

5^e Conférence Francophone de MODélisation et SIMulation
"Modélisation et simulation pour l'analyse et l'optimisation des systèmes industriels et logistiques"
MOSIM'04 – du 1^{er} au 3 septembre 2004 - Nantes (France)

ANALYSE DU PROCESSUS D'ELABORATION D'UN PROJET DE SIMULATION

L. REVEL, G. HABCHI, J.L. MAIRE

LISTIC – Laboratoire d'Informatique, Systèmes, Traitement de l'Information et de la Connaissance
ESIA – BP 806
74016 Annecy Cedex, France
Tel : +33 (0)4 50 09 65 80
<mailto:laetitia.revel@univ-savoie.fr>

RÉSUMÉ : Nous présentons dans cet article une étude orientée sur l'analyse du processus d'élaboration d'un projet de simulation de système de production. Après avoir présenté un état de l'art traitant de cette problématique, nous détaillons le cadre d'élaboration d'un processus de simulation à travers la présentation des différentes étapes le constituant ainsi que celle des livrables qui lui sont associés. Nous donnons ainsi la vision que nous avons de ce processus. L'accent est en particulier mis sur le rôle déterminant de la première étape qui vise à identifier et caractériser le besoin à l'origine du projet de simulation, généralement un problème à résoudre, et à évaluer la capacité de l'outil de simulation à événements discrets à répondre efficacement à ce besoin. Nous proposons ensuite une classification des outils de simulation actuellement présents sur le marché en fonction de l'approche de modélisation utilisée, à savoir les outils orientés « fonction » ou « processus » et les outils orientés « composant » ou « objet ». Ainsi, après une description assez brève de ces approches de modélisation, nous présentons certains des avantages et des inconvénients de chaque type d'outil par rapport à un point de vue de l'utilisateur potentiel.

MOTS-CLÉS : Méthodologie de simulation, Projet de simulation, Processus de simulation, Outils de simulation, Composants, Fonctions

1. Introduction

Au début du siècle, l'entreprise est généralement assimilée à un système de production dont la vocation est de réaliser et de contrôler des activités. C'est l'époque où émerge l'Organisation Scientifique du Travail (OST) [Taylor 1965]. L'activité de production est ainsi détaillée, séquencée et chaque opérateur du système de production se voit confié l'exécution d'un ensemble très réduit de tâches. Cette réorganisation du travail mise alors sur l'optimisation de micro-séquences opératoires pour générer une amélioration significative au niveau des résultats produits par le système de production.

Si l'approche taylorienne a effectivement un impact avéré sur la productivité des systèmes de production, en revanche, elle montre aujourd'hui ses limites quant à sa capacité à améliorer la flexibilité, la réactivité, la proactivité ou encore la robustesse de ces systèmes [Dragini 1998]. Cela explique le recours de plus en plus systématique à des méthodes, approches et outils d'excellence industrielle ou d'aide à la décision pour concevoir et piloter efficacement ces systèmes (GPAO,

ERP, Ordonnancement, Simulation, etc.). La simulation à événements discrets est l'un de ces outils. Elle consiste à concevoir un modèle logiciel d'un système réel puis à construire des expériences sur ce modèle de manière à appréhender et anticiper son comportement et ainsi d'en améliorer ses performances [Ouabiba 2001]. Au-delà de la question de savoir comment utiliser au mieux l'outil par rapport aux objectifs de performance qui ont été fixés sur les différents systèmes à piloter, l'entreprise se pose également de plus en plus la question de savoir comment formaliser un processus de type « Simulation de flux » pour itérer efficacement les différents projets de simulation à mener.

L'objectif de ce papier est donc d'abord de décrire notre vision de ce processus et de détailler les livrables qui lui sont associés. Notre étude vise également à lister et analyser, par rapport à ce processus, les avantages et les inconvénients de chacune des deux grandes familles d'outils de simulation actuellement sur le marché basés soit sur une approche fonctionnelle soit sur une approche composant.

2. Processus de simulation

2.1. Analyse du processus de simulation

Pour garantir l'efficacité d'un projet de simulation, il semble acquis que celui-ci soit associé à la réalisation d'un processus défini et formalisé. L'objectif est bien entendu de structurer du mieux possible la réalisation de ce projet, d'en suivre l'évolution et, au besoin, d'en gérer les dérives. L'objectif est également, et à l'image des autres processus pilotés dans l'entreprise, de définir un cadre précis pour son pilotage et la maîtrise de ses performances.

Il est d'abord important de rappeler que l'élaboration d'un modèle informatique de simulation ne constitue qu'une étape dans un processus de simulation. La part du temps consacré à la construction de ce modèle ne représente d'ailleurs que 30 à 40% du temps alloué à l'ensemble du processus [Habchi 2001]. De nombreuses contributions ont été proposées dans le but de décrire ce processus et de lister l'ensemble des étapes le constituant : [Pritsker 1986] [Hoover *et al.* 1989] [Yucesan *et al.* 1992] [Musselman 1993] [Banks 1994] [Law 1994]. Toutes expriment des visions assez différentes, parfois complémentaires et en tout cas aussi diverses que celles concernant la définition de la simulation elle-même ou les raisons de son utilisation [Lehaney *et al.* 1998]. Ces approches permettent toutefois de faire émerger, et sans pour autant prendre une position tranchée, plusieurs étapes communes : la définition et la formulation du problème, la collecte et l'analyse des données, la modélisation et la programmation, la vérification et la validation du modèle, l'expérimentation et l'analyse des résultats, la décision et l'implémentation.

La simulation se focalise sur une formalisation et une recherche de solutions en utilisant des méthodes par tâtonnements [Davis *et al.* 1994]. Un processus de simulation peut ainsi être vu comme un processus itératif, principalement basé encore sur l'expérience individuelle, et dont l'évolution ne doit pas être interprétée comme strictement séquentielle, des transitions de retour peuvent être attendues à toutes les étapes. Durant son exécution, les relations entre le système à étudier et le modèle de simulation sont définies et redéfinies continuellement. La maîtrise et le pilotage de ce processus complexe requièrent donc un recours quasi systématique à un expert confirmé dans le domaine de la simulation. L'objet de nos travaux est donc d'étudier comment automatiser ce processus de manière à le rendre accessible à un ensemble plus large d'utilisateurs. Il s'agit en particulier de voir comment cette automatisation peut couvrir la totalité des étapes d'un processus de simulation, prendre en charge leur coordination, et assurer leur cohérence par rapport au résultat à fournir par le processus. Certaines étapes de ce processus ont, en effet, été ignorées par les travaux

menés sur l'automatisation du processus de simulation [Mitraní 1982], [Law *et al.* 1991]... Pour Robinson [Robinson 1994], il existe une tendance à tout modéliser et cela sans que soit pris un temps suffisant à considérer les données pertinentes à considérer dans le projet de simulation. Les travaux menés jusqu'à présent sur la simulation fournissent assez peu de solutions sur la manière de définir le problème de simulation, ainsi que sur la manière de collecter et d'analyser les données nécessaires à ce projet. Pour réaliser ces deux étapes, l'équipe d'un projet de simulation fait le plus souvent appel à une approche intuitive et empirique. L'étape de formalisation nécessiterait pourtant une approche plus formalisée, ne serait-ce que pour faire le choix le plus adéquat du logiciel ou du langage de simulation à utiliser. A ce propos, certains auteurs recommandent d'utiliser des démarches dédiées à cela, comme par exemple le processus hiérarchique analytique (AHP - Analytic Hierarchy Process) [Davis *et al.* 1994].

De manière très simplifiée, un processus de simulation peut être représenté comme illustré par la figure 1. La modélisation fournit un modèle conceptuel, la programmation un modèle exécutable, l'expérimentation les résultats obtenus du modèle, et l'analyse des résultats permet d'évaluer le processus modélisé.

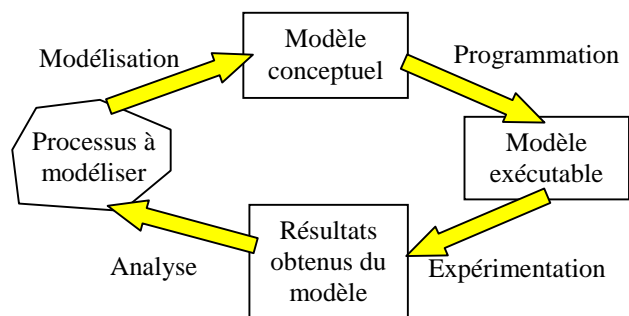


Figure 1. Processus simplifié de simulation.

De manière plus détaillée, [Pritsker 1986] décrit un processus de simulation séquentiel comme structuré en dix étapes : analyse et formulation du problème, identification et collecte des données, construction du modèle, transcription informatique du modèle, vérification du modèle, validation du modèle, planification stratégique et tactique de la simulation, exécution de la simulation, analyse et interprétation des résultats, recommandations et mise en place. De manière assez analogue, Balci [Balci 1994] et Nance [Nance 1994] fournissent une description de ce processus en listant les différentes étapes associées au « cycle de vie » d'un projet de simulation. Dans ce sens, Kosturiak *et al.* [Kosturiak *et al.* 1998] proposent l'utilisation d'une démarche projet en simulation et considèrent un certain nombre de conditions nécessaires à sa réussite. Nous citons à titre d'exemple : approche projet, choix du bon moment, compétence et expérience, niveau de détail approprié, mise en forme des données, communication et

coopération, outil approprié, présentation et interprétation des résultats.

2.2. Proposition d'un cadre d'élaboration du processus de simulation

La figure 2, construite à partir du modèle proposé par [Dragini *et al.* 1998], décrit la vision que nous avons de ce processus. L'accent est en particulier mis sur le rôle clé de la première étape de ce processus qui vise à identifier et caractériser le besoin à l'origine du projet de simulation, généralement un problème à résoudre, et à évaluer la capacité de l'outil de simulation à événements discrets à répondre efficacement à ce besoin. A l'image d'une démarche Six Sigma [Pillet 2004] qui conditionne le déclenchement des actions de résolution d'un problème à celles de l'identification et de l'analyse de ce problème, tout processus de simulation nécessite que soient pleinement spécifiées les caractéristiques du problème à solutionner, ses contraintes ainsi que les objectifs d'amélioration qui lui sont associés. Toute action corrective à un problème ne nécessitant pas un recours systématique à la simulation, il est important de poser des questions du type « De quelle façon peut-on solutionner ce problème ? » et « Quel est le moyen le plus approprié pour le résoudre ? ».

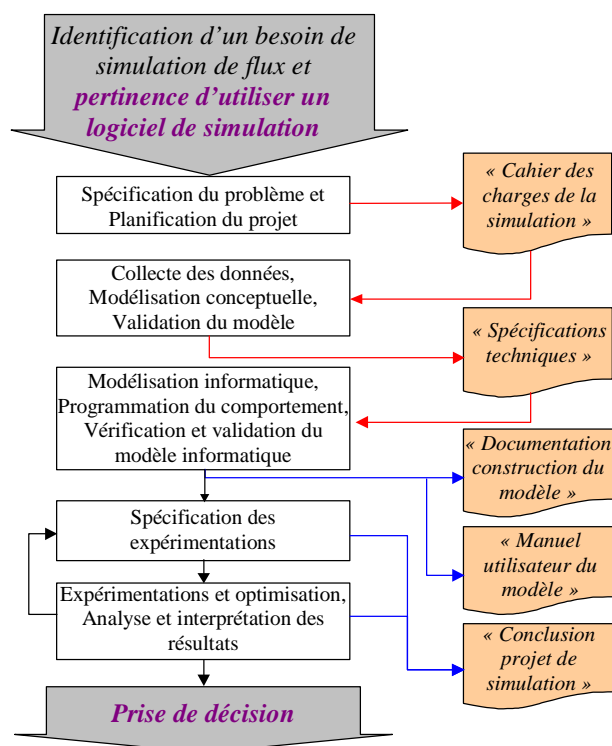


Figure 2. Le Processus « gestion d'un projet de simulation » de flux.

Comme tout processus, le processus de simulation de flux physiques est composé d'activités, organisées de manière à produire un résultat, ici une prise de décision, et dont la réalisation nécessite des entrées et délivre des sorties. L'ensemble de ces données/sorties conditionne

l'activation et/ou la validation des différentes étapes du processus.

C'est le cas du « cahier des charges de la simulation » délivré par la première étape du processus et qui structure le projet de simulation en détaillant :

- l'objectif associé au projet,
- le périmètre de l'étude,
- les référents pour la validation du modèle (un temps de passage par exemple, etc...),
- les aspects organisationnels du projet (*qui fait quoi, comment et quand*).

C'est le cas ensuite du document « spécifications techniques » qui fournit une représentation conceptuelle du système, donc indépendante de toute implémentation, et qui explicite :

- les données relatives au système modélisé ; les données en entrée du système, en sortie, ainsi que les paramètres sur lesquels il sera possible d'agir lors des simulations successives,
- les informations relatives au comportement intrinsèque du modèle ; fonctions principales du système, interactions et logique d'enchaînement de ces fonctions.

Le document « construction du modèle » explicite quant à lui les données et traitements associés au modèle informatique de simulation construit à partir des « spécifications techniques ». Ce document intègre une vision macroscopique du système (sous modèles de simulation et articulation entre ces sous modèles) ainsi qu'une vision détaillée du système (description détaillée des activités du système et des données d'entrée, de contrôle et de sorties associées). De la même manière, le comportement du système peut être décrit aussi bien à un niveau global qu'à un niveau plus détaillé. C'est ainsi que ce document pourra par exemple inclure des logigrammes détaillant l'ordre et la logique d'enchaînement des activités et composants du système ou encore renseigner sur l'ensemble des hypothèses retenues pour les simulations en cours et pour les simulations précédentes. Ce document participe à la gestion dynamique du projet de simulation (évolution ou modification des composants du système, prise en compte de nouvelles contraintes d'environnement, traçabilité des décisions prises, ...).

Si la complexité de certains modèles informatiques implique que les modèles de simulation soient construits et gérés par des experts en simulation de flux, l'exploitation de ces modèles en revanche relève de la responsabilité des différents utilisateurs du système. Tout processus de simulation doit donc prendre en charge la construction et la gestion d'un « manuel utilisateur » détaillant l'ensemble des règles d'utilisation et d'exploitation des modèles par les différents acteurs du système.

Enfin, le « *rapport d'expérimentation* » trace l'ensemble des différentes simulations effectuées en mémorisant l'ensemble des données relatives aux différents scénarii de simulation testés (hypothèses, paramètres et résultats du modèle). Ce document permet au pilote du système de valider, et au besoin rejeter, les plans d'actions à suggérer par les différentes expérimentations réalisées.

Comme évoqué lors de la description du « *cahier des charges* », il s'agit de sélectionner du mieux possible les données du système à simuler. Nous listons ici les différents types de données d'un système à prendre en compte dans tout projet de simulation. La théorie des systèmes [Le Moigne 1990], et plus généralement l'approche systémique, permet d'appréhender le système et sa complexité à travers la description de ses interactions avec son environnement. L'approche permet ainsi d'identifier trois familles de données (figure 3) :

- les données d'entrée, qui matérialisent les besoins inhérents au fonctionnement du système, qu'il s'agisse de données internes à ce système ou de données en provenance de son environnement,
- les données de résultat, qui décrivent les différentes caractéristiques de la sortie délivrée par le système,
- les données de paramétrage, relatives aux différents éléments du système sur lesquels le pilote peut agir pour atteindre le résultat souhaité.

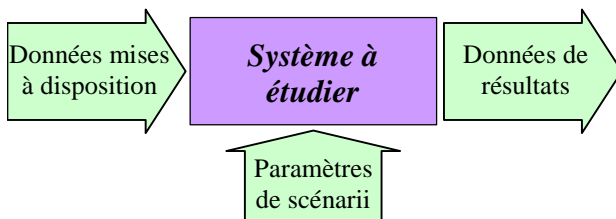


Figure 3. Les données d'un projet de simulation.

Les données d'entrée du système font référence à l'ensemble des éléments de type informationnel caractérisant le système et nécessaires à son fonctionnement : références articles, gammes, nomenclatures, plan directeur de production, etc... Mais, au-delà du choix des données à intégrer absolument dans la description du système à simuler, il s'agit également de s'intéresser au mode de structuration de ces données à privilégier pour en faciliter l'accès et l'exploitation future : feuilles ou tables de données (Oracle, Excel, ...), évènements (sockets, requêtes SQL, Idoc, ...).

Les données de sortie regroupent toutes les données à extraire d'une expérience de simulation et à intégrer dans le « *rapport d'expérimentation* » : taux d'occupation des moyens et des ressources, volumes de production, évolution des encours sur une période définie, temps cumulés de production, temps de cycle, etc... Il s'agit également de s'intéresser aux différents modes d'extraction et de diffusion de ces données à utiliser : tables Excel pour une formalisation statistique et graphique des résultats, sockets pour la communication

avec d'autres systèmes, mise à jour d'une base de données Oracle, etc...

Enfin, les données de paramétrage correspondent aux données sur lesquelles il sera possible d'agir durant les phases de simulation (une taille de lot de production, un calendrier d'ouverture de l'entreprise, un mode de gestion de la production, une politique de pilotage des opérations, une règle d'ordonnancement des ordres de fabrication, etc...). Ces données de paramétrage seront également intégrées dans le « *rapport d'expérimentation* ». La sélection de ces données nécessite que soit trouvé un compromis entre le niveau de flexibilité visé pour le modèle de simulation et le niveau de complexité de ce modèle, tous deux très corrélés au nombre de données retenues.

3. Choix de l'outil de simulation de flux

L'identification des données est, nous l'avons vu, une étape importante d'un processus de simulation et conditionne, au moins autant que la qualité du modèle informatique construit, le succès d'un projet de simulation.

De la même façon, le choix de l'outil de simulation joue également un rôle déterminant dans la performance d'un processus de simulation.

Plus de 100 logiciels de simulation sont disponibles sur le marché. Certains auteurs [Davis *et al.* 1994] classent ces logiciels en deux catégories : les logiciels pour la simulation à événements discrets et les logiciels pour la simulation à variables continues. Si le second type est applicable pour un flux continu de produit et d'information, le premier est beaucoup plus applicable aux systèmes manufacturiers (composants, assemblages...). Nous proposons dans ce qui suit une classification basée sur l'approche de conception de l'outil. En effet, les outils actuellement disponibles sur le marché peuvent être repérés parmi deux grandes catégories :

- celle regroupant les outils basés sur une modélisation de type « *composant* » ou « *comportemental* »,
- celle regroupant les outils basés sur une modélisation de type « *fonctionnel* » ou « *processus* ».

3.1. Outils orientés « composant » ou « objet »

Avec les outils de la première catégorie, le système à simuler est modélisé à l'aide d'un ensemble de composants de base, chacun d'eux étant décrit par une liste d'attributs statiques et d'attributs dynamiques spécifiant le comportement intrinsèque de ce composant. Un moyen de production simple peut ainsi être décrit à l'aide, par exemple, des attributs : identificateur, temps d'ouverture, temps de cycle, temps de changement de

série, taux de rebuts, taux de panne, taux d'occupation ou encore nombre d'entités déjà traitées, etc.

Ce type de modélisation (figure 4) offre l'intérêt incontestable de pouvoir tirer parti des nombreux avantages d'une modélisation orientée objet : mécanismes d'héritage, modularité, réutilisabilité, surcharge des méthodes, etc... D'autres avantages peuvent également être cités, comme par exemple :

- une approche de modélisation très naturelle et simple à comprendre,
- la possibilité d'inclure dans la modélisation une très large variété d'éléments d'un système, et en particulier ceux associés à des aspects comportementaux du système,
- l'absence de compilation du système qui confère à l'outil de simulation des performances élevées,
- la possibilité d'appréhender le système à différents niveaux d'abstraction, d'un niveau très macroscopique à un niveau beaucoup plus détaillé ensuite.
- la combinaison des avantages des langages généraux (flexibilité et champ d'application larges) avec les avantages des outils spécialisés (objets paramétrables et construction simple des modèles).

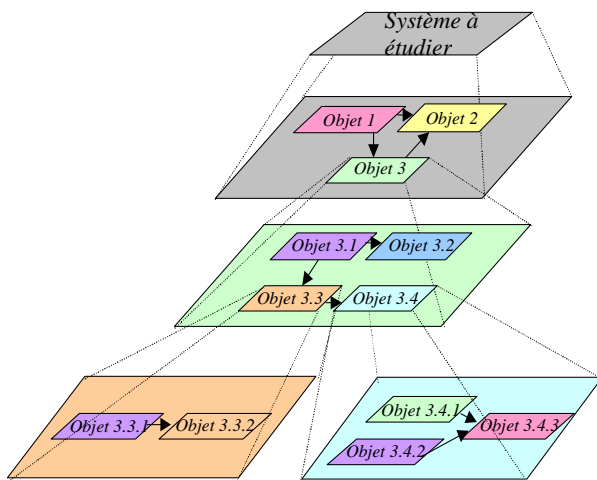


Figure 4. Structuration d'un modèle de simulation de flux orienté objet.

A ces avantages, le logiciel eM-Plant distribué par la société Tecnomatix [Tecnomatix 2004] en ajoute d'autres comme, par exemple, celui de rendre possible des simulations en temps réel ou encore celui d'autoriser des interfaçages du système modélisé avec des systèmes externes tels que ERP ou SGBD. Ces atouts expliquent en grande partie la position de leader qu'occupe aujourd'hui le logiciel eM-Plant sur le marché pour ce type d'outils.

Comme dans une modélisation orientée objet classique, plusieurs modes de structuration peuvent être envisagés. Ceux-ci dépendent très souvent de la volonté que le modélisateur a ou n'a pas, à faire coïncider les objets réels du système à ceux du modèle construit. En ce qui nous concerne, nous optons généralement pour un

modèle structuré autour de l'ensemble de macro objets suivant : un macro objet pour la gestion des données d'entrées (gammes, ordres de fabrication, volumes de production, dates de lancement des ordres, etc...), un macro objet pour le modèle physique (moyens de production, systèmes de transfert ou de convoyage, zones de stockage, zones de contrôle,...) et un macro objet pour la gestion des ressources (gestion des compétences, des priorités...).

Parmi les inconvénients des outils de type « *composant* », retenons surtout celui que l'utilisation de ce type d'outil est encore réservée à des spécialistes de la simulation, et ceci principalement à cause de la difficulté à modéliser parfois certains aspects complexes du comportement d'un système.

La simulation de flux est souvent utilisée dans le cadre de dimensionnement de systèmes de production ou de choix de politique gestion de production, mais la simulation peut aussi avoir un intérêt majeur dans la validation de développement informatique. Voici un exemple pour lequel la modélisation d'un système réel est réalisée dans le but de valider des développements informatiques et concernant la structure du système d'information d'une entreprise (Figure 5).

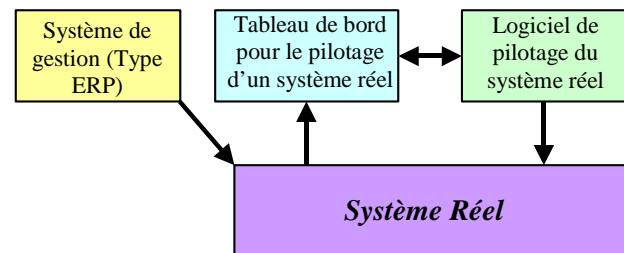


Figure 5. Structure du système d'information d'une entreprise.

La figure 5 représente un système réel auquel on envoie des ordres de production depuis un système de gestion de type ERP. Le système réel va être observé via le tableau de bord de pilotage. Et en fonction de l'état des indicateurs du tableau de bord, le logiciel de pilotage du système va prendre les décisions nécessaires et les appliquer au système réel. Ce type de système d'information pourrait se trouver implémenté sur une chaîne de production sur laquelle on souhaite gérer, par exemple, les temps de production et les temps de cycle. C'est à dire, gérer les temps liés aux moyens de production en fonction d'informations diverses associées, aux ordres de production, à l'état des différents stocks, aux temps de passage, etc...

Afin de valider les développements du système de prise de décision « *logiciel de pilotage du système de production* », il est important de substituer le système réel par un modèle qui simule (reproduit) le comportement du système réel. Cette méthode de validation des développements informatiques est très

intéressante si afin de réaliser les tests, l'immobilisation du système réel est très difficile.

3.2. Outils orientés « fonction » ou « processus »

Généralement les outils de la seconde catégorie sont conçus selon une phase d'abstraction de haut niveau qu'on appelle la méta-modélisation. Son objectif correspond à l'implémentation des concepts fondamentaux qui seront utilisés par l'utilisateur final dans la phase de modélisation du système. Les fondements de ces concepts de haut niveau peuvent être tirés des méthodes analytiques telles que les files d'attente, les réseaux de Petri, les graphes de Markov... mais aussi de nouveaux concepts tels que ceux développés par Pegden et utilisés dans *ARENA* (Queue, Seize, Delay, Release...) ou ceux développés par notre laboratoire le LISTIC et utilisés actuellement dans la plate-forme *APOLLO* (Stp, Cp, Entité) [Habchi *et al.* 2003].

A la suite de la phase de méta-modélisation qui est transparente pour l'utilisateur final, les concepteurs d'outils de simulation mettent à disposition de ce dernier des bibliothèques regroupant un ensemble de fonctions dites également des primitives ou des blocks et qui peuvent être aussi bien génériques que spécialisées. Ainsi, le système de production est modélisé avec tous ses sous-systèmes opérationnel, informationnel et décisionnel à l'aide de ces fonctions (si elles sont disponibles). La complexité du modèle à réaliser dépend évidemment du système à étudier mais aussi des fonctions à utiliser (généricité, spécialisation, disponibilité...). Plus les fonctions disponibles sont abstraites et génériques plus la modélisation est complexe et restreinte à un cercle fermé de spécialistes et plus le domaine de simulation est large. Et inversement, plus ces fonctions sont naturelles plus la modélisation est simplifiée, le champ de simulation est ouvert à un nombre plus élevé d'utilisateurs potentiels et plus le domaine de simulation est réduit.

Les outils basés sur une approche par « fonction » ou par « processus » sont largement utilisés par la communauté de simulation. Les logiciels *ARENA* [Pegden *et al.* 1990] et *SLAM* [Pritsker 1986] [Pritsker 1991] présentent une bonne illustration de ce type d'outils utilisant l'approche par « fonction ». D'après certains auteurs, cette approche cadre naturellement les systèmes manufacturiers qui comprennent plusieurs parties devant interagir [Garzia *et al.* 1986], qui peuvent être décomposés en objets passifs et actifs (entités et ressources) [Peck *et al.* 1992], ou qui ont souvent des processus identiques [Mébarki 1995]. Elle consiste à décrire le fonctionnement d'un système comme une interaction de plusieurs processus, à travers les fonctions conçues au préalable. Chaque type de fonction décrit un processus élémentaire et générique du système à modéliser. Souvent, on considère dans ce type de modélisation la notion de file d'attente qui introduit certains problèmes dans la modélisation des systèmes

sans stocks. Quand un processus de type entité ne dispose pas de ressources suffisantes, il se met en attente dans une file jusqu'à ce qu'un autre processus le réveille. Cette approche combine la simplicité de description de l'approche orientée activité et l'efficacité de l'approche orientée événement.

La littérature dispose de peu d'analyses théoriques comparant les outils de simulation ou les approches de modélisation et de simulation. Les analyses empiriques sont encore moins nombreuses. Lyons *et al.* [Lyons *et al.* 2000] comparent trois approches à travers trois outils de simulation : *WITNESS*, *SIMNET II* et *OME*. Même si les trois simulateurs sont différents dans leur approche de modélisation, ils sont capables de modéliser et simuler les systèmes choisis par les auteurs. Une autre étude a été réalisée par Baines *et al.* [Baines *et al.* 1998]. Les auteurs ont utilisé plusieurs techniques statiques et dynamiques pour modéliser les flux d'un système de production de moteurs diesels, l'objectif étant l'estimation de l'aptitude de ces techniques à évaluer des stratégies de production. Dans un autre article, les auteurs proposent un cadre pour l'évaluation des outils de simulation [Hlupic *et al.* 1999]. Quelques études moins récentes existent. Dans une étude de cas réalisée en 1994 [Davis *et al.* 1994], les auteurs analysent 14 logiciels de simulation à événements discrets. Ekere et Hannan [Ekere *et al.* 1989] évaluent 4 langages de simulation en utilisant 25 cas différents de simulation. D'autres études concernant l'évaluation de certains logiciels de simulation et des approches utilisées, existent aussi [Banks *et al.* 1991] [Hlupic 1994] [Hlupic *et al.* 1995].

4. Conclusion

Si dans le cadre de nos travaux passés, des recherches ont été réalisées pour améliorer certaines des étapes du processus de simulation (la modélisation, la programmation...), d'autres travaux doivent être poursuivis ou envisagés pour aborder le processus proprement dit ainsi que les autres étapes du processus. En effet, les problèmes que tout utilisateur de simulation peut rencontrer dans un projet de simulation sont de deux natures différentes.

D'abord, il y a les problèmes qui sont directement liés au processus de simulation lui-même, c'est à dire :

- le problème posé par le choix d'un processus parmi un certain nombre de points de vue différents et les difficultés qui en découlent pour un utilisateur non expérimenté, nous supposons que cet article apporte déjà un point de départ pour cette problématique,
- le déroulement des étapes du processus qui est par nature itératif nécessitant une grande expérience et une intuition personnelle,
- la négligence de certaines étapes du processus par ignorance du domaine et en pensant qu'un processus de simulation équivaut à une phase de programmation informatique...

Ensuite, il y a les problèmes qui concernent directement la réalisation même des différentes étapes du processus de simulation, c'est à dire :

- le manque de relations formalisées permettant de faire le lien de manière explicite entre les étapes du processus et de tenir compte des objectifs définis dans les étapes précédentes...
- le manque de méthodologie et de méthode permettant de guider l'utilisateur dans la réalisation des différentes étapes du processus (méthodes d'analyse et de formulation du problème de manière cohérente avec les concepts de l'outil utilisé, méthodes de collecte et d'analyse des données à introduire dans un modèle de simulation en cohérence avec les objectifs de simulation, méthodes de structuration des expériences et d'analyse des résultats de simulation...).

Si l'intégration du processus de pilotage à l'aide des concepts que nous avons développés dans d'autres travaux [Habchi 2001] [Habchi *et al.* 2003] peut réduire le nombre d'expériences par l'action en cours de simulation sur certains paramètres du système suite à l'évaluation de sa performance, il est nécessaire pour d'autres modèles, d'intégrer des outils tels que les plans d'expériences pour la structuration des essais et l'analyse de la variance pour la détermination des interactions éventuelles entre certains facteurs.

Vu ces problèmes, nous pouvons nous poser les questions suivantes en vue de travaux futurs :

- faut-il normaliser ou standardiser un processus de simulation ? dans l'affirmative quel processus standardiser ?
- faut-il imposer à un utilisateur expérimenté un processus de simulation différent de son point de vue ?
- faut-il ignorer des utilisateurs non expérimentés mais pouvant devenir potentiels ?
- comment pouvons-nous réduire voire éliminer les risques rencontrés dans une mauvaise utilisation de la simulation, même par des utilisateurs expérimentés ?
- faut-il faire en sorte pour que la simulation reste uniquement un domaine privilégié des spécialistes ?...

5. Références

[Baines *et al.* 1998] T.S. Baines, D.K. Harrison, J.M. Kay and D.J. Hamblin, « *A consideration of modelling techniques that can be used to evaluate manufacturing strategies* », International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 14, 1998, pp. 369-375.

[Balci 1994] O. Balci, « *Validation, verification, and testing techniques throughout the life cycle of a simulation study* », Annals of Operations Research, Vol. 53, 1994, pp. 121-173.

[Banks 1994] J. Banks, « *Pitfalls in the simulation process* », Conference on New Directions in Simulation for Manufacturing and Communications, Operations Research Society of Japan, Tokyo, Japan, 1994, pp. 57-63.

[Banks *et al.* 1991] J. Banks, E. Aviles, J.R. McLaughlin and R.C. Yuan, « *The simulator: new member of the simulation family* », Interfaces, Vol. 21, No. 2, 1991, pp.76-86.

[Davis *et al.* 1994] L. Davis, G. Williams, « *Evaluating and selecting simulation software using the analytic hierarchy process* », Integrated Manufacturing Systems, Vol. 5, No. 1, 1994, pp. 23-32.

[Dragini *et al.* 1998] G. Dragini, N. Brinzei, I. Filipas. « *La modélisation et la simulation en vue de la conduite des systèmes de production* ». 1998.

[Ekere *et al.* 1989] N.N. Ekere and R.G. Hannam, « *An evaluation of approaches to modelling and simulating manufacturing systems* », International Journal of Production Research, Vol. 27, No. 4, 1989, pp.599-611.

[Garzia *et al.* 1986] R.F. Garzia, M.R. Garzia, B.P. Zeigler, « *Discrete event simulation* », IEEE Spectrum, December 1986, pp. 32-36.

[Habchi 2001] G. Habchi, « *Conceptualisation et Modélisation pour la Simulation des Systèmes de Production* », Décembre 2001, HDR, Université de Savoie.

[Habchi *et al.* 2003] G. Habchi, C. Berchet, « *A Model for Manufacturing Systems Simulation with a Control Dimension* », SIMPRA, Editions Elsevier, Pays-Bas, vol. 11, n°1, 2003, pp. 21-44.

[Hlupic 1994] V. Hlupic, « *Manufacturing simulators : an evaluation and comparison* », International Journal of Manufacturing Systems, Vol. 1, No. 3, 1994, pp. 177-185.

[Hlupic *et al.* 1995] V. Hlupic and R.J. Paul, « *A critical evaluation of four manufacturing simulators* », International Journal of Production Research, Vol. 33, No. 10, 1995, pp. 2757-2766.

[Hlupic *et al.* 1999] V. Hlupic, Z. Irani and R.J. Paul, « *Evaluation framework for simulation software* », International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 15, 1999, pp. 366-382.

[Hoover *et al.* 1989] S. Hoover, R. Perry, « *Simulation – A problem solving approach* », Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.

[Kosturiak *et al.* 1998] J. Kosturiak, M. Gregor, « *FMS simulation: some experience and recommendations* », Simulation Practice and Theory Journal, Elsevier, Vol. 6, No. 5, 15 July 1998, pp. 423-442.

[Law 1994] A. Law, « *How to successfully simulate your system* », Conference on New Directions in Simulation for Manufacturing and Communications, Operations Research Society of Japan, Tokyo, Japan, 1994, pp. 1-3.

[Law *et al.* 1991] A.M. Law, W.D. Kelton, « *Simulation modeling and analysis* », Second edition, McGraw Hill, New York, NY, 1991.

- [Le Moigne 1990] J.L. Le Moigne, « *La théorie du système général : théorie de la modélisation* », 2^{ème} édition, Paris, 1990.
- [Lehaney et al. 1998] B. Lehaney, H. Kogetsidis, A. Platt, S. Clarke, « *Windows-based simulation software as an aid to learning* », Journal of European Industrial Training, Vol. 22, No. 1, 1998, pp. 12-17.
- [Lyons et al. 2000] A.C. Lyons, M. Nemat and W.B. Rowe, « *A comparative study of alternative approaches to modelling the operations of a small enterprise* », Work Study, Vol. 49, No. 3, 2000, pp. 107-114.
- [Mébarki 1995] N. Mébarki, « *Une approche d'ordonnancement temps réel basée sur la sélection dynamique de règles de priorité* », Thèse de doctorat de l'université Claude Bernard Lyon I, 1995.
- [Mitrani 1982] I. Mitrani, « *Simulation techniques for discrete event systems* », Cambridge University Press, Cambridge, 1982.
- [Musselman 1993] K.J. Musselman, « *Guidelines for simulation project success* », Winter Simulation Conference, IEEE, New York, NY, USA, 1993, pp. 58-64.
- [Nance 1994] R.E. Nance, « *The conical methodology and the evolution of simulation model development* », Annals of Operations Research, Vol. 53, 1994, pp. 1-45.
- [Ouabiba 2001] M. Ouabiba, N. Mébarki, P. Castagna. « *Couplage entre méthodes d'optimisation itératives et modèles de simulation à événement discrets* ». MOSIM 01, 2001.
- [Peck et al. 1992] S.N. Peck, S.J.E. Taylor, « *Modelling discrete-event systems using co-opting processes* », Summer Computer Simulation Conference, 1992, pp. 53-57.
- [Pegden et al. 1990] C.D. Pegden, R.E. Shannon, R.P. Sadowski, « *Introduction to simulation using SIMAN* », McGraw Hill, New York, NY, 1990.
- [Pillet 2004] M. Pillet, « *Six Sigma - Comment l'appliquer* », Editions d'Organisation, 2004, 480 pages.
- [Pritsker 1986] A.A.B. Pritsker, « *Introduction to simulation and SLAM II* », Halsted Press, New York, NY, 3rd edition, 1986.
- [Pritsker 1991] A.A.B. Pritsker, « *Introduction to simulation and SLAM II* », Halsted Press, New York, NY, 5th edition, 1991.
- [Robinson 1994] S. Robinson, « *Simulation projects : building the right conceptual model* », Industrial Engineering, September 1994, pp. 34-36.
- [Taylor 1965] F.W. Taylor, « *La direction scientifique des entreprises* ». Paris, Editions Dunod, 1965. 309 pages (les textes originaux datent des années 1909 et 1912).
- [Tecnomatix 2004] www.tecnomatix.fr, Société Tecnomatix.
- [Yucesan et al. 1992] E. Yucesan, S.H. Jacobson, « *Building correct simulation models is difficult* », Winter Simulation Conference, IEEE, New York, NY, USA, 1992, pp. 783-789.