportement du système et d'évaluer diverses stratégies opératoires

### Simulation dynamique

Reproduit événement par événement, à une échelle réduite, l'évolution dans le temps d'un système dans le but d'étudier son comportement dynamique

Le principal intérêt est de pouvoir travailler sur un système de production virtuel, dont le comportement peut être très proche du système réel, à moindre coût et sans aucun risque.

**La simulation un outil  
d'aide à la décision**

La simulation est principalement utilisée pour étudier les flux physiques (pièces, matières, outils, etc...) et informationnels (Ordres de Fabrications, Kanban, etc... ) d'une production et les disponibilités des ressources (opérateurs, machines, convoyeurs, etc.).

Elle ne permet pas de trouver directement et de façon optimale des solutions à des problèmes de production. On l'utilise pour évaluer et comparer des scénarios possibles.

On peut l'assimiler à une simple boîte noire qui réagit aux consignes qu'on lui donne (variables d'entrée), mais incapable, seule, de déterminer la valeur optimale de ces consignes.

Ses capacités d'imitation et de prédiction permettent d'obtenir des renseignements sur les conséquences de changements ou de modifications dans l'atelier (au niveau physique ou décisionnel), avant que ceux-ci ne soient effectués.

Les modèles de simulation sont capables de décrire le système avec le degré de détail et de précision nécessaire qui convient à la résolution du problème posé. Cette description inclut la partie physique de l'atelier , mais aussi le système de pilotage (gestion de production).

### Types de simulations

La simulation de flux se classe dans les modèles logico-mathématiques ou symboliques. Il existe plusieurs types de simulation de flux :

- Statique ou dynamique
- A événements discrets ou continus ou combinés
- Stochastique ou déterministe

### Statiques ou dynamiques

Les modèles statiques, pour lesquels le temps n'intervient pas.

Exemple : Règle de 3, modèle comptable permettant de calculer le bénéfice en fin d'année à l'aide d'un tableur.

Les modèles dynamiques, pour lesquels le comportement est une fonction du temps.

Exemple : système de production dans une usine.

### événements discrets ou continus

Les modèles à événements discrets (ou discontinus) dans lesquels les changements d'état ne surviennent que lors d'événements tels le début ou la fin d'une opération, la mise en attente d'une pièce dans un stock, la libération d'une ressource, ...

Dans une simulation à événements discrets, les flux essentiels que l'on examine sont composés d'éléments isolables que l'on peut dénombrer et identifier individuellement.

Ces éléments sont couramment appelés "Entités" ou "Articles"

Les modèles continus, plus adaptés aux flux continus, qui utilisent des équations mathématiques pour prendre en compte les changements d'état qui s'effectuent de façon continue au cours du temps. Les valeurs des variables d'état sont recalculées régulièrement selon un pas d'horloge d'après ces équations.

Exemple : un réacteur chimique.

Les modèles combinés (ou mixtes), qui intègrent les deux aspects.

Exemple : industrie métallurgique, agro-alimentaire, chimique allant jusqu'au packaging

### Stochastique ou déterministe

Les pannes sont l'aléa le plus courant et à l'origine des logiciels de simulation.

Les logiciels de simulation possèdent des générateurs de nombres aléatoires via des algorithmes ou série mathématique (germes).

- Un aléa de type déterministe reproduit toujours les mêmes nombres aléatoires. Les germes restent constant à chaque nouveau scénario. C'est ce type d'aléa utilisé dans les logiciels de simulation car il est très important pour la mise au point et le débogage. L'aléa devient reproductible, les résultats de deux simulations sont comparables.
- Un aléa de type stochastique fait changer le germe à chaque nouveau scénario (Exemple les jeux vidéos récents)

Il convient de faire une analyse de sensibilité à l'aléa et faire des réplifications en cas de forte sensibilité.

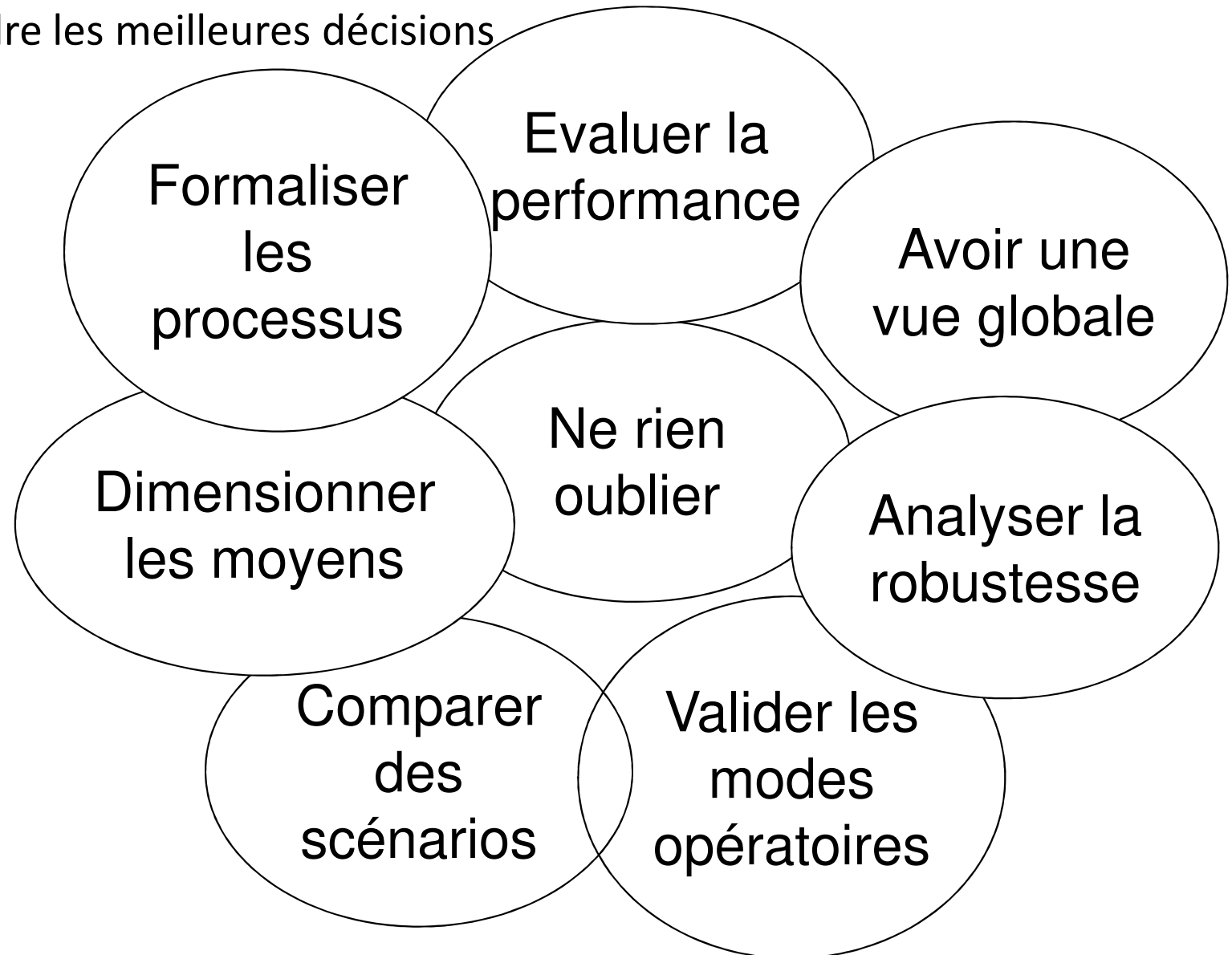
**Simuler** pour mieux expérimenter

**Expérimenter** pour mieux comprendre

**Comprendre** pour prendre les meilleures décisions

**Intérêt de la simulation**

SIMULER aide à :



### Pourquoi fait-on une simulation?

La simulation peut aider à répondre à des questions telles que:

- *où faire porter les efforts?*  
améliorer la technologie, modifier l'organisation, modifier la gestion de production, etc.
- *quelles solutions adopter?*  
modes de fonctionnement, tailles de stock, etc.
- *quelle sera la rentabilité d'un nouveau projet? quel sera l'impact sur l'atelier existant de la mise en place de nouveaux dispositifs?*
- *que se passera-t-il si l'atelier est soumis à des perturbations?*  
pannes longues, absentéisme, variations de la demande commerciale, etc.

La simulation permet d'évaluer les conséquences d'une décision avant qu'elle soit prise, éventuellement avant que le système existe. Par expérimentation sur un modèle, on teste différents scénarios pour les comparer ou effectuer des prédictions.



**Simulation ou approches mathématiques/analytiques?**

Le coût de la simulation est relativement élevé (temps, licence, matériel, formation, etc.). La simulation ne doit donc intervenir que lorsque les approches analytiques plus simples ne permettent pas de trancher. (enjeu en balance)



Les phénomènes **aléatoires** sont modélisés à l'aide de loi **statistiques**.

Capacité du stock	Productivité
0	?
Infinie	?
5	?

**En phase de conception ou pour améliorer**

La simulation en phase de conception devrait intervenir au plus tôt dans un projet. En pratique, elle intervient parfois trop tard et pour valider des investissements déjà lancés. La simulation est aussi souvent utilisée pour l'amélioration de systèmes existant.

## Outil de communication et formation

### Communication

- Réalité virtuelle
- Modèles faciles à comprendre et donc à utiliser comme moyen de communication
- Outil de dialogue et de formalisation

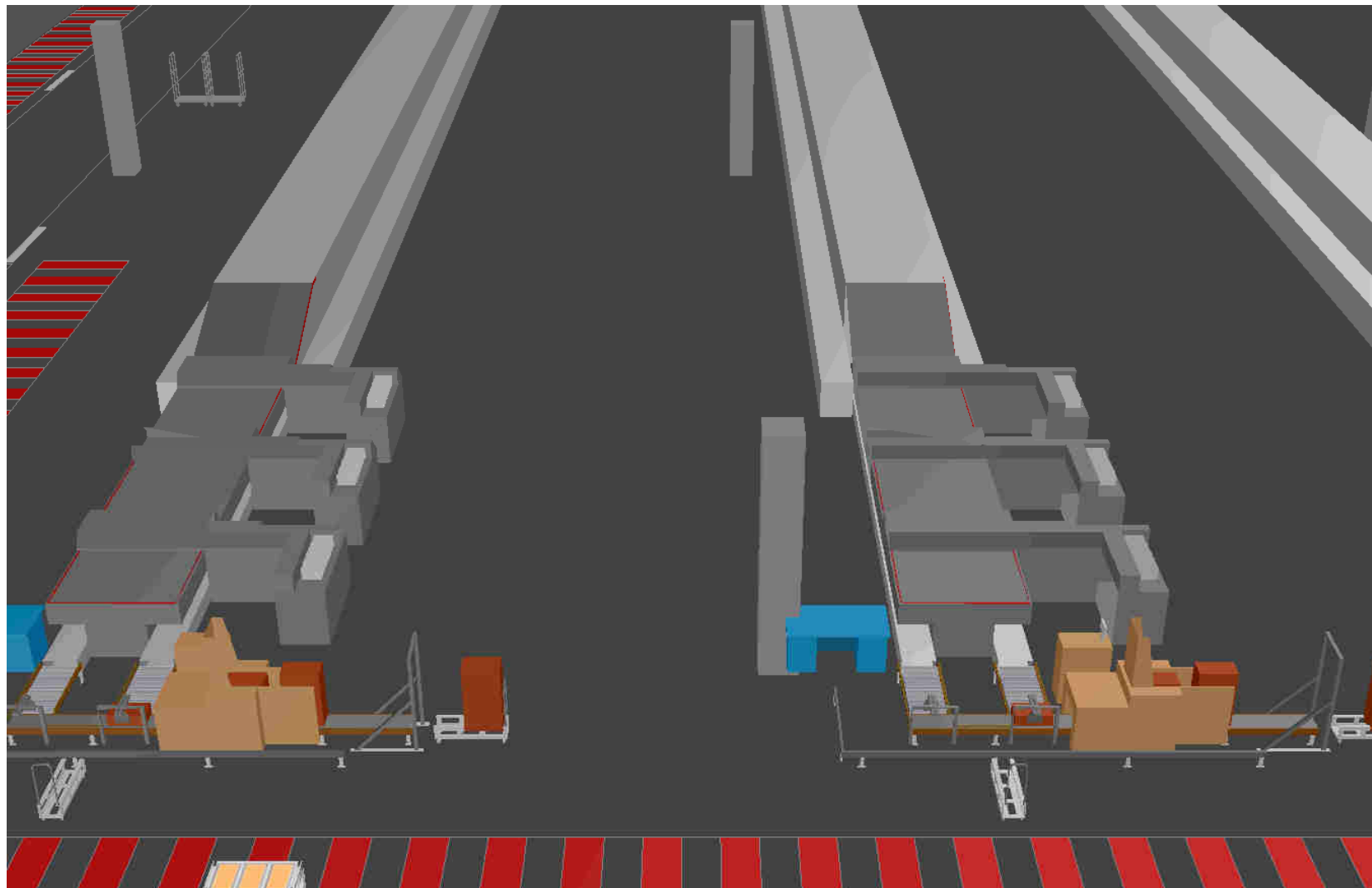
### Formation

Exemples les plus connus: simulateurs de vol, de combat...

Dès qu'il existe un **risque** (intégrité physique, financier, etc.), la simulation peut être utilisée dans un but d'**apprentissage** par le **test** de raisonnements, attitudes, décisions et l'étude de leurs conséquences (apprentissage par l'erreur).

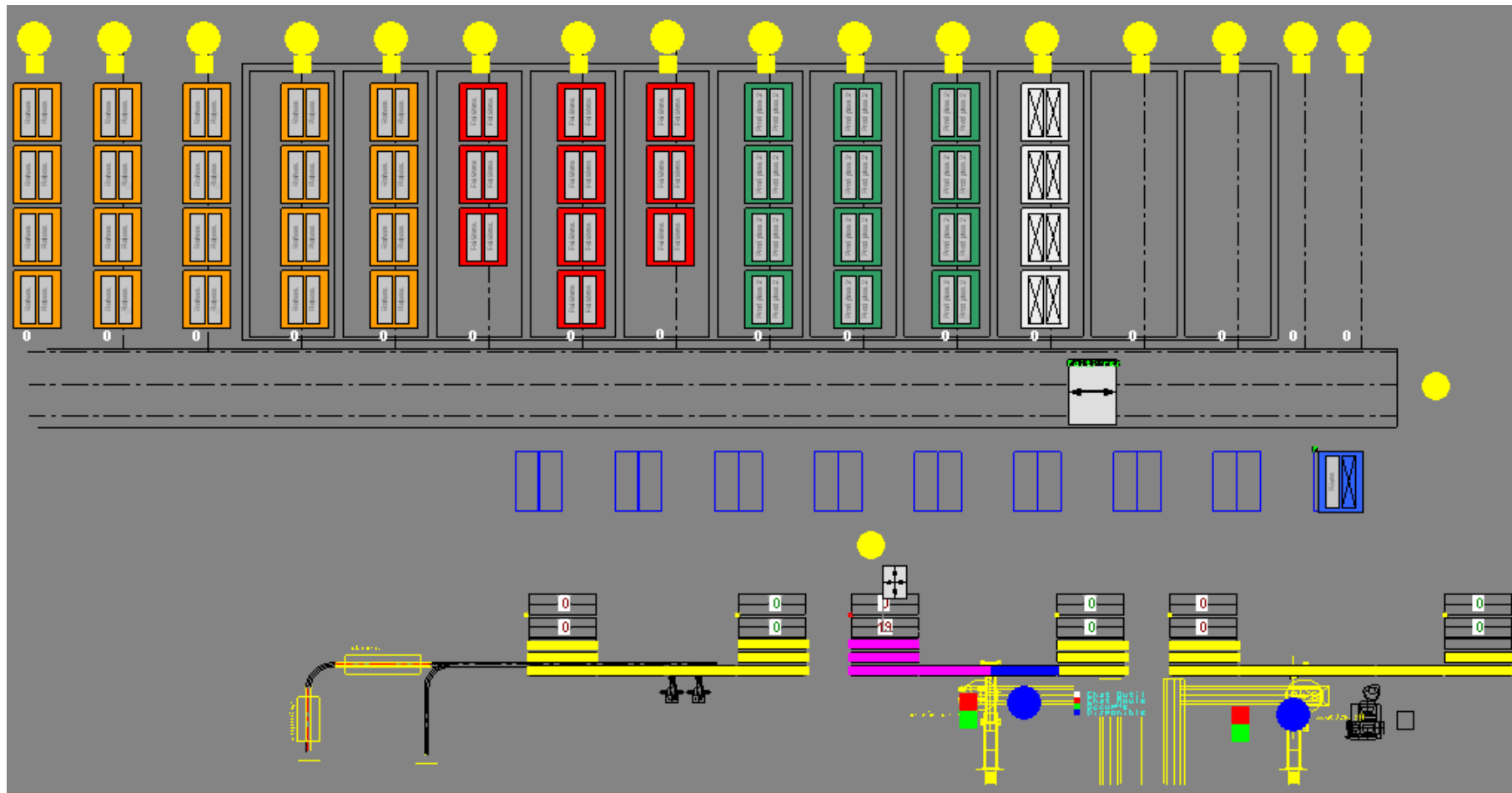
A quoi ça sert?

## Outil de communication



A quoi ça sert?

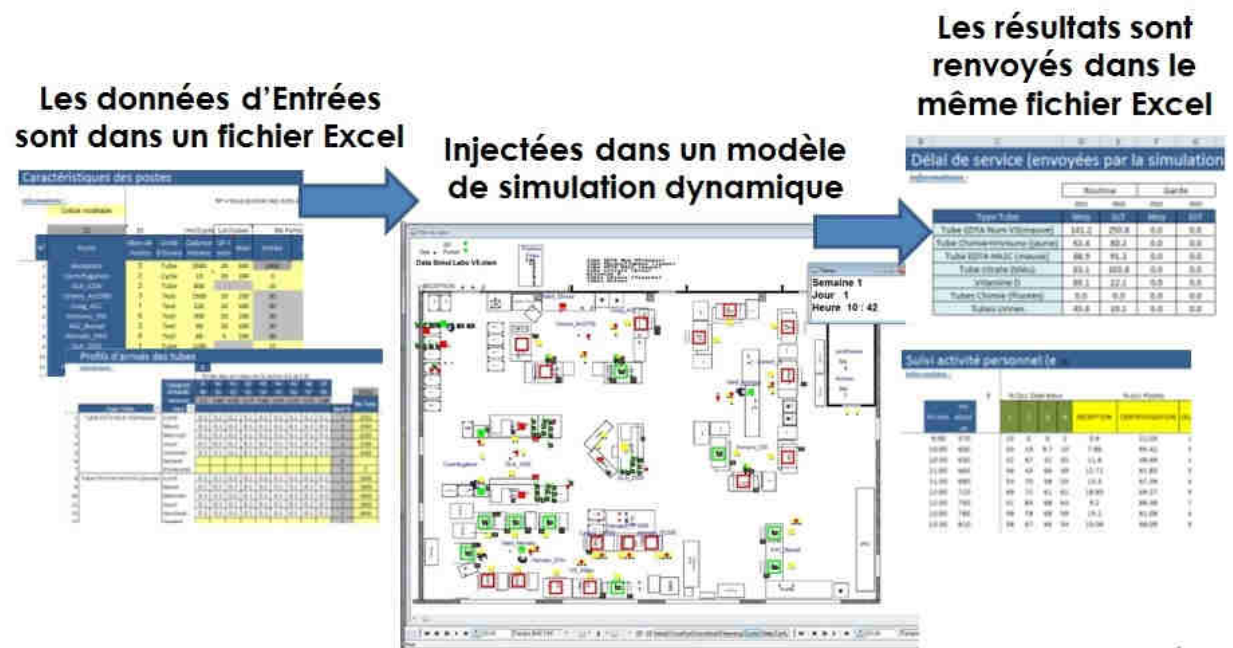
# Formation



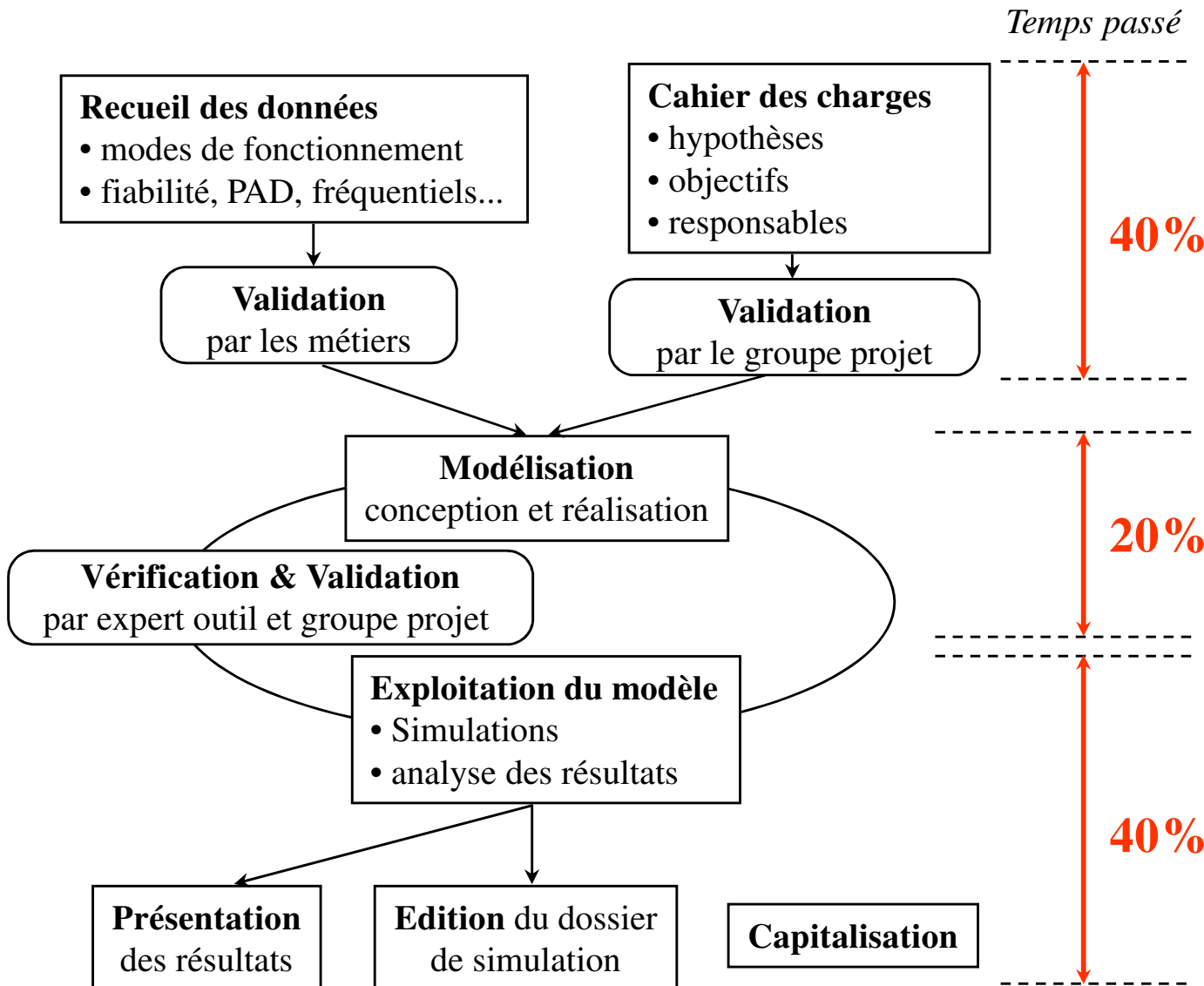
# Qu'est-ce que la simulation? Quelques exemples...

Nous allons montrer quelques :

- Exemples anciens depuis un autre diaporama
- Projets récents depuis Excel et Witness présentant la notion d'application simulation et de modèle générique :
  - Interface Excel entrées/sorties
  - Auto construction



# Etapes d'une étude par simulation



La tentation est souvent grande de se concentrer sur la réalisation du modèle alors que ce sont les étapes en amont et aval qui constituent la véritable valeur ajoutée de la simulation.

### Objet

Identifier les objectifs et le périmètre de l'étude, les différentes solutions à étudier, les indicateurs de performance à utiliser, etc.

### Risques d'erreur

- Se lancer dans la modélisation sans CdC
- Préconiser une étude de simulation alors qu'une simple calculatrice suffit
- Utiliser des hypothèses trop simplificatrices (ex: raisonnement sur des moyennes)

### Validation

Le CdC est un *contrat* entre le demandeur et le réalisateur.

Cette phase conditionne tout le reste de l'étude.

Sans cela, les conclusions de l'étude pourront toujours être réfutées et l'étude risque de traîner en longueur.

### Objet

Collecter l'ensemble des données nécessaires à la réalisation du modèle. Les seules inconnues restantes doivent être les paramètres à optimiser. Cette étape est la plus fastidieuse de l'étude et peut nécessiter un travail de terrain.

### Risques d'erreur

- Données erronées. ex: utiliser des **objectifs de fiabilité** jamais atteints dans la réalité...
- Données peu précises. ex: faire des **approximations** grossières sur les lois de pannes pour estimer une capacité atelier à une pièce près...

### Validation

Le demandeur de l'étude et/ou l'exploitant concerné doivent s'engager sur les données qu'ils fournissent.

**Il peut être souhaitable de conclure à l'inutilité d'une simulation à l'issue du CdC ou du recueil de données.**



## Objet

- Faire un modèle conceptuel du système (suivant le type de question posée, on peut avoir des modèles différents d'un même atelier).
- Traduire le modèle conceptuel dans le langage propre au logiciel utilisé

## Risques d'erreur

Peu de risque; uniquement liés à une mauvaise connaissance du logiciel ou de la simulation en général.

## Validation

- Vérification par un expert du logiciel («débogage»)
- Validation par le simulateur (tests)
- Validation du fonctionnement par l'équipe projet et/ou l'exploitant (conformité avec CdC et données)

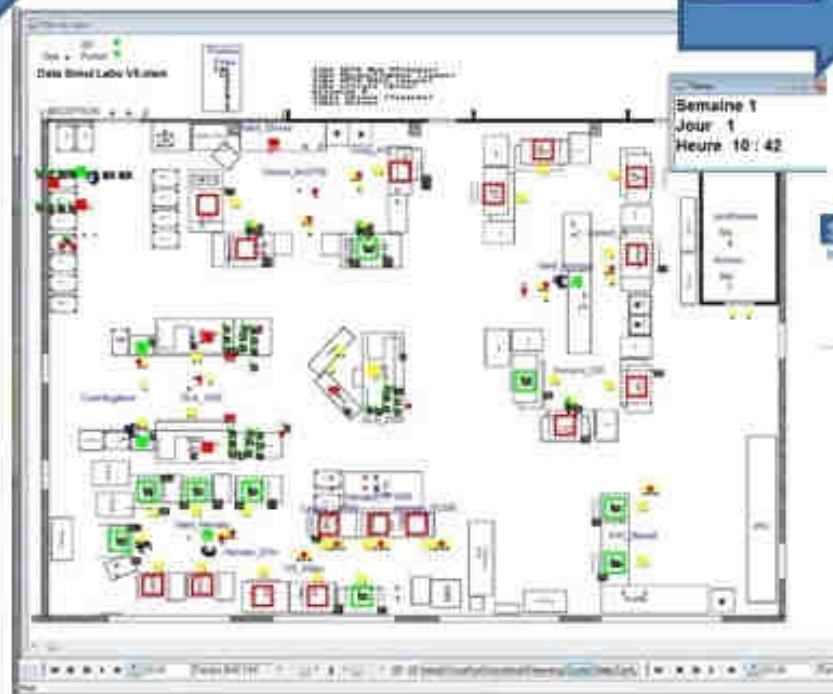
Représentation graphique, schémas de flux, menus contextuels, interface Excel...  
La réalisation du modèle est la partie la plus « ludique » de l'étude...

Les données d'Entrées  
sont dans un fichier Excel

Caractéristiques des postes

Profil d'armes des tubes

Injectées dans un modèle  
de simulation dynamique



Les résultats sont  
renvoyés dans le  
même fichier Excel

Délai de service (envoyées par la simulation)

Type Tube	Min	Max	Moy	Std
Tube (DNA Neure Vitamine)	143.2	250.8	0.0	0.0
Tube Chromatographie (journal)	63.8	80.2	0.0	0.0
Tube (DNA HMC (nouveau))	66.5	91.3	0.0	0.0
Tube (DNA (DNA))	93.1	103.8	0.0	0.0
Vitamine (D)	99.1	122.1	0.0	0.0
Tube Chroma (Hacking)	0.0	0.0	0.0	0.0
Tube (DNA)	40.8	50.2	0.0	0.0

Suivi activité personnel (e)

Personnel	Activité	Statut	Heure	Statut
0000	000	00	00	00
0000	000	00	00	00
0000	000	00	00	00
0000	000	00	00	00
0000	000	00	00	00
0000	000	00	00	00
0000	000	00	00	00
0000	000	00	00	00
0000	000	00	00	00
0000	000	00	00	00

## Objet

- Simuler les différents scénarios définis dans le CdC afin de récolter toutes les informations chiffrées utiles (plans d'expériences).
- Analyser les résultats connaissant le modèle, les hypothèses et le système réel.
- En déduire éventuellement de nouveaux scénarios à tester.

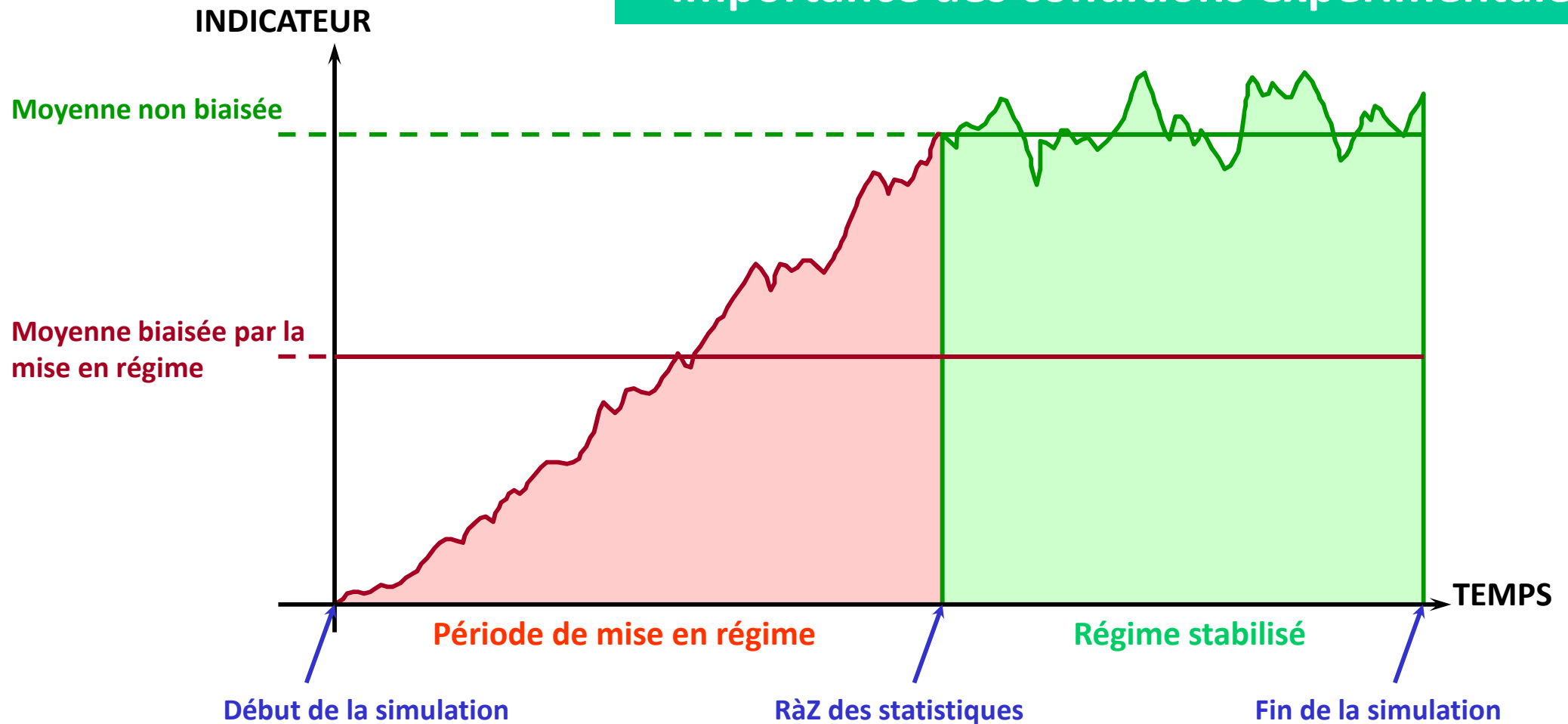
## Risques d'erreur

- Choisir des **conditions expérimentales** qui biaisent les résultats (durée de simulation trop courte, nombres aléatoires mal utilisés, etc.)
- Négliger l'**incertitude** sur les résultats de simulation (données incertaines, stochasticité, etc.)

## Validation

Le simulateur doit valider les résultats de ses modèles soit sur des cas simplifiés, soit sur le terrain (si possible).

## Importance des conditions expérimentales



Ne pas tenir compte de la **montée en régime** de la simulation biaise les résultats... particulièrement si la durée de simulation est courte.

**Solutions:** simuler sur une durée très longue pour minimiser l'effet de la mise en régime et / ou réinitialiser les statistiques après une période de mise en régime.

Au moment où l'on lance une simulation (à  $T = 0$ ), le modèle est vide et ne contient aucun article.

Deux types d'expérimentation peuvent être programmés :

- Expérimentation à Horizon Fini ou Terminatif : Dans ce cas, la simulation s'exécute jusqu'à ce qu'une condition soit vérifiée. Par exemple un atelier qui fonctionne jusqu'à ce que tous les articles aient été traités. Au début de la simulation, l'atelier est vide, tout comme à la fin de la simulation.
- Expérimentation à Horizon infini ou à Régime Stabilisé : dans ce type d'expérimentation, on désire étudier le comportement de l'atelier uniquement en régime stabilisé. Il faut donc neutraliser la période de montée en régime. Il s'agit de trouver une durée de simulation suffisamment significative pour laisser au système le temps de se stabiliser.

Aucune méthode analytique n'a été trouvée dans la littérature pour déterminer la durée de la période de montée en régime.

En pratique, pour la déterminer, les experts de la simulation recommandent de mesurer le niveau total d'encours dans le modèle ou le flux sortant (en article/unité de temps).

## Objet

- Présenter les résultats en rappelant les hypothèses de modélisation (pas de manque appro, pas de saturation aval, disponibilité totale des opérateurs, etc.).
- Réaliser le rapport de fin de simulation.
- Assurer la transmission du modèle.

## Risques d'erreur

- Confondre la performance d'un système simulé en isolation avec celle du système réel dans son environnement
- Se contenter d'annoncer des résultats moyens
  - il faut montrer des *intervalles de confiance* ou la *distribution* des valeurs observées.

**La simulation n'est pas une science exacte; elle donne un ordre de grandeur (rappel: incertitude sur les résultats).**

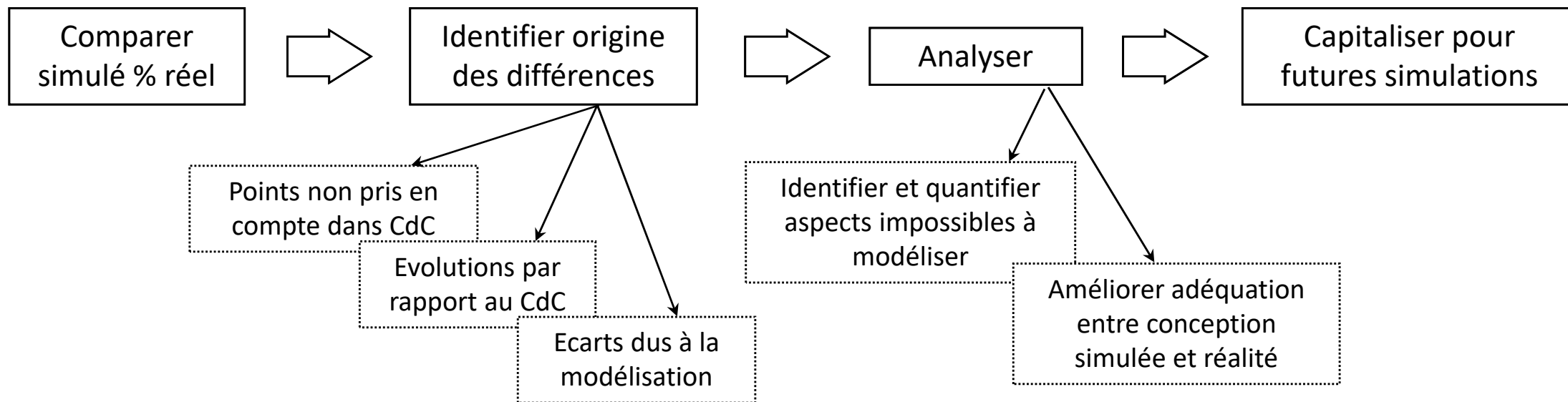
Elle est particulièrement utile pour **comparer** des solutions concurrentes.

Le «dossier simulation» doit être constitué tout au long de l'étude. Or les hypothèses et données évoluent au cours du temps.

- difficulté à interpréter et présenter les résultats
- quelle est la part de ce qui a été réellement utile?

## Capitalisation de l'expérience

La capitalisation ne doit pas s'arrêter dès que le rapport de simulation est rendu. Il faudrait faire un bilan à l'issue du projet...



## Logiciel

Arena  
AnyLogic  
Automod  
Crystal Ball  
EmPlant  
Enterprise Dynamics  
Extend  
Flexsim  
Microsaint Sharp  
Promodel  
Simio  
Simul8  
Quest  
Vensim  
Witness

## Editeur

Rockwell Automation  
XJ Technologies  
Brooks – PRI Automation  
Decisioneering  
Tecnomatix (Siemens)  
InControl  
Imagine That  
Flexsim Software Product  
Micro Analysis & Design  
Promodel Corporation  
Simio LLC  
Simul8 Corporation  
Delmia (Dassault Systems)  
Ventana Systems  
Lanner



## Simulation =

- Tests sur modèle au lieu de « grandeur nature »
- Compression du temps simulé; ex: 10mn de simulation = 1 année de production

## Rigueur nécessaire

- Définition des objectifs
- Description des données d'entrée
- Description du processus

## Activité de spécialiste

- Nombreux risques d'erreur
- Expertise spécifique nécessaire pour modéliser et mener les expériences

## Démocratisation

- Formations en écoles d'ingénieurs, IUT, entreprises, etc.
- Amélioration de l'ergonomie des outils de modélisation

## Ce que la simulation ne peut pas faire (seule)

Elle ne peut pas optimiser la performance d'un système. Elle peut seulement donner des réponses à des questions du genre : " Qu'est-ce qui se passe t'il si... ?«

Elle ne peut résoudre des problèmes mais seulement fournir des indications à partir desquelles des solutions peuvent être déduites.

Elle ne peut donner des résultats justes si les données sont imprécises.

Les outils de simulation permettent toujours d'obtenir un résultat, mais n'apportent rien quant à sa validité par rapport au système réel que l'on simule.

Elle ne peut décrire les caractéristiques d'un système qui n'a pas été complètement modélisé.

Pour plus d'information

<http://www.nsconseil.fr>

**Bruno STRADY**

Ingénieur Simulation / Associé NS Conseil

NS Conseil

92320 Chatillon

Tel: +33 (0)9 80 49 68 75

Email: [bstrady@nsconseil.fr](mailto:bstrady@nsconseil.fr)