

## LA SIMULATION DES SYSTÈMES DE PRODUCTION

par Bruno ANCELIN

L'industrie automobile traverse aujourd'hui, comme d'autres secteurs industriels en ont connu avant elle, une phase de mutation profonde. L'évolution des systèmes automatisés de production discontinue, qui est l'une de ses caractéristiques, est fortement influencée par le besoin grandissant de flexibilité de l'appareil de production.

L'automatisation de la fabrication de pièces diversifiées avec les mêmes machines fait surgir des problèmes techniques nouveaux.

Parmi les nouvelles méthodes d'études développées pour résoudre ces problèmes, la simulation tient une place de choix.

Elle s'avère un outil bien adapté pour la conception et l'amélioration de systèmes de production discontinue automatisés. Elle permet ainsi de résoudre le difficile problème de l'évaluation des performances.

### 1 - L'ÉVOLUTION DES SYSTÈMES AUTOMATISÉS POUR LA PRODUCTION DISCONTINUE

L'industrie automobile se caractérise par une production discontinue par opposition aux industries de process, comme la chimie ou l'énergie. On constate que l'automatisation dans ce genre de production a commencé en 1950 pour la fabrication des pièces principales des moteurs, des boîtes de vitesse et généralement des organes mécaniques pour s'étendre dans les années 1960 à la fabrication des pièces de carrosseries et à leur assemblage par points de soudure.

La grande série permettait l'automatisation d'opérations répétitives. Les machines transferts et spéciales sont caractérisées par un pas à pas mécanique d'enchaînement des opérations.

On a pu ainsi automatiser la fabrication complète de pièces d'un seul type, selon un ordonnancement simple d'opérations synchrones.

Les méthodes d'études et les matériels sont issus de la logique combinatoire, pour laquelle un "savoir-faire" important existe.

La limite de ces systèmes tient à leur rigidité dans le temps (investissement d'un seul coup très lourd et modifications très difficiles) et dans leur incapacité à s'adapter à des produits différents.

Dès les années 1970, le besoin de flexibilité de l'appareil de production automatisée se fait sentir ; il faudra alors s'adapter à l'évolution rapide des produits et optimiser les investissements.

La conjonction de ces problèmes et des possibilités technologiques de l'électronique a fortement influencé les évolutions.

Depuis une dizaine d'années se développe une conception nouvelle des systèmes de production visant à automatiser la fabrication de pièces diversifiées avec les mêmes machines.

Des réalisations ont été faites pour flexibiliser les machines elles-mêmes avec les robots, les machines à commande numérique et les changeurs d'outils.

L'indépendance des opérations, les unes par rapport aux autres, est recherchée au travers de systèmes de manutention souples tels que les réseaux de chariots automoteurs et d'organisation des machines appelés lignes ou ateliers flexibles.

Les premières réalisations ont fait surgir des problèmes techniques nouveaux tels que :

- la coordination d'activités parallèles et asynchrones
- la gestion de ressources partagées
- la conduite en temps réel avec l'apparition d'un système d'information branché sur le système physique.

Pour les résoudre, des méthodes nouvelles d'études se sont développées ; au premier rang la simulation reste souvent le seul moyen d'évaluation fiable lorsque la modélisation mathématique et le calcul s'avèrent insuffisants.

En effet, le degré de complexité, qui est atteint aujourd'hui par les installations automatisées, rend difficile l'analyse et l'évaluation uniquement fondées sur le savoir-faire ou l'expérience accumulée ; les nécessités économiques posent le problème des moyens d'aide à la conception et à la décision ; dans une installation automatisée, la part des frais de main d'oeuvre directe décroît fortement et les facteurs prédominants deviennent l'amortissement des installations et le coût des stocks. Le dimensionnement des installations devient alors un choix primordial.

#### L'UTILISATION DES OUTILS D'AIDE A LA CONCEPTION DES SYSTEMES AUTOMATISES

Le cycle de vie d'un atelier automatisé comprend quatre étapes principales - la conception, la réalisation, la mise en service et l'exploitation. Ces étapes permettent de passer de l'expression d'un besoin "client" à un système de production en état de fonctionnement. Parmi elles, la conception et l'exploitation sont concernées par la simulation qui, dans chaque cas, va devoir répondre à des objectifs différents. La nécessité de disposer d'une image, d'un modèle dynamique du système s'est donc imposé pour évaluer les performances dans différentes hypothèses et pour choisir les meilleures à différents niveaux de détail et de précision.

En effet, la multiplicité des personnes et des métiers intervenant dans la conception amène à rechercher un moyen de communication simple s'appuyant sur une représentation compréhensible par tous. Le dessin industriel classique, s'il est compréhensible par la majorité des personnes, ne représente que très partiellement le système.

Lors des phases de la conception (analyse de la demande, préétude du système, étude de la mécanique, étude de l'automatisation), la simulation s'impose dans la préétude et dans l'étude de l'automatisation elle-même, très interdépendante de celle de la mécanique. Ainsi, dans le cycle de vie, trois domaines d'application de la simulation peuvent être envisagés : la préétude, l'étude détaillée et l'exploitation.

L'objectif d'une simulation est d'évaluer, de façon prévisionnelle, les performances du système en cours de conception. La simulation est actuellement l'outil le plus utilisé et le plus industriel, mais ce n'est pas le seul.

Deux types de méthodes sont envisageables pour dimensionner une installation :

- la modélisation mathématique et le calcul
- la modélisation pour simulation.

### 2.1 - L'insuffisance des modèles mathématiques

Les méthodes de modélisation mathématique actuellement connues (basées sur la théorie des files d'attente) ne sont applicables que pour des configurations d'installation et des conditions d'exploitation bien particulières.

Les hypothèses les plus couramment exigées (réseaux composés uniquement de files d'attente, arrivées poissonniennes, temps de services exponentiels, routages probabilistes) pour résoudre de tels problèmes sont également éloignées de la réalité industrielle.

De plus, le calcul ne donne des résultats que relativement à des régimes moyens de fonctionnement. Les informations pertinentes telles que les en-cours maximaux, la dérive de ceux-ci en cas de panne, les fluctuations de charge des machines, ne peuvent être observées.

Les hypothèses formulées dans le cadre de l'utilisation de telles méthodes apparaissent irréalistes ; cependant l'expérience montre que les résultats fournis par ces méthodes sont comparables, dans certains cas, à ceux obtenus par simulation. Mais la justesse de ces résultats ne peut être prédite, dans la mesure où l'on ignore l'impact quantitatif des hypothèses des méthodes mathématiques.

Solution rapide et prometteuse, le calcul analytique ne gagnera le milieu industriel qu'après une phase de vulgarisation et un temps d'apprentissage.

### 2.2 - L'attrait de la modélisation pour simulation

Dans le cas de modélisation pour simulation, il s'agit de faire correspondre à chaque sous-ensemble de l'installation une entité dont

Il évolue, en cours de simulation, aura le même comportement que celui du sous-ensemble considéré.

Les avantages de la simulation sont :

- la **facilité** de compréhension du modèle
- la **représentativité** du modèle (qui peut être aussi proche que l'on veut de la **réalité**)
- l'**observabilité** du fonctionnement simulé.

Il faut néanmoins noter que ces avantages dépendent en grande partie du simulateur **utilisé**.

L'inconvénient majeur de la simulation consiste dans la **particularité** (non-exhaustivité) du comportement observé.

En **effet**, chaque simulation ne correspond qu'à une expérience. Dans le cas quasi général où certains paramètres de simulation sont aléatoires, chaque valeur observée ne correspond qu'à un point d'une courbe de répartition.

Cet inconvénient étant connu, il n'en demeure pas moins que la simulation reste souvent le seul moyen d'évaluation fiable.

### 3 - LES PROBLEMES QUE PEUT TRAITER LA MODELISATION/SIMULATION

La simulation est un **outil industriel** capable :

- d'analyser quantitativement une situation d'apparence complexe
- de mesurer, chiffres en main, les conséquences d'un choix
- d'apporter des arguments techniques et quantifiés pour défendre un projet ou une étude d'amélioration.

Plus encore qu'un **outil d'évaluation**, la simulation et le modèle qu'elle impose de créer, amènent le concepteur à **réfléchir** au fonctionnement intime de son système. L'outil d'évaluation devient alors un **outil de communication** et d'aide à la réflexion.

En tant qu'**outil d'évaluation**, la simulation peut être **utilisée** successivement dans toutes les phases d'un projet de conception d'atelier automatisé. Le niveau de **détail** du modèle va devenir plus fin avec le raffinement des choix technologiques.

3.1 - Le modèle est très fonctionnel en préétude, où on analyse le flux de pièces. A ce stade, on recherche le meilleur compromis entre deux exigences contradictoires, à savoir :

- la **minimisation** du temps de séjour des pièces dans l'**atelier**
- la **maximisation** du temps d'**utilisation** des principaux moyens de fabrication.

Cette optimisation a essentiellement un **objectif économique** : augmenter l'**efficacité** de l'**investissement** et réduire le volume des en-cours.

Dans cette phase de préétude, les problèmes à résoudre sont généralement les suivants :

- . définition du nombre de machines
- . définition de l'architecture du système (moyens de transport et capacité de stockage)
- . calcul des cadences de production pour les différentes pièces
- . test des hypothèses sur la politique de gestion.

3.2 - Dans l'étude détaillée, les choix de réalisation sont en cours et il s'agit de les valider. Le modèle utilisé est très proche de la réalité physique et fait intervenir une grande part de fonctionnement déterministe.

A ce stade sont validés les mécanismes précis de fonctionnement (orientation du flux de pièces), les algorithmes de gestion des moyens, l'implantation... Le modèle détaillé permet alors de rendre compte des effets de l'intégration des moyens de production et de manutention (volume d'en-cours limité, ressources en nombre limité, contraintes de circulation du flux...).

Il permet également de tester l'effet des aléas de production (arrêts propres des moyens, défauts des pièces...).

3.3 - En exploitation, le modèle de simulation doit exactement représenter l'atelier à conduire. En prise directe d'informations dans l'atelier sur les variables utiles (nombre de pièces, remplissage des stocks, utilisation des moyens...), le modèle peut être utilisé par le responsable de l'atelier pour évaluer les conséquences de décisions qu'il doit prendre, en cas de perturbation de la production.

L'entrée des hypothèses et la réponse de simulateur doivent alors être très rapides. Ce type d'outil n'existe pas encore à l'heure actuelle, mais le besoin s'en fait sentir. Il aurait le grand avantage de dégager le responsable d'atelier d'un calcul d'optimisation complexe qu'il doit implicitement faire dans les conditions actuelles sans avoir nécessairement tous les éléments du problème.

#### 4 - LE DEROULEMENT D'UN PROJET DE MODELISATION/SIMULATION

Un projet de simulation comprend classiquement quatre étapes :

- . l'analyse du problème
- . le recueil des données
- . la modélisation et l'exploitation du modèle (simulation proprement dite)
- . l'analyse des résultats et la synthèse.

##### 4.1 - L'analyse du problème

Il s'agit sans doute de la phase la plus importante dans la mesure où elle

va permettre de limiter les contours du problème à traiter d'une part, et à réunir les spécialistes participant au projet et détenteurs de l'information d'autre part.

Ces spécialistes peuvent être les préparateurs des Méthodes, des Services Techniques Usine, les exploitants ou futurs exploitants de l'atelier, etc...

#### 4.2 - Le recueil des données

Il ne faut pas oublier qu'un modèle de simulation ne donne de résultats que relativement à un problème posé avec les données *l'ouAnlu*. L'étape d'analyse ayant posé le problème, les données doivent être collectées (ou mesurées lorsqu'il s'agit d'une étude visant l'amélioration de l'existant).

Les données à fournir au modèle dépendent évidemment de l'objectif de celui-ci. Ce sont en général :

- les gammes des pièces à produire et les programmes de production
- la structure physique de l'atelier, les caractéristiques des machines (temps de cycle, enchaînement) et des manutentions utilisées (convoyeurs à rouleaux, chariots filoguidés...)
- les règles de pilotage de l'atelier
- les données de fiabilité des moyens de production (ce sont les plus difficiles à collecter, surtout dans le cadre d'un projet de conception d'un nouvel atelier, pour lequel il faut avoir une banque de données sur les équipements).

Ces données peuvent être au contraire des résultats selon l'étape du cycle de vie où est utilisée la simulation. Par exemple, les règles de pilotage peuvent être mises au point interactivement pendant l'étape d'étude détaillée ; les résultats d'une simulation constituent alors les données de la suivante.

#### 4.3 - La modélisation/simulation proprement dite

Le modèle de l'atelier est construit en utilisant éventuellement un langage spécifique de simulation. Il convient de signaler qu'il existe des langages permettant de représenter les fonctionnalités spécifiques des systèmes discontinus et de les simuler pour calculer leurs performances.

Ces langages (SLAM, SIMAN, ECSL, QNAP,...) ont fait l'objet d'une étude comparative financée par l'Agence pour le Développement de l'Informatique, qui a permis à la Direction des Affaires Scientifiques et Techniques du Groupe Renault, de faire le choix technique d'un de ces langages.

Renault/Dast et Seri/Renault Ingénierie ont maintenant acquis, tant en interne que vis-à-vis de clients extérieurs, un savoir-faire en modélisation/simulation au travers de nombreux cas industriels traités.

La phase de modélisation/simulation est d'autant plus réduite que le langage de modélisation est puissant et de haut niveau.

#### 4.4 - L'analyse des résultats et la synthèse

Les résultats que l'on peut obtenir par une simulation sont typiquement :

- la capacité de production de T unité
- la cadence de production
- l'engagement ou le rendement des moyens de production, de manutention et du personnel
- le niveau des stocks-tampons pour amortir les pannes
- les temps de passage des pièces, etc...

La synthèse est faite de concert avec tous les spécialistes qui ont suivi le projet. Cette synthèse se traduit par une suite de recommandations et de conclusions permettant d'orienter le choix du responsable industriel.

Ce projet pourra déboucher sur des études complémentaires, du type gestion de production, automatisation et flexibilisation des lignes existantes, définition de nouveaux moyens, fiabilisation des équipements, modification d'organisation, etc...

### 5 - EXEMPLE : APPLICATION DE LA SIMULATION A L'EVALUATION DES PERFORMANCES D'UN CIRCUIT DE CHARIOTS AUTOMOTEURS

#### 5.1 - Description du circuit

Le cas présenté ici est extrêmement simple : le circuit est une boucle. Les chariots prennent les pièces dans les postes de prise pour les déposer dans l'un des postes de dépôt suivants.

Les chariots doivent :

\* d'une part respecter des règles locales de circulation :

- lorsqu'un chariot est en manœuvre ou en transit sur un canton, aucun autre chariot ne peut être en mouvement sur ce même canton
- ainsi, si un chariot est arrêté en fin de canton en attente de la libération du canton suivant, tout autre mouvement est impossible dans le canton considéré
- dès qu'un chariot s'arrête dans un poste et qu'il ne pourra en ressortir de suite (parce que sa situation n'est pas libre, etc...), il libère le canton afin de permettre un autre mouvement
- par contre, s'il peut ressortir de suite, il le fait sans rendre le canton au chariot suivant ;

\* d'autre part, remplir les missions qui leur sont affectées par un système central de gestion.

Le concepteur disposait des degrés de libertés suivants :

- choix du nombre de chariots
- choix des règles d'affectation des missions.

## 5.2 - Structure du modèle de simulation

Cet exemple a été traité en utilisant le langage de simulation SLAM. Le modèle se décomposait en deux parties principales :

- le modèle de système physique
- le modèle des règles d'affectation des missions.

5.2.1 - Modèle du système physique : Il est constitué par un réseau SLAM. C'est un assemblage de sous-réseaux représentant respectivement :

- les postes de prise de pièces
- les postes de dépose de pièces
- les cantons de transit des chariots.

Nous ne nous étendrons pas sur la modélisation détaillée qui comporte 400 instructions en langage SLAM. La reproduction du réseau ne peut, faute de place, être fournie dans cet article.

5.2.2 - Modèle des règles d'affectation des missions : Ces règles d'affectation des missions aux chariots constituent le système de gestion centralisée de la boucle. Ces règles ont pour but :

- de déterminer l'affectation d'un chariot rendu libre à un poste de prise de pièces
- de déterminer l'affectation d'un chariot chargé à l'un des postes de dépose possibles
- d'éviter les conflits entre chariots et entre poste par gestion des appels de chariots dans les postes.

Ces règles ont été implantées, grâce à l'interface "fonction utilisateurs" dont dispose SLAM, en langage FORTRAN. La taille du programme de gestion est d'environ 400 lignes de FORTRAN.

## 5.3 - Mise en oeuvre de la simulation

Le logiciel SLAM a été implanté à la Direction de la Recherche RENAULT sur ordinateur DEC/VAX 11/750. Environ 40 simulations du circuit de chariots ont été effectuées. Chaque simulation permet d'obtenir, en 2 mn de calcul environ, les résultats relatifs à une équipe de production (8h). L'étude complète comprenant :

- la spécification du problème
- la collecte des données sur le terrain (il s'agissait d'un atelier existant)
- la modélisation et la mise au point
- les essais (étude multiparamètres) et l'exploitation des résultats,

est évaluée à 3 ingénieurs x mois.

5.4 - Résultats obtenus

La simulation a permis, dans ce cas particulier :

- d'améliorer substantiellement la méthode de gestion des chariots par tests successifs, de façon à accroître la cadence de l'atelier (+ 33 % en l'absence de pannes)
- de connaître les lois donnant cette cadence en fonction respectivement :
  - \* de pannes de chariots
  - \* du nombre de postes de contrôle en service
  - \* du taux de retouche de l'atelier
  - \* du nombre de charriots en service
  - \* de voyages "parasites" d'autres chariots, la boucle n'étant pas, en réalité, un système fermé.

Le lecteur trouvera sur la figure n° 1, entre autres résultats, le diagramme des flux de chariots entre les différents postes de la boucle.

6 - CONCLUSION : LES APPORTS DE LA SIMULATION

Par sa souplesse d'utilisation, sa puissance d'analyse, sa rapidité de mise en oeuvre, la simulation est devenue l'outil indispensable à toute entreprise vivante et ceci pour deux raisons principales :

- tout d'abord, la simulation est une aide à la décision irréfutable. En effet, elle permet de valider un choix en toute connaissance de cause (vue globale d'un problème, synthèse de facteurs complexes aux imbrications délicates) ;
- d'autre part, la simulation est une aide à l'investissement ; elle permet d'entreprendre audacieusement en minimisant les risques. En effet, un calcul manuel, même statistique, ne peut dimensionner des unités de production que de façon très imprécise, seule la simulation évite de se lancer dans des investissements sous-dimensionnés ou sur-dimensionnés, l'un et l'autre étant également préjudiciables.

Ces deux apports se sont manifestés lors de chaque projet conduit par simulation. Il n'est pas rare, par exemple, d'obtenir une économie de 10 à 20 % sur les moyens à mettre en place. La simulation a permis dans de nombreux cas, des gains sur les équipements de stockage. Enfin, dans certains cas, elle a permis de vérifier la mal-d'oeuvre nécessaire dans chaque qualification.

Ainsi, l'évaluation d'unités de production par modélisation et simulation est largement rentabilisée par les gains qu'elle permet d'obtenir (gains de temps, gains économiques, gains financiers).

*On acquit et la puissance des outils permettent de flatter n'importe quel problème d'évaluation de performance pour un coût relativement faible une étude d'une généralement moins de deux mois.*



Références

ALANCHE P. et ANCELIN B. (1984)

"Evaluation des simulateurs à événement discrets", Le nouvel automatisme, mars 1984, p. 61-68.

BEL G. (1983)

"Méthodes et langages de simulation pour la production automatisée : principes, choix, utilisation", Congrès AFCET Automatique, Besançon 1983.

HEALY (1986)

"Cinéma tutorial", Proceedings of the 1986 Winter Simulation Conference, 1986, p. 207-211.

HERITIER C., PIERREVAL H. (1987)

"Apport de la simulation à la conception de systèmes de transport par chariots **fil**o-guidés : application au cas d'une fonderie d'aluminium", rapport interne MIAG-ENSM de St Etienne, sept. 1987.

PIERREVAL H. (1988)

"Learning about manufacturing control with simulation", Proc. of the European Simulation Multiconference : factory of the future, Nice, juin 1988.

S.C.S. (Society for Computer Simulation) (1987)

"Catalog of simulation softwares", Simulation oct 1987, p. 165-181.

TALAVAGE (1983)

"Simulating manufacturing systems", IEEE spectrum, mai 1983, p. 53-55.

USINICA (1987)

Session sur les outils de simulation, compte rendu des journées JIIA : Journées Internationales de l'Informatique et l'Automatique, Paris, juin 1987.

