

Intitulé du Master : Techniques de production industrielle

Semestre : 3

Intitulé de l'UE : Méthodologie 3.2

Intitulé de la matière : Simulation des procédés de fabrication

Crédits : 2

Coefficients : 1

Objectifs de l'enseignement : *La simulation de flux d'une production industrielle est un outil informatique qui est de plus en plus utilisé par les industriels et par les chercheurs. Ce module permet de justifier l'utilisation de l'outil informatique. Au cours d'une production industrielle, la collecte de données peut présenter non seulement des difficultés au niveau du mesurage mais aussi certaines imprécisions. Pour réduire, voire même supprimer ces problèmes, ce module est proposé.*

Connaissances préalables recommandées : *Principe de simulation, notions algorithmiques, ligne de production.*

Contenu de la matière :

I Introduction générale

II Définition

II-1 Définition de la simulation de flux ;

II-2 Classification des modèles de simulation ;

II-3 Terminologie utilisée en simulation ;

III Limites et objectifs de la simulation

III-1 Ce que la simulation peut faire ;

III-2 Ce que la simulation ne peut pas faire (seule) ;

IV Méthodologie de conduite d'une simulation

V Analyse des problèmes

VI Quelques TP utilisant la simulation et expérimentations sur un modèle

VII Rapport et conclusions

Mode d'évaluation : *Contrôle continu : 100%*

Introduction

Dans cette partie on va présenter et justifier l'utilisation d'un outil informatique permettant de simuler le comportement dynamique de la ligne expérimentale. Bien que l'on dispose du système réel, en grandeur nature, des expérimentations, mêmes simples, entraînent des temps de réponse qui peuvent s'avérer importants. De plus, la collecte de données peut présenter non seulement des difficultés au niveau du mesurage, mais aussi certaines imprécisions. Pour réduire, voire même supprimer ces problèmes, deux possibilités sont offertes :

- une modélisation mathématique,
- une modélisation simulatrice.

C'est la deuxième possibilité qui est utilisée. On peut justifier ce choix par le fait que le modèle de simulation peut reproduire très précisément le comportement d'un atelier de production et est utilisé comme une expérience virtuelle. Il ne fournit pas directement une solution analytique au problème posé. Dans cette partie, et pour l'ensemble de ce travail, il est sous-entendu que la simulation dont on parle est à événements discrets.

Il faut aussi rappeler que la simulation de flux est un outil informatique qui est de plus en plus utilisé par les industriels et par les chercheurs. plusieurs enquêtes (aux Etats-Unis) montrent la place de la simulation dans l'industrie : l'une d'elles indique que parmi 14 techniques utilisées, la simulation arrive en 2ème position pour 84% des entreprises sondées. Pour les chercheurs, 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. Dans le domaine de l'optimisation et de la prise de décision, les autres avantages de la simulation font que cet outil permet, depuis une dizaine d'années seulement, de mettre en œuvre des méthodes qu'il était inimaginable d'appliquer sur les systèmes réels ou sur des modèles mathématiques.

I- Définitions

I.1- Définition de la simulation de flux

La simulation des flux de production intègre à la fois la construction d'un modèle et l'utilisation expérimentale de ce modèle pour étudier un problème.

Le modèle consiste en une représentation d'un système réel, capable de reproduire son fonctionnement.

La simulation est l'activation du modèle dans le temps, afin de connaître son comportement dynamique et de prédire son comportement futur.

La simulation est principalement utilisée pour étudier les flux physiques (pièces, matières, outils, etc...) et informationnels (Ordres de Fabrications, etc...) dans l'atelier 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. En cela, 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.

On l'utilise en général pour évaluer et comparer des scénarios possibles.

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 peut aussi inclure certains aspects du système de pilotage (gestion de production).

I.2- Classification des modèles de simulation

[LAW 91] propose une classification des modèles de simulation qui distingue les *Modèles Physiques* des *Modèles Logico-mathématiques*.

- **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,...
- **Les modèles Logico-Mathématiques ou symboliques** sont définis par des relations logiques et quantitatives qui sont manipulées et changées pour voir comment le modèle du système réel réagit. Ils sont exécutés sur des ordinateurs. C'est exclusivement ce type de modèle qui sera utilisé dans la suite de ce travail.

Une autre distinction concerne la prise en compte d'aléas ou de variations aléatoires dans le modèle.

**Techniques de production industrielle, S3, Dr: A. Debih, Université de M'sila
2019/2020**

- ☒ Si le système est indépendant de l'influence de variables aléatoires ou imprévisibles, on utilise un **modèle déterministe**.
- ☒ Si les aléas jouent un rôle significatif dans le comportement du système (exemple typique : les pannes), on utilise un **modèle stochastique**. C'est ce type de modèle qui sera utilisé dans la suite de ce travail.

Une troisième classification distingue :

- ☒ **les modèles statiques**, pour lesquels le temps n'intervient pas.

Exemple : 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 maintenance dans une usine.

Enfin, à l'intérieur des *modèles dynamiques*, on distingue :

- ☒ **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 ou agro-alimentaire.

Synthèse de cette classification:

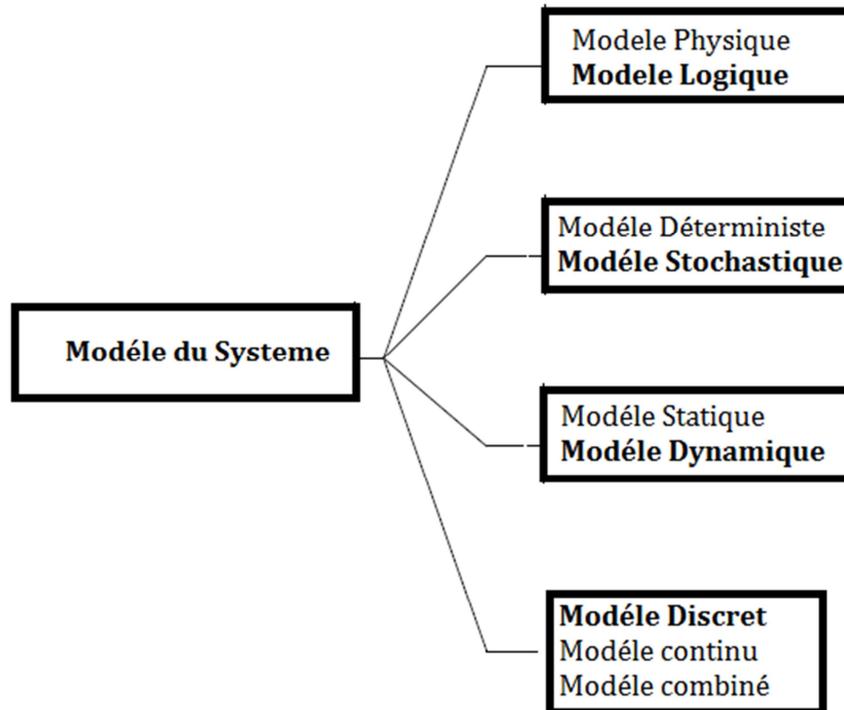


Figure 1 : Classification des modèles

On trouve encore une autre classification de la modélisation pour la simulation de flux en fonction de l'approche :

☒ **L'approche par événements** : C'est l'approche la plus générale. Elle consiste à rassembler tous les événements qui peuvent se produire et à décrire la logique des changements d'état. On peut distinguer dans la logique des changements d'état :

- des règles liées aux modes opératoires sur le procédé de fabrication.

Exemple : fin de l'usinage d'une pièce.

- des règles liées à la conduite / gestion.

Exemple : Si le lot A est prêt avant le lot B, alors démarrer la fabrication du lot C sur le traitement thermique.

La difficulté des règles de conduite aux postes de fabrication est une des difficultés de cette approche.

Une fois le travail effectué pour la phase de modélisation, l'écriture du modèle consiste à programmer la logique des changements d'état. Le logiciel doit être en mesure de stocker la liste des événements créés. Le déroulement de la simulation consiste en la recherche, dans la liste, du prochain événement prévu.

L'échéancier est le module qui gère l'avance du temps au fur et à mesure que les événements apparaissent.

☒ **L'approche par activités** :

C'est une approche qui s'appuie sur un raisonnement naturel : un procédé est décrit comme l'enchaînement d'activités et d'attentes. On peut le regarder à

travers les activités en indiquant les conditions nécessaires à leur début et à leur fin.

Les attentes débutent à la fin de chaque activité. Elles se terminent lorsque les conditions nécessaires à l'activité suivante sont réunies.

La modélisation consiste à programmer les conditions de déclenchement et de fin des activités. A chaque incrémentation du temps, on examine si les conditions de début et de fin des activités sont réalisées.

☒ **L'approche par processus :**

On parle de cette approche lorsque la modélisation consiste à rassembler des processus.

Les processus sont formés de séquences d'événements et d'activités : durée d'une activité, utilisation d'une machine, stockage de pièces, ...

Ces processus peuvent être paramétrés. Dans le logiciel, ils correspondent à des sous-programmes ou à des primitives avec lesquels on peut décrire le fonctionnement d'une installation. La puissance d'un logiciel sera liée aux processus mis à la disposition de l'utilisateur (manutention par robot, par convoyeur, ...).

Le graphique de la figure 2 [CETIM 89] donne un aperçu des principaux logiciels de simulation en faisant apparaître l'approche utilisée et le niveau de convivialité.

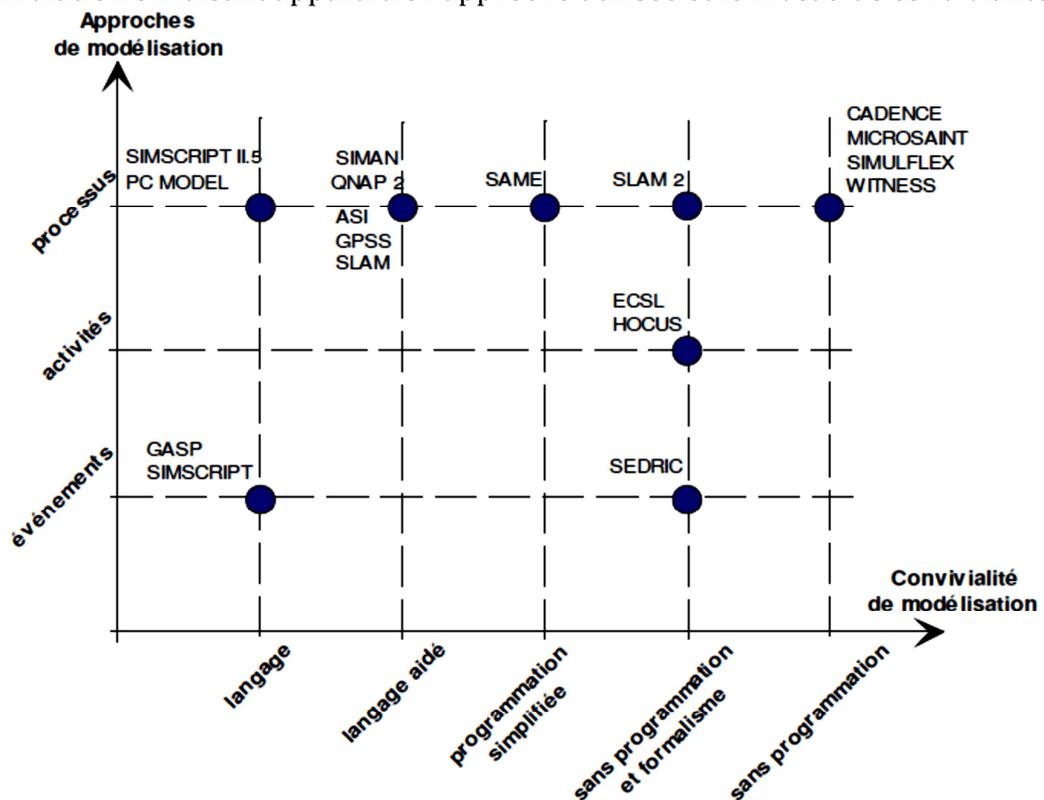


Figure 2 : Les approches de modélisation en fonction des progiciels

I.3- Terminologie utilisée en simulation à événements discrets

Chaque progiciel de simulation de flux manipule des éléments de base qui sont :

- ☒ **Entité ou Article** : Un article est l'élément isolable composant le flux discret. Il se déplace individuellement à travers le modèle.
Exemple : Dans un atelier, les articles sont les pièces à fabriquer.
- ☒ **File d'attente ou Stock** : Les stocks sont des éléments qui permettent d'accumuler des articles entre deux machines. Les stocks peuvent être gérés de différentes façons : FIFO, LIFO, avec critère de priorité, en vrac,
- ☒ **Opération ou Machine** : C'est un élément qui prélève des articles d'un autre élément (un stock ou une autre machine), les traite pendant un temps de cycle qui correspond à un délai fixé dans une unité de temps appropriée.

Les articles, stocks et machines constituent l'essentiel des éléments physiques d'un modèle de simulation à événements discrets. Pour faire fonctionner le modèle ou pour prélever des informations, on a aussi besoin d'éléments logiques, qui se décomposent en deux catégories :

- ☒ **Les Variables** : Ce sont des valeurs qui caractérisent les éléments du système en entier. On peut y accéder depuis n'importe quel élément physique du modèle. L'analogie avec un langage de programmation structurée est la notion de *variable globale*.
- ☒ **Les Attributs** : Ce sont des variables spécifiques à un article donné et qu'il porte avec lui pendant sa durée de vie dans le modèle. C'est en quelque sorte la carte d'identité d'un article, dans laquelle on pourra mettre par exemple l'heure d'arrivée et l'heure de sortie d'un article, son temps de cycle sur une machine, le nombre de trous à percer sur une autre machine, etc.... Plusieurs articles différents ou identiques peuvent donc porter le même attribut, mais celui-ci pourra avoir des valeurs différentes.

Une autre particularité des modèles à événements discrets est le type d'expérimentation en simulation que l'on veut faire. 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, sans tenir compte de la période de montée en régime ou du vidage de l'atelier. Il n'y a donc pas forcément de condition d'arrêt liée à l'absence d'article, mais l'on définit 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). En effet, au début de la simulation, le niveau d'encours va monter progressivement puis se stabiliser. De la même façon, le flux

sortant sera d'abord nul, puis va augmenter et se stabiliser entre deux valeurs acceptables.

II- Limites et objectifs de la simulation

II.1- Ce que la simulation peut faire

Avant d'utiliser cet outil, il est important de savoir ce que l'on peut en attendre, notamment par rapport aux outils de modélisation mathématique.

Voici une liste non exhaustive des possibilités offertes à l'utilisateur de la simulation de flux :

Fournir des estimations réalistes:

- du comportement attendu du système,
- des variations à l'intérieur du système.

Evaluer les effets des actions suivantes :

- ajouter, déplacer ou supprimer des machines,
- modifier les flux,
- modifier les durées de processus et / ou de montage,
- introduire de nouveaux produits ou supprimer des produits existants,
- modifier les systèmes de manutention,
- modifier l'ordonnancement et la répartition des tâches,
- ajouter ou supprimer du personnel.

Cette liste montre bien l'intérêt qui peut être porté à cet outil informatique, non seulement auprès des industriels, mais aussi auprès des chercheurs pour vérifier leur théorie.

II.2- 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 si ... ?".

Comme on l'a déjà dit, une fois que le modèle est programmé et validé, la simulation fonctionne comme une boîte noire en fonction d'un scénario de fonctionnement. Elle ne fait donc que reproduire le comportement du système modélisé.

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

Un point très important, et sur lequel on n'insiste jamais assez, concerne les données utilisées par la simulation. Il est indispensable de vérifier la validité de ces données sous peine d'obtenir des résultats sans commune mesure avec ceux obtenus sur le système réel. Cela est particulièrement critique quand le système simulé est d'un niveau de complexité ne permettant pas une vérification analytique des résultats fournis par la simulation. 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.

Techniques de production industrielle, S3, Dr: A. Debih, Université de M'sila 2019/2020

La phase de modélisation se déroule généralement en plusieurs étapes. On commence par construire un modèle global du système, puis on l'affine progressivement, en suivant éventuellement une méthodologie [DUFRENE 94], en validant chaque étape avant de perfectionner le modèle. Le problème qui se pose lors de la modélisation est de savoir jusqu'à quel niveau de détail il faut aller pour que le modèle soit représentatif de la réalité.

En ce sens, il est donc préférable de rechercher à affiner le modèle, plutôt que de se contenter d'un modèle trop général et imprécis.

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

Lorsque le modèle est prêt à être utilisé pour la simulation, il faut encore se poser la question de savoir quelles sont les informations que l'on veut observer pendant ou à la fin de la simulation. Ces informations, appelées "Indicateurs" sont des variables du système sur lesquelles un traitement statistique est effectué. La majorité des progiciels proposent en standard des résultats de simulation sous la forme de rapports statistiques qui peuvent être agrémentés de graphiques pour faciliter l'analyse. Les indicateurs "standard" concernent essentiellement les quantités et les durées relatives aux flux d'articles, ainsi que les taux d'utilisation, de panne, d'arrêt des machines et ressources. Les figures 3 et 4 présentent des exemples de rapports statistiques.

C'est uniquement à partir de l'observation du modèle et des indicateurs pendant et après la simulation que l'on peut tenter de résoudre le problème posé.

Nom	Qté. Entrée	Qté. Expédiée	Qté. Rebutée	Qté. Assemblée	Qté. Rejetée	En Cours	E. Cours Moy.	Tps Moy.
Tête	601	0	0	601	1	0	4	13.98
Corps	603	0	0	601	0	2	3.6	12.53
Vis	1206	0	0	1202	0	4	2.46	4.28
Assm	601	600	0	0	0	1	2.85	9.98

Figure 3 : Rapport statistique des Articles

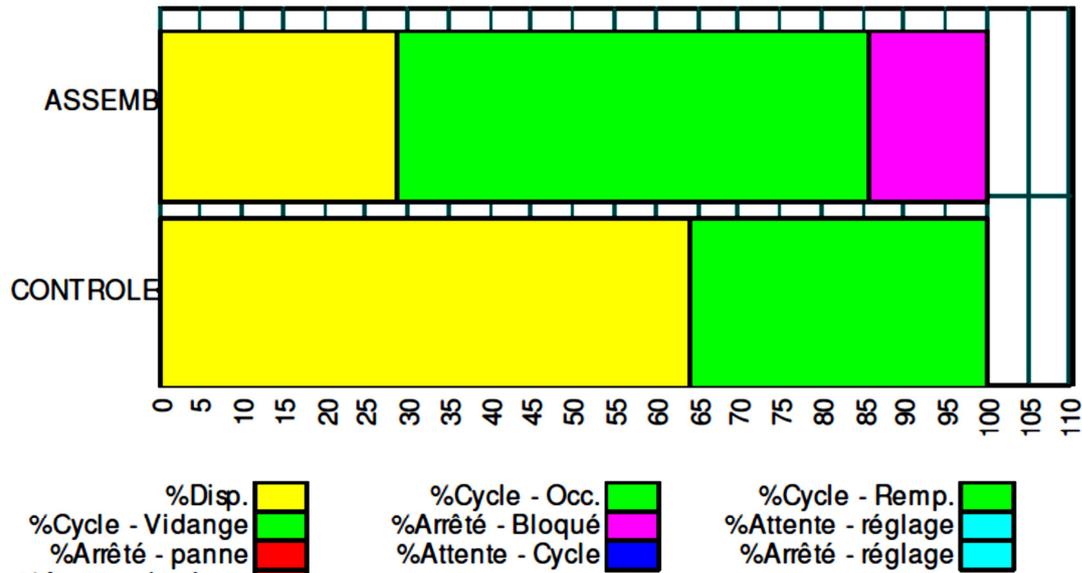


Figure 4 : Rapport statistique des Machines

III- Méthodologie de conduite d'une simulation

Dans ce chapitre, l'objectif est de proposer une méthodologie générale pour la réalisation d'un projet de simulation de flux. L'objectif de cette méthodologie est non seulement de fournir un fil conducteur à tout projet de simulation, mais aussi de s'assurer, avant le début du projet, que l'on est en possession de toutes les données utiles. Une étude de simulation de flux se déroule généralement en quatre macro-étapes (figure 5):

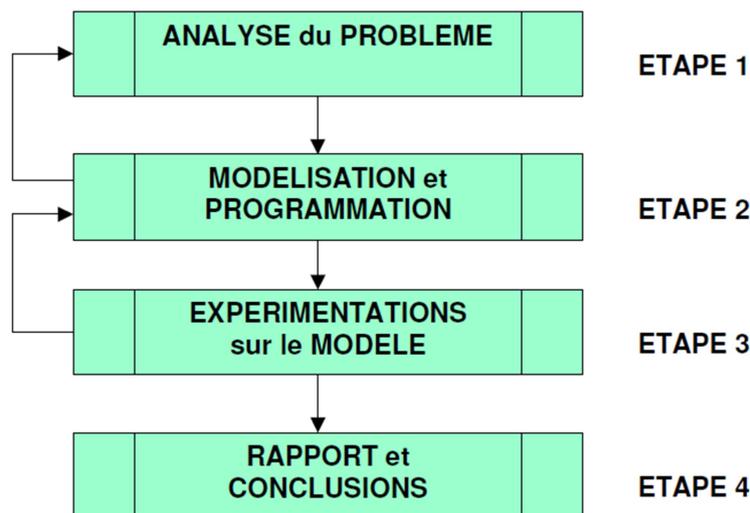


Figure 5 : Les 4 étapes d'une étude de simulation

Comme on le voit sur la figure 5, ces macro-étapes se déroulent de façon séquentielle, mais des rebouclages ou des retours en arrière sont possibles afin de corriger ou de compléter l'élaboration du modèle en fonction des objectifs fixés.

Chacune de ces macro-étapes va maintenant être détaillée en plusieurs étapes et l'on va faire ressortir plus précisément l'enchaînement du projet.

III.1- Analyse du problème

L'analyse du problème est un préliminaire indispensable et d'une grande importance, puisque c'est dans cette étape que l'on doit définir précisément ce que l'on veut mettre en évidence avec la simulation, et quelle précision on attend. On détermine aussi les indicateurs de performance qui vont permettre de vérifier si l'on atteint les objectifs que l'on s'est fixé. Enfin, il faut pouvoir fournir des données numériques au modèle. Celles-ci sont relatives à tous les éléments utilisés dans la simulation, comme par exemple :

- ☒ **Données sur les articles à fabriquer** : gammes de fabrication (routage), loi d'arrivée dans le modèle (fréquence et taille de lot).
- ☒ **Données sur les moyens de production** : nombre et types de machines, lois de pannes, nombre et types de ressources complémentaires de production (outils, palettes, etc...)
- ☒ **Données sur les systèmes de manutention** : nombre et type de convoyeurs ou de chariots, capacité en nombre d'articles, vitesse de déplacement, etc...
- ☒ **Données sur les stocks et les magasins** : types et capacités, règles d'entrée et de sortie, etc...
- ☒ **données sur le personnel** : effectifs, compétences et horaires.

A ces données numériques, il convient d'en ajouter d'autres qui s'expriment sous forme logique et qui caractérisent les règles de pilotage de l'atelier. Il est à noter que bien souvent, l'objectif de la simulation est de tester certaines règles pour déterminer les plus pertinentes. A titre d'exemple :

- **Règles de lancement et de séquençement des articles en fabrication** : à la commande ou en fonction des prévisions, par lots ou à l'unité, périodique ou aperiodique,...
- **Règles d'ordonnancement** des articles sur les différentes machines de l'atelier.
- **Règles d'affectation des ressources.**

Il est à noter que de nombreux chercheurs utilisent la simulation pour tester de nouvelles règles de pilotage, notamment dans le domaine de l'ordonnancement et de la planification à moyen terme .

Enfin, en complément aux données numériques et logiques, on doit disposer de documents graphiques, à la fois pour avoir une représentation géométrique (ou spatiale) du système simulé, mais aussi pour avoir une représentation des flux. On utilisera en guise de modèle géométrique un plan de masse de l'atelier à simuler. La macrographie des flux permet de décomposer le processus en actions élémentaires tels que opérations, stockages, transferts et contrôles. Dans le chapitre 6 de cette partie, un modèle graphique de connaissance sera développé afin de formaliser cette macrographie des flux.

La figure 6 montre comment l'analyse du problème peut être découpée en plusieurs étapes.

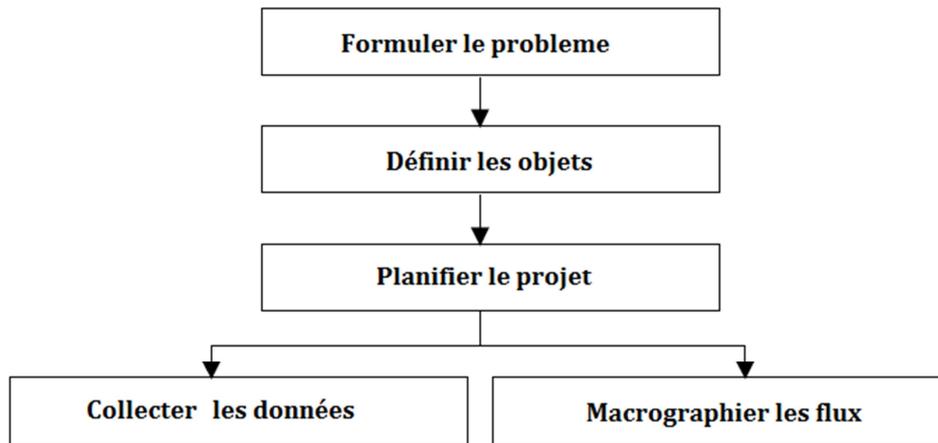


Figure 6 : Détail de la macro-étape "Analyser le problème"

III.2- Modélisation et programmation

La construction du modèle permet de coder le modèle dans un langage informatique approprié. Cette étape est de plus en plus facilitée par l'évolution des progiciels dont la tendance est de substituer aux primitives d'un langage une interface graphique, interactive et conversationnelle. Le concepteur du modèle n'a plus besoin d'être un informaticien aguerri pour utiliser la simulation de flux. La figure 7 montre par exemple une fenêtre à renseigner pour modéliser une machine avec ce type de langage

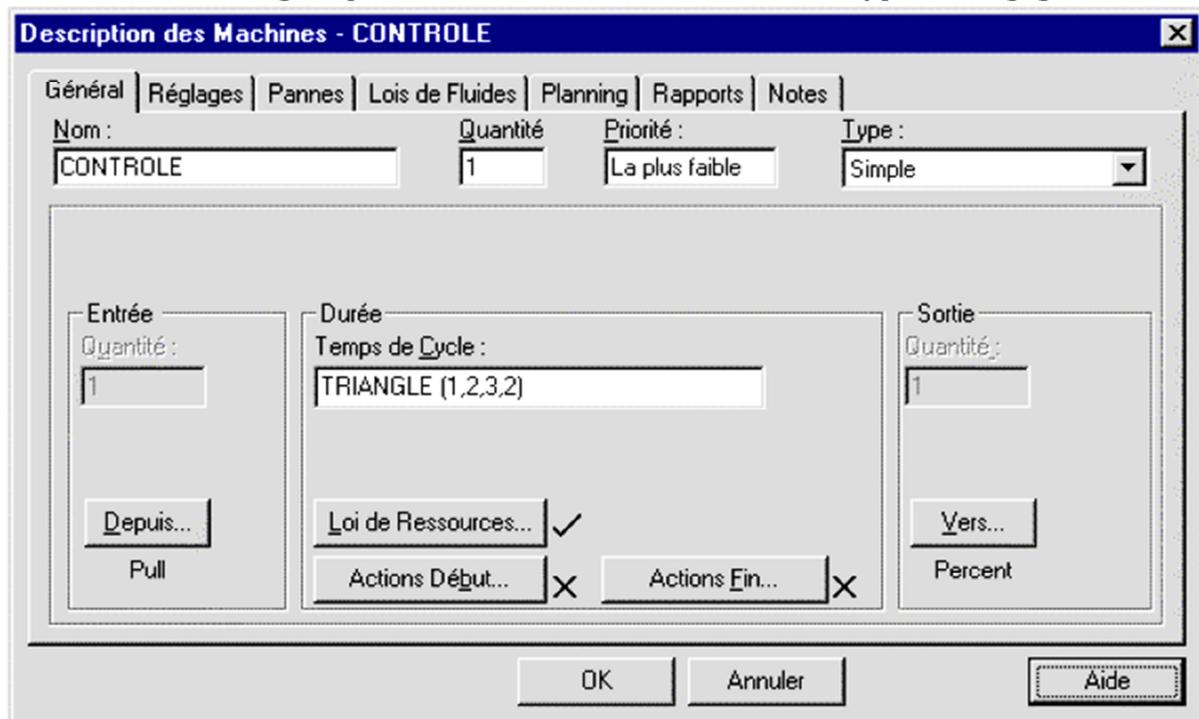


Figure 7 : Exemple de fenêtre de saisie d'un progiciel de simulation (Witness)

Techniques de production industrielle, S3, Dr: A. Debih, Université de M'sila 2019/2020

Une fois le modèle réalisé, il faut vérifier si les règles logiques qui décrivent le flux sont bien programmées et correspondent à ce qui est demandé. On exécute donc des tests de simulation uniquement pour vérifier le bon fonctionnement du modèle. Si des différences apparaissent, il faut pouvoir "tracer" tous les événements du modèle et vérifier leur cohérence par rapport aux données. La plupart des progiciels disposent d'une fonction qui permet de visualiser le fonctionnement du modèle événement par événement (figure 8).

```
9.00 : Article_A(s) arrive(nt)
11.79 : La machine PREPARATION quitte l'état Occupée
Article_B en sortie de l'élément PREPARATION vers Stock_2
Article_B en entrée de l'élément PEINTURE à partir de Stock_2
Article_A en entrée de l'élément PREPARATION à partir de Stock_1
Ressource obtenue par CONTROLE
12.00 : Article_B(s) arrive(nt)
Article_B en sortie vers Stock_1
12.00 : Article_A(s) arrive(nt)
13.00 : temps mis à jour
13.39 : La machine CONTROLE quitte l'état Occupée
Article_A en sortie de l'élément CONTROLE vers SHIP
Ressource obtenue par PEINTURE
13.89 : La machine PEINTURE essaye de quitter l'état Réglage pour le
réglage n° 1
Ressource obtenue par PREPARATION
```

Figure 8 : Exemple de visualisation de la trace des événements

Cette étape doit se terminer par une validation qui consiste par exemple à comparer les résultats fournis par le modèle aux résultats du système réel si celui-ci existe. Les rapports statistiques peuvent aider à cette validation entre résultats simulés et résultats réels.

La visualisation graphique et dynamique du modèle est un atout considérable pour en faciliter sa vérification et sa validation, puisque l'on peut suivre tous les changements d'état qui interviennent sur le modèle.

L'enchaînement des étapes de la modélisation et de la programmation est présenté sur la figure 9.

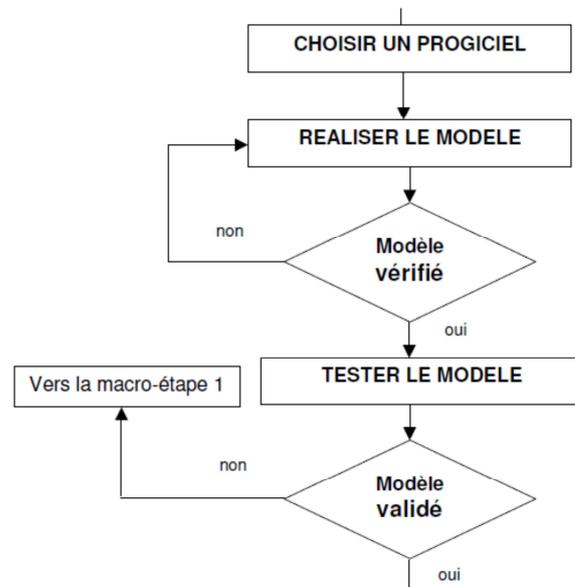


Figure 9 : Détail de la macro-étape "Modéliser et Programmer"

III.3- Expérimentations sur le modèle

L'exploitation de la simulation est l'étape où l'on utilise le modèle comme support expérimental pour évaluer le comportement dynamique du système. Il faut bien sûr avoir défini les données sur lesquelles on va pouvoir agir pour atteindre les objectifs que l'on s'est fixé dans la 1ère étape. Un scénario ou une expérimentation se caractérise donc par un jeu de données qui varie à chaque itération du processus expérimental. Des méthodes telles que les Plans d'Expériences peuvent être utilisées pour organiser les scénarios, réduire leur nombre et interpréter les résultats.

On montrera que l'utilisation des plans d'expériences n'est pas adaptée à des problèmes d'optimisation complexes, où le nombre de solutions est très grand. Dans ce cas, la simulation est couplée à un générateur de solutions et les résultats sont ensuite analysés par un algorithme d'optimisation.

Enfin, il faut être capable d'interpréter les résultats fournis par la simulation. Cela suppose la maîtrise de notions de statistique telles que l'*intervalle de confiance*, la *moyenne arithmétique ou temporelle*, l'*écart type* et éventuellement l'*analyse spectrale*

La figure 10 présente le détail de cette macro-étape d'expérimentations sur le modèle.

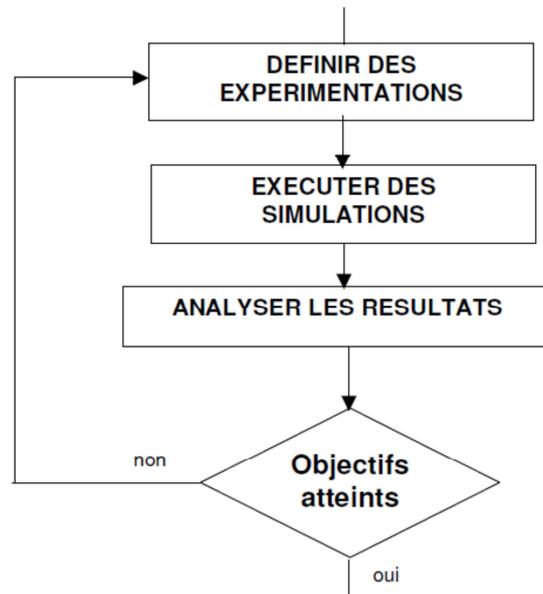


Figure 10 : Détail de la macro-étape "Expérimentations sur le modèle"

III.4- Rapport et conclusions

Cette dernière macro-étape est importante vis-à-vis du demandeur de l'étude de simulation. En effet, celui-ci n'est pas forcément un expert dans ce domaine et il va falloir présenter les résultats de l'étude pour qu'ils soient compréhensibles. Entre autre, il faut tenir compte des remarques suivantes :

- Ne pas « noyer » le demandeur dans des tableaux de chiffres insignifiants pour lui.
- Expliquer les indicateurs utilisés.
- Justifier les hypothèses simplificatrices.
- Utiliser un grapheur pour présenter les résultats.
- Présenter les différentes solutions donnant le même résultat et proposer des critères de choix.
- Suggérer de nouvelles pistes d'étude. Cette macro-étape est détaillée dans la figure 11 :

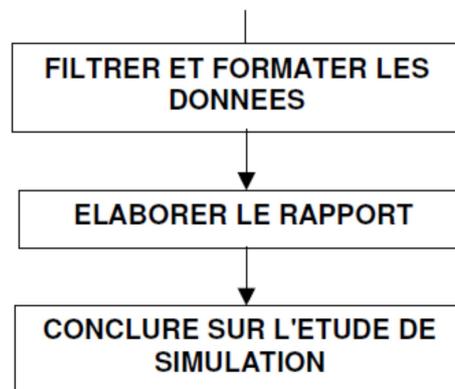


Figure 11 : Détail de la macro-étape "Rapport et conclusion"

Dans ce chapitre, une méthodologie de conduite d'un projet de simulation de flux a été proposée sous forme de macro-étapes, elles-mêmes découpées en plusieurs étapes et rassemblées sous la forme d'un organigramme. La figure 12 est la représentation complète de cet organigramme, étape par étape, en faisant apparaître les limites de chaque macro-étape.

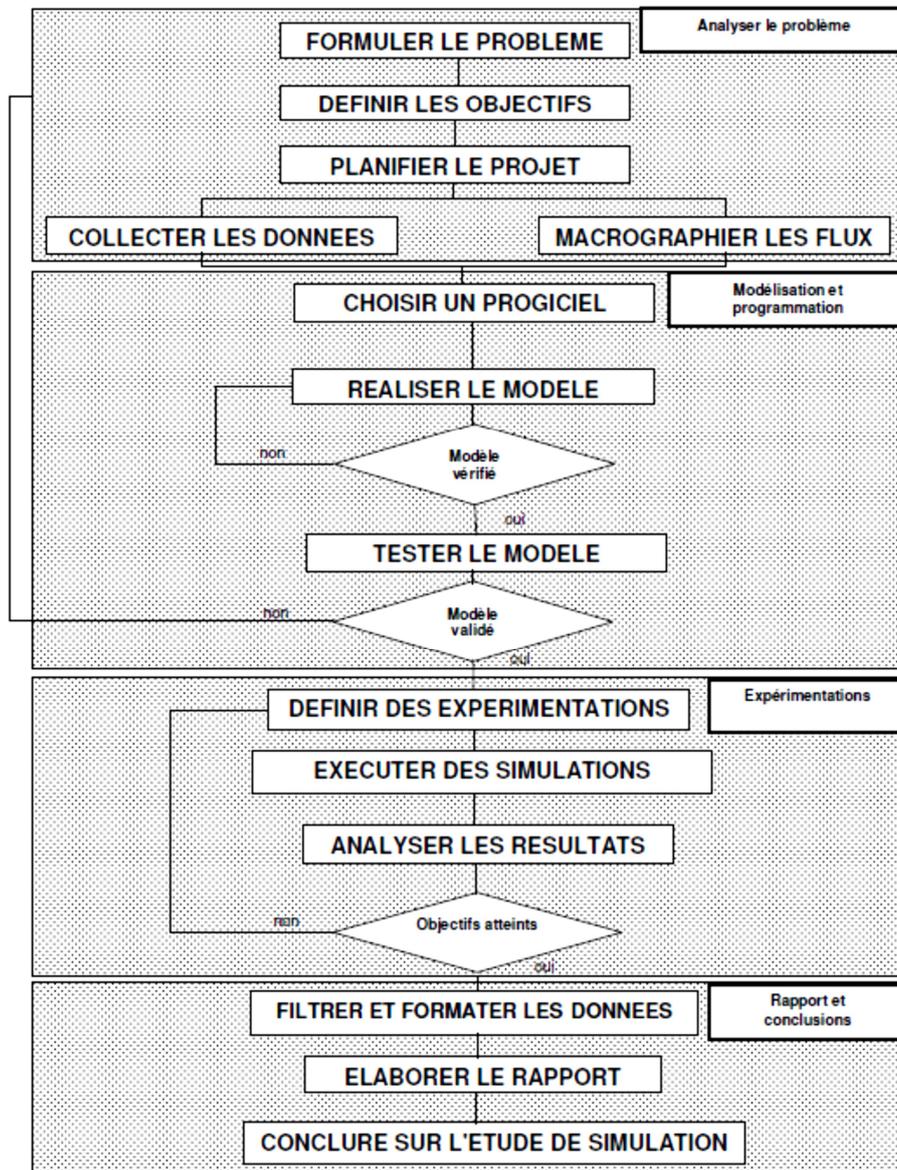


Figure 12 : Organigramme général de la méthodologie