

# Intégration des flux inverses dans la gestion des stocks et de la production

Hichem Zerhouni  
Jean-Philippe Gayon  
Yannick Frein

Laboratoire G-SCOP  
INP Grenoble  
46, Avenue Félix Vialet  
38031 Grenoble Cedex, France  
Hichem.Zerhouni@g-scop.inpg.fr  
Jean-Philippe.Gayon@g-scop.inpg.fr  
Yannick.Frein@g-scop.inpg.fr

## 1. Introduction

Le recyclage des produits et matériaux est en plein essor depuis quelques années, non plus seulement pour des raisons économiques mais aussi pour des raisons écologiques. Les législations mises en place obligeant les industriels à recycler leurs produits. Ainsi sommes-nous en train de passer d'une société industrielle fortement dissipatrice en matières premières à une société basée sur le recyclage [4]. En termes logistiques, cette évolution sociétale donne lieu à des flux grandissants de matières du consommateur au producteur : *les flux inverses*. Nous voulons nous intéresser au cas où le producteur est confronté à un retour de ses propres produits, en quantités et qualités variables. Ce flux retour, en s'ajoutant au flux de production initial, perturbe et complique la gestion classique des stocks et de la production [2]. La prise en compte et l'étude progressive des problèmes liés aux flux inverses nous a conduit à considérer différents modèles de systèmes de production.

Nous allons dans ce qui suit présenter les premiers modèles étudiés, les travaux en cours ainsi que les principales perspectives de recherche.

## 2. Modèles étudiés

### 2.1. Modèle indépendant

Gayon [3] a considéré le problème suivant. Soit un système de production par anticipation où le producteur a la possibilité de démarrer et d'arrêter la production (unitaire) à tout moment :

- La production, à capacité finie, est distribuée selon une loi exponentielle de taux  $\mu$  ;
- Les demandes de produits en stock arrivent se-

- lon un processus de Poisson de taux  $\lambda$  ;
- Une demande qui ne peut être immédiatement satisfaite, lorsque le stock est nul, est perdue ;
- Nous supposons également des retours aléatoires de produits en stock qui peuvent être réutilisés pour satisfaire de nouvelles demandes. Le stock est commun aux produits neufs et retournés ;
- Les retours des produits **ne sont pas corrélés** avec les demandes. Ces retours se font de manière **indépendante** selon un processus de Poisson de taux  $\delta$  ;
- Les coûts considérés sont des coûts de possession, de rupture de stock et de retours des produits

L'objectif est de déterminer la politique optimale de production qui minimise les coûts moyens ou actualisés. Gayon [3] montre que la politique optimale est de type *Base-stock* ; autrement dit, la production se poursuit tant que le niveau du stock est inférieur à un niveau de stock  $S$  (appelé base-stock level).

Ce modèle de base dit *modèle indépendant* servira de point de départ à la suite de nos travaux.

### 2.2. Modèle dépendant

Nous avons choisi d'entamer l'extension du modèle de base en prenant en compte le phénomène de dépendance entre la demande et les retours. Sur ce *modèle corrélé ou dépendant*, la formulation du problème ainsi que les paramètres utilisés restent les mêmes que lors du précédent modèle. Toutefois, l'hypothèse d'indépendance (des retours avec les demandes) est levée dans le cas présent. Désormais, une demande satisfaite conduit au retour d'un produit retourné avec une probabilité  $p$  après un temps exponentiel de taux  $\gamma$ . Le modèle corrélé est représenté par la figure 1.

Du point de vue du contrôle d'un tel système, on peut distinguer deux situations

- le nombre de pièces qui sont chez les clients et qui vont revenir est *observable*
- le nombre de pièces qui sont chez les clients n'est pas observable *observable*

Un modèle simplifié consiste à considérer le cas limite où le délai de retour est nul ( $\gamma \rightarrow \infty$ ).

## 3. Travaux

### 3.1. Premiers résultats

Les outils mathématiques principalement utilisés sont les chaînes de Markov, la théorie des files d'attente ainsi que les processus de décision markoviens [1] [5].

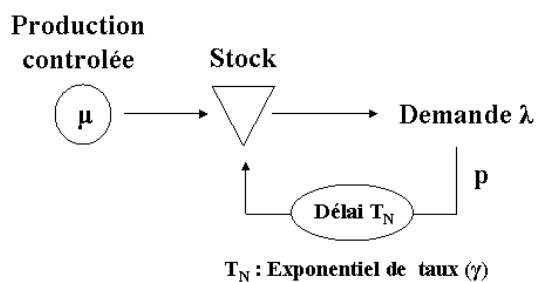


FIG. 1 – Modèle dépendant

Après avoir posé le problème, défini nos modèles et identifier les outils à utiliser, nous avons commencé par étudier le modèle dépendant dans le cas de retours immédiats. Pour ce modèle simplifié, nous avons montré dans un premier temps que la politique optimale était de type base-stock sous certaines hypothèses. Dans un deuxième temps, nous avons établi une formule analytique du coût moyen pour une politique base-stock. Enfin, nous avons comparé le modèle indépendant au modèle dépendant en vue de déterminer l'impact de la corrélation (entre retours et demandes) sur les stocks et coûts obtenus.

### 3.2. Travaux en cours

Nous pouvons maintenant présenter quelques uns des objectifs que nous nous sommes fixés et sur lesquels portent nos recherches :

- Nous travaillons actuellement sur des modèles avec retours différés, que ce soit dans le cas observable ou non observable décrits précédemment. Nous voulons caractériser sur ces modèles la politique optimale de production (d'approvisionnement des stocks) ;
- De plus, nous étudions l'influence du délai sur les paramètres de performance du système (stocks et coûts) ;
- Des comparaisons entre les différents modèles (retours immédiats et différés, observables ou non) sont également en cours afin d'identifier les éventuelles convergences.

### 4. Perspectives de recherche

Les modèles présentés ci-dessus sont les premiers modèles sur lesquels s'est portée notre attention. Ces derniers gagneraient cependant à être étendu et enrichi. Ainsi, une recherche intéressante serait de lever l'hypothèse selon laquelle les demandes non satisfaites (stock nul) sont perdues. Ces de-

mandes seraient **mises en attente**. D'autre part, se pose la question du Remanufacturing. En effet, si notre modèle considère que les produits retournés peuvent être directement réinjectés en stock, la pratique nous montre souvent qu'il est nécessaire de traiter (réparation, remise à neuf, etc) ces produits avant de les remettre en stock. La prise en compte de ce processus et des problèmes qui en découlent (partage des ressources) constitue une perspective intéressante d'enrichissement de notre travail. Aussi, l'arbitrage entre les flux fournisseurs (contrôlables) et les flux inverses (aléatoires) constitue une réelle problématique à laquelle nous allons tenter d'apporter des éléments de réponse.

Enfin, la coexistence de produits neufs et remanufacturés pose la question des prix facturés aux consommateurs. Comment intégrer alors la politique de prix à la gestion des stocks ?

### Bibliographie

1. B. Baynat. *Théorie des files d'attente, des chaînes de Markov aux réseaux à forme produit*. HERMES science publications, 2000.
2. G. DeCroix, J-S. Song, and P. Zipkin. A series system with returns : Stationary analysis. *OPERATIONS RESEARCH*, 52 NO. 2 :350–362, 2005.
3. J-P. Gayon. A make-to-stock queue with product return. *Working paper* (<http://www.g-scop.inpg.fr/gayonj/>), 2007.
4. Fabrice Mathieux. *Contribution à l'intégration de la valorisation en fin de vie dès la conception d'un produit*. PhD thesis, ENSAM, Chambéry, 2002.
5. M.L Puterman. *Markov Decision Processes, discrete stochastic dynamic programming*. Wiley-Interscience, 1994.