

# Etude de la mise en place d'armoires automatiques de distribution des médicaments dans un service d'urgence

Di Martinelly Christine\*, Rappold James \*\*

Riane Fouad\*, Bonvoisin\*\*\* Frédéric, Guinet Alain\*\*\*\*

- \*CREGI, FUCAM, Chaussée de Binche 151, 7000 Mons- Belgique {dimartinelly ;riane}@fucam.ac.be
- \*\*University of Wisconsin Madison, 601 University Avenue, Madison, WI 53715, jrappold@wisc.edu
- \*\*\*C.H.U. Brugmann – Place A. Van Gehuchten, 4 – 1020 Bruxelles – Belgique, [frederic.bonvoisin@chu-brugmann.be](mailto:frederic.bonvoisin@chu-brugmann.be)
- \*\*\*\*Laboratoire PRISMa, INSA (Lyon), bât Jules Verne, 19 avenue Jean Capelle, 69621 Villeurbanne cedex, France, [alain.guinet@insa-lyon.fr](mailto:alain.guinet@insa-lyon.fr)

---

*RÉSUMÉ : L'hôpital Brugmann envisage la mise en place d'une armoire automatique de dispensation de médicaments au niveau du service des urgences. L'évaluation de ce projet est faite sur base d'indicateurs définis dans le cadre d'une méthodologie globale pour nous assurer que les améliorations apportées au flux pharmaceutique prennent en compte le flux patient et les différentes parties prenantes de l'hôpital. Dans cet article, nous nous intéressons plus particulièrement aux questions de gestion des stocks pour déterminer les quantités à conserver dans les armoires et évaluer les gains potentiels par rapport à la situation actuelle. Nous appliquons un modèle mathématique multi-produit, multi-échelon, contraint par la capacité pour une demande aléatoire non stationnaire.*

*MOTS-CLÉS : gestion des stocks, modélisation, conception et pilotage.*

---

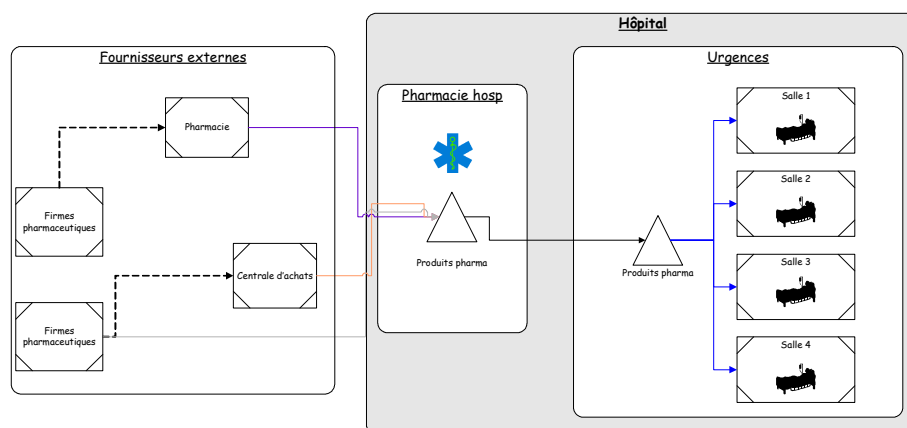
## 1. Introduction

Le flux pharmaceutique au sein d'un hôpital est important et constitue à la fois un enjeu médical et financier. En effet, il est le support de l'activité de soins des patients, hospitalisés ou en ambulatoire, en mettant à disposition les médicaments nécessaires. Toute erreur peut avoir des conséquences graves voire fatales sur la vie du patient. D'un point de vue financier, il est également un des flux logistiques les plus conséquents, pouvant s'élever à 30 voire 40 % de leur budget (Beaulieu *et al.*, 2001). Par exemple, pour un département de chirurgie, le montant des produits stockés peut représenter dans certains cas 30% du montant des dépenses annuelles (Hayas, 1997). Dans le contexte actuel de réduction des subventions et d'exigence d'une meilleure qualité de soins, les améliorations apportées à la gestion et la dispensation des produits pharmaceutiques ne peuvent être que bénéfiques. Toutefois, les changements apportés au flux pharmaceutique doivent s'inscrire dans une démarche globale prenant en compte le flux patient. Dans cet article, nous considérons la gestion des stocks et des approvisionnements des médicaments au niveau d'un service d'urgences, en envisageant la mise en place d'armoires automatiques de dispensation. Dans un premier temps, nous décrivons le contexte de la distribution des produits pharmaceutiques dans cet hôpital et nous exposons ensuite la méthodologie que nous avons suivie pour mener ce projet. Nous nous focaliserons ensuite sur la problématique de la gestion des stocks en présentant une revue de la littérature des recherches dans ce domaine en gestion hospitalière. Nous appliquons ensuite un modèle de gestion des stocks aux données du service des urgences.

## 2. Contexte de l'hôpital Brugmann

La distribution des produits pharmaceutiques est réglementée en Belgique par l'Arrêté Royal du 04/03/1991 (article 8) qui impose au pharmacien hospitalier d'assurer une distribution individualisée des médicaments, c'est-à-dire une distribution personnalisée des médicaments sur la base d'une prescription médicale nominative. Néanmoins, l'Arrêté Royal du 19/10/1978 (article 5, modifié par l'Arrêté Royal du 02/04/2002) prévoit que, pour les cas d'urgence, des armoires spéciales de médicaments (alimentées par distribution globale) peuvent être mises en place, sous la responsabilité du pharmacien titulaire. Par cas d'urgence, il faut considérer les situations où le besoin en médicaments n'est pas prévisible. Les services médicaux ou chirurgicaux hospitaliers où cette pratique est autorisée sont les urgences, les soins intensifs, le bloc opératoire, la néonatalogie, le bloc d'accouchement, les services médico-techniques et les consultations. Pour ces services, un stock de médicaments est constitué pour faire face à toute demande.

Nous nous intéressons dans cet article plus particulièrement au cas du service des urgences de cet hôpital belge qui fait l'objet d'une distribution globalisée. Le service des urgences dispose d'armoires de fonctionnement dans lesquelles les infirmières prélèvent les médicaments à administrer aux patients. Ces armoires sont vérifiées deux fois par semaine et les commandes passées auprès de la pharmacie permettent de reconstituer un niveau déterminé. La pharmacie, localisée dans un autre bâtiment, gère ses stocks sur base d'un système kanban et s'approvisionne auprès de diverses firmes pharmaceutiques. Les délais de livraison sont variables. Il n'est pas rare que des commandes soient passées en urgence, à un coût supérieur. La figure 1 schématise le flux des produits pharmaceutiques à destination des armoires de fonctionnement des urgences.



**Figure 1.** Flux des produits pharmaceutiques pour les urgences

Les patients arrivent aux urgences de manière tout à fait aléatoire, 7 jours sur 7, 24 heures sur 24. Il peut s'agir aussi bien de patients dont l'état requiert une hospitalisation que des patients en ambulatoire. Tous les médicaments doivent être disponibles pour faire face à n'importe quelle éventualité.

Le fonctionnement du système actuel pose un certain nombre de problèmes. Les infirmières passent un temps conséquent chaque semaine pour passer les commandes auprès de la pharmacie. Les niveaux de reconstitement actuels sont basés sur l'expérience, ce qui mène à un sur-stockage de certains médicaments et des pénuries d'autres produits pharmaceutiques. Ces différents éléments induisent des aléas, des coûts opérationnels supplémentaires et une

baisse de productivité. De ce fait, le service des urgences tend à disposer d'un stock conséquent de médicaments pour ne pas tomber en rupture de stock, faisant ainsi face à des coûts de stockage important, et exposant le système à un haut risque financier tout en n'améliorant pas forcément le traitement des patients. Les infirmières des urgences et le pharmacien prennent des décisions concernant les commandes de médicaments en ayant peu de concertation entre eux, ce qui rend la mise en place d'une gestion des stocks et d'une distribution efficace difficile au niveau de la pharmacie.

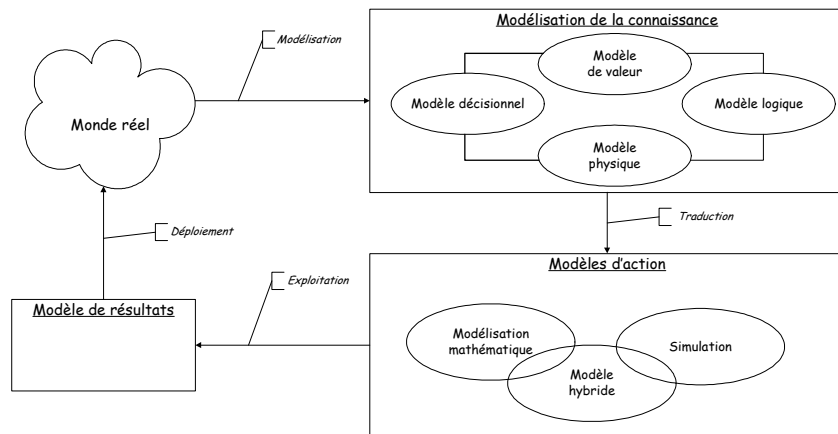
En outre, d'un point de vue médical, le système actuel soulève deux problèmes majeurs. Tout d'abord, les risques d'erreur de médication ne peuvent pas être contrôlés : les infirmières doivent agir la plupart du temps dans l'urgence et sont surchargées par les tâches administratives. Les erreurs de médication qui peuvent survenir sont par exemple, l'administration de la mauvaise dose, l'administration d'un médicament non prescrit ou encore l'oubli d'administration d'un médicament. Ensuite, l'absence de système d'information rend difficile voire impossible la traçabilité des médicaments ; il est difficile de savoir quel médicament a été administré à quel patient.

L'enjeu de cette étude est de prendre en compte à la fois les aspects médicaux et managériaux pour évaluer l'impact de l'introduction de ces nouvelles armoires. Ces armoires automatiques de dispensation de médicaments seront installées dans leur version décentralisée, c'est-à-dire basées dans le service des urgences et connectées par informatique à la pharmacie. Elles fonctionnent comme des distributeurs automatiques de billets et permettent à la fois de stocker et de délivrer les médicaments. Elles sont constituées d'un ensemble de tiroirs contenant une certaine quantité de médicaments. Pour obtenir des produits pharmaceutiques, le personnel soignant doit s'identifier en entrant un mot de passe. Les données du patient sont ensuite introduites dans le système. Seuls les tiroirs contenant les médicaments prévus pour le patient s'ouvrent. Les infirmières n'ont plus qu'à prélever les quantités requises.

Nous voulons déterminer si ce projet a un impact positif sur le processus de soin, s'il est financièrement rentable et déterminer les quantités à garder en stock au niveau des urgences et de la pharmacie, étant donné la demande aléatoire et l'espace de stockage limité. Dans ce papier, nous nous focaliserons sur les aspects managériaux et nous nous référerons à des études médicales pour évaluer l'impact de l'introduction de ces armoires automatiques sur la réduction des risques d'erreur de médication et l'amélioration de la traçabilité.

### **3. Cadre général de l'étude**

Pour envisager la mise en place des armoires automatiques de dispensation de médicaments, en prenant en compte aussi bien les aspects médicaux que managériaux, nous avons appliqué la méthodologie ASCI, Analyse, Spécification, Conception et Implémentation (Gourgand et Kellert, 1991), que nous avons étendue et modifiée (Di Martinelly *et al.*, 2006). Cette méthodologie, illustrée à la figure 2, structure notre démarche qui doit nous permettre d'aider l'hôpital à réorganiser son flux de produits pharmaceutiques au niveau du service des urgences.



**Figure 2.** Méthodologie ASCI modifiée et adaptée

Dans un premier temps, nous avons construit un modèle de connaissances à partir de l'étude et de l'analyse de la distribution et de la dispensation des médicaments dans le département des urgences. Ceci nous permet de mieux comprendre le fonctionnement du système réel, d'identifier les activités critiques, de définir des indicateurs de performance pour évaluer le fonctionnement du service, de décrire le processus et les règles de gestion et d'identifier les ressources. Pour élaborer ce modèle, des interviews ont été réalisées auprès des différentes personnes responsables et les différents processus de distribution et de dispensation des médicaments ont été décrits au moyen de logigrammes. Nous ne détaillerons pas dans cet article l'élaboration du modèle de connaissances. Le lecteur intéressé peut trouver une version détaillée dans (Di Martinelly *et al.*, 2006). Nous présenterons uniquement les indicateurs de performance que nous avons choisis et qui permettront d'évaluer la solution envisagée.

Ces indicateurs sont définis sur base de la taxinomie proposée par Li et Benton (1996). Le tableau 1 synthétise les différents indicateurs qui permettront d'apprécier le projet selon des critères satisfaisants à la fois le management (performance financière), le personnel médical et les patients (performance qualité).

	<b>performance financière</b>	<b>performance qualité</b>
<b>mesures internes</b>	rotation des stocks valeur des stocks	taux de service nombre de commandes urgentes temps passé à la gestion des stocks gestion administrative des dossiers patients
<b>mesures externes</b>	taux de récupération des médicaments taux d'erreur dû à l'oubli taux d'erreur dû à l'encodage	administration mauvaise dose administration médicament non prescrit oubli d'administration

**Tableau 1.** Indicateurs de performance

L'exploitation du modèle d'action doit nous permettre d'obtenir des valeurs pour les différents indicateurs. L'évaluation de l'implémentation des armoires automatiques sur les critères qualitatifs s'est basée sur des études médicales réalisées dans différents hôpitaux (Meier, 2001 ; Pasquier, 2002). Afin d'évaluer la performance financière, une étude a été réalisée au sein de l'hôpital sur les consommations des urgences. Pour évaluer la performance financière relative aux indicateurs de gestion des stocks, nous avons recours à la modélisation mathématique. Pour calculer les indicateurs de gestion des stocks, nous appliquons un modèle mathématique pour déterminer les quantités à garder en stock. Par comparaison avec les

valeurs obtenues au moment de l'inventaire, nous pourrions déterminer les gains potentiels de l'introduction des armoires.

Sur base des indicateurs de performance qui ont été définis, les décideurs de l'hôpital pourront enfin évaluer la solution envisagée, l'introduction des armoires automatiques de dispensation, et décider s'ils souhaitent l'implémenter ou non.

#### 4. Revue de la littérature

Les méthodes de gestion des stocks traditionnelles dans les hôpitaux sont basées sur le système de reapprovisionnement. Les systèmes d'approvisionnement les plus utilisés sont le système d'échange de conteneur ou le système par niveau (Taylor, 1990). Ces systèmes ont été largement mis en place en milieu hospitalier parce qu'ils sont facilement implémentables, ne requièrent pas de systèmes d'information élaborés et ont mené à des réductions de stocks conséquentes (Anonyme, 1998). Cependant, un des problèmes majeurs de l'utilisation de ces systèmes pour de multiples produits est que les niveaux définis tendent à refléter les stocks désirés par le personnel soignant plutôt que les quantités réellement nécessaires pour le département. Dans la plupart des cas, ces niveaux sont en effet contraints par l'espace disponible, sont basés sur l'expérience ou sont déterminés politiquement. Cette situation entraîne un sur-stockage de certains produits tandis que d'autres doivent être commandés en dehors des dates prévues (Veral et Rosen, 2001). Pour que le système soit efficace, les quantités de reapprovisionnement doivent être déterminées sur base de données historiques, pour autant que celles-ci soient en nombre suffisant.

Afin de déterminer les quantités et les fréquences de reapprovisionnement, des formules dérivées de la quantité économique de commande ont été appliquées. Suite au manque de système d'information, des modèles simples basés sur des structures de demande déterministe ont été utilisés (Hassan *et al.*, 2005 ; Burns *et al.*, 2001). Cependant, l'utilisation de ces modèles déterministes pour établir le niveau des stocks est inapproprié pour de nombreux produits car la demande est rarement stationnaire. Les modèles doivent considérer de manière explicite les processus de demande non stationnaire, autrement les quantités stockées seront surestimées.

Une demande incertaine rend le contrôle du système difficile, nécessitant davantage de stocks pour satisfaire le consommateur. Dans le milieu hospitalier, un produit ne peut pas être en rupture de stock car cela peut avoir des conséquences sur la vie du patient. Dellaert *et al.* (1996) et Nicholson *et al.* (2004) proposent des modèles considérant une demande aléatoire et définissant un niveau de service pour aborder ce problème.

Dellaert *et al.* (1996) considèrent l'occurrence des demandes de produits pharmaceutiques suivant une loi de Poisson et les quantités commandées selon une loi normale. Ils proposent un modèle  $(R,s,c,S)$ <sup>1</sup> pour un problème multi-produit, à un échelon et une période. Les paramètres  $s$ ,  $c$  et  $S$  sont déterminés de manière intuitive, en se basant sur le modèle de la quantité économique de commande. Les performances de ce modèle sont comparées à une méthode en deux temps basée sur les chaînes de Markov et proposée par Federgruen (Federgruen *et al.*, 1984). Les performances en termes de coûts sont comparables mais les calculs sont plus rapides. Nicholson *et al.* (2004) se sont intéressés à un modèle multi-échelon pour un produit sur une période. L'introduction des contraintes de niveaux de service dans un environnement multi-échelon rend le problème NP-hard car la fonction objectif est non

---

<sup>1</sup> R désigne l'intervalle de commande ; s indique le point de commande et c, le point de commande possible ; S représente le stock cible

linéaire sur un ensemble non convexe de contraintes. Les auteurs proposent une heuristique gloutonne exploitant la structure de type « newsboy » du problème pour le solutionner.

Ces modèles de gestion des stocks se basent sur les données historiques pour déterminer la demande future et le niveau des stocks. Le niveau des stocks de sécurité sera une fonction du degré de volatilité de la demande, de ce fait, nécessitant plus d'investissement.

Pour mieux contrôler et réduire les quantités en stocks, le concept du MRP a également été appliqué aux hôpitaux (Showalter, 1987 ; Roth et Van Dierdonck, 1995). L'application du concept est rendue possible grâce à l'utilisation des DRG (Diagnostic Related Groups). A chaque DRG est ainsi associé une certaine consommation de ressources (matériels, infirmières, temps, infrastructures,...) selon le même principe que les nomenclatures. Par exemple, l'utilisation de kits standards et de listes de préférence liés à une procédure chirurgicale pour tous les chirurgiens au niveau du quartier opératoire a permis de réduire les stocks de matériel stérile de façon importante tout en maintenant un bon taux de service (Rossi *et al.*, 2004). L'application du principe du MRP permet de déterminer les quantités nécessaires en fonction de la demande future. Toutefois, les questions de gestion des stocks restent en suspens : combien approvisionner, quand et quel niveau de stock de sécurité. En outre, l'application du concept des DRG au monde hospitalier, et particulièrement au service des urgences, est rendue difficile principalement pour deux raisons : tout d'abord, le contexte hospitalier n'est pas purement déterministe, et le service des urgences est un des services faisant face à la demande la plus aléatoire. Le nombre de DRG n'est donc pas connu. Ensuite, les consommations de produits au sein de chaque DRG sont variables, nous parlons dès lors de nomenclature aléatoire. Ce phénomène est accentué au niveau des urgences où le diagnostic même d'un patient n'est pas toujours réalisable. L'utilisation du MRP dans un contexte aléatoire a été abordée dans la littérature de gestion industrielle et différentes méthodes existent en fonction de l'origine de cette incertitude (Koh *et al.*, 2002). Dans le cas d'une incertitude liée à la demande, les techniques fonctionnant le mieux sont l'utilisation de règles de regroupement et l'utilisation de stocks de sécurité (Brennan et Gupta, 1993 ; Caridi et Cigolini, 2002).

Les principes de juste-à-temps ont également été appliqués aux hôpitaux. Jarrett (1998) s'est interrogé sur la pertinence de leur application dans le monde hospitalier. Un des freins majeurs encore à l'heure actuelle est le manque de système d'information développé et le manque de standard de communication entre les hôpitaux et leurs fournisseurs. Epstein et Dexter (2000) ont étudié la possibilité de lier le planning opératoire aux systèmes d'information de commande de produits pharmaceutiques et de matériel. Les coûts d'implémentation du système et la nécessité de stock de sécurité rendent le système intéressant pour les produits coûteux ou ayant un grand volume de commande.

Les études menées dans le domaine médical concernant la dispensation des médicaments sont principalement relatives à la sécurité de la distribution (Bonnabry, 2003), au problème des périmés, à la réduction des erreurs de dispensation dans le processus (Pasquier, 2000 ; Meier, 2001), ou encore les problèmes liés à l'identification incomplète du patient. Ces différentes études insistent principalement sur l'amélioration du processus de distribution d'un point de vue qualité des soins mais n'abordent pas les problèmes de quantités de stock.

Les recherches menées jusqu'à présent en gestion hospitalière, que ce soit dans le domaine du management ou dans le domaine médical ne permettent pas d'apporter une réponse complète à l'introduction d'une armoire de dispensation automatique. Les études menées en gestion dans les hôpitaux proposent des modèles de gestion des stocks permettant de déterminer les quantités à stocker pour minimiser les coûts et dans certains cas, garantir un niveau de service. Cependant, les modèles utilisés ne considèrent que les aspects managériaux. Les

recherches menées en sciences médicales ne considèrent quant à elles que les critères qualitatifs, en se focalisant sur la qualité des soins.

C'est pourquoi, en ayant recours à un modèle de gestion des stocks correspondant au mieux aux caractéristiques de la distribution des produits pharmaceutiques et en l'intégrant dans une démarche globale prenant en compte des critères qualitatifs et quantitatifs, répondant aux attentes du management et du personnel médical, nous pensons proposer une solution adaptée à l'hôpital.

## 5. Application au cas Brugmann

Nous allons maintenant détailler la manière dont nous avons estimé les différents indicateurs qui ont été présentés au point 3 pour évaluer le projet d'introduction des armoires automatiques de dispensation.

Pour les critères qualitatifs, nous nous sommes basés sur des études réalisées dans différents hôpitaux (Meier, 2001 ; Pasquier, 2002) et qui avaient pour objet d'étudier l'impact de la mise en place de ces armoires sur les prestations médicales (erreurs de médication) et sur le temps consacrés par les infirmières aux activités de gestion des stocks. Les résultats sont présentés dans le tableau 2.

performance qualité		avant implémentation	après implémentation
mesures internes	taux de service		
	nombre de commandes urgentes		
	temps passé à la gestion des stocks	10,2%*	5,6%*
mesures externes	gestion administrative des dossiers patients	28%*	16,9%*
	administration mauvaise dose	3,50%	0,20%
	administration médicament non prescrit	2,50%	0,20%
	oubli d'administration	0,50%	0,10%

\*en % du temps infirmier

**Tableau 2.** Indicateurs relatifs à la performance qualité

Nous constatons que d'une part, la charge de travail administrative des infirmières est réduite de 16%, ce qui correspond sur une journée de 8 heures de travail à une économie d'un peu plus d'une heure. Ce gain de temps leur permet de consacrer davantage de temps aux activités de soins. D'autre part, les erreurs d'administration des produits pharmaceutiques diminuent. Le pourcentage peut paraître très faible, globalement 3%, mais lorsque des vies humaines sont en jeu, les erreurs doivent être prévenues autant que possible.

En ce qui concerne la traçabilité, signalons que l'introduction de ces armoires est liée à la mise en place d'un système d'information qui permet d'assurer la traçabilité des médicaments puisque les infirmières doivent scanner à la fois le nom du patient et le médicament qui lui sera administré.

Pour évaluer les critères financiers, une étude a tout d'abord été réalisée sur une durée de 10 jours de l'activité du service des urgences et les résultats ont été projetés sur une année. Un inventaire des quantités stockées au début et à la fin de la période a été réalisé et les consommations de médicaments ont été examinées. Les factures et les dossiers patients ont été consultés. Ceci a permis de calculer les indicateurs suivant :

- Taux d'erreur dû à l'oubli : pour identifier les médicaments administrés mais non indiqués dans le dossier patient.
- Taux d'erreur d'encodage : pour estimer le pourcentage de médicaments inscrits dans le dossier patient mais pour lesquels il y a erreur de recopiage à la facturation.

Ces différents éléments permettent de calculer le taux de récupération des médicaments, pour lesquels l'hôpital recevra un paiement du patient ou du tiers payeur. En cas de non récupération, il s'agit d'une perte financière pure et simple.

L'hôpital n'ayant pas encore acquis le système, les valeurs ont été comparées à celles d'un hôpital suisse ayant implémenté le système. Cette étude a montré que l'implémentation des armoires a permis d'améliorer le taux de récupération des médicaments jusqu'à 97%, en réduisant de manière drastique les erreurs d'encodage (le personnel infirmier doit indiquer le nom du patient pour pouvoir prélever un médicament). L'hôpital peut ainsi espérer doubler son taux de récupération des médicaments.

performance financière		avant implémentation	après implémentation
mesures externes	taux de récupération des médicaments	45,19%	97,00%
	taux d'erreur dû à l'oubli	39,41%	2,00%
	taux d'erreur dû à l'encodage	15,40%	1,00%

**Tableau 3.** Indicateurs relatifs à la performance financière – mesures externes

Pour estimer les indicateurs relatifs à la gestion des stocks, nous devons tout d'abord utiliser un modèle de gestion des stocks pour déterminer les quantités à stocker. Par comparaison avec les valeurs obtenues au moment de l'inventaire, nous pourrions déterminer les gains potentiels de l'implémentation des armoires.

Comme nous l'avons souligné dans la revue de la littérature, les modèles de gestion des stocks appliqués jusqu'à présent aux hôpitaux ne prennent en compte qu'un nombre limité de caractéristiques du problème de la distribution/gestion des stocks des produits pharmaceutiques. Nous nous sommes dès lors tournés vers les articles publiés en gestion industrielle et qui proposent une solution en un temps de calcul raisonnable.

Nous avons retenu un modèle proposé par Muckstadt *et al.* (1998). Les auteurs proposent un modèle mathématique pour déterminer les quantités de rechargement. Les caractéristiques du problème considéré transposé à notre cas sont les suivantes :

- Contraint par la capacité : le nombre de médicaments qui peuvent être stockés est restreint.
- Multi-produit : le service des urgences est concerné par la disponibilité de tous les médicaments en même temps.
- Multi-échelon : la pharmacie et le service des urgences ne sont pas localisés dans un même lieu, ce qui engendre un délai de distribution.
- Demande aléatoire non stationnaire : les arrivées des patients au niveau des urgences est complètement aléatoire ; la demande de médicaments qui en résulte l'est également.

Le modèle que nous présentons utilise les indices, paramètres et variables suivantes.

\* Indices

- $n$  : le nombre de périodes dans un cycle ;  $n=1, \dots, N$  avec  $N=10$  ; Nous considérons un cycle de 10 périodes de 3 jours, ce qui correspond à un mois.
- $i$  : le nombre de médicaments stockés dans l'armoire ;  $i=1, \dots, P$ , avec  $P=40$  ; il s'agit du nombre de médicaments (hors matériel stérile et narcotiques) qui sont actuellement stockés au niveau du service des urgences.



\* Paramètres

- $h_{ij}$  : coût de détention du médicament  $i$  par période, en fonction de son lieu de stockage  $j$  ( $j=0$  pour la pharmacie et  $j=1$  pour le service des urgences). Le coût de détention est supérieur au niveau du service des urgences, afin de refléter l'espace restreint des armoires. Après discussion avec les pharmaciens et se basant sur l'expérience, nous avons considéré une fraction du prix des médicaments ; 10% pour la pharmacie et 50% pour le service des urgences.
- $\pi_i$  : coût d'une rupture de stock du médicament  $i$ . Ce coût est exprimé en pourcentage du prix d'achat et a été fixé à une valeur élevée pour refléter le fait qu'on ne peut pas tomber en rupture de stock et ainsi garantir un taux de service élevé ; 300% du prix.
- $D_{in}$  : variable aléatoire représentant la demande du médicament  $i$  durant la période  $n$ . Nous avons considéré que les quantités demandées suivent une loi normale comme l'hypothèse posée par Dellaert *et al.* (1996).
- $\mu_{in} = E(D_{in})$  : la demande moyenne du médicament  $i$  durant la période  $n$ .
- $\bar{D}_{in} = \sum_{n=1}^N D_{in}$  : la demande cumulée du médicament  $i$  durant les périodes  $1, \dots, n$ .
- $\bar{\mu}_{in} = \sum_{n=1}^N \bar{D}_{in}$  : la demande moyenne cumulée du médicament  $i$  durant les périodes  $1, \dots, n$ .
- $T$  : les quantités totales stockées dans le système initialement
- $C_n$  : la capacité maximum pour la période  $n$  ; celle-ci a été fixée à 100 unités par période de 3 jours.

\*Variables de décision

- $s_{in}$  : le niveau de stock pour le médicament  $i$  à la période  $n$
- $\bar{s}_{in}$  : le niveau de stock cumulé pour le médicament  $i$  à la période  $n$
- $r_i$  : les quantités achetées de produit  $i$  sur le cycle
- $T_i$  : stock initial du produit  $i$
- $\bar{y}_{in}$  : les quantités achetées cumulées de produit  $i$  de la période 1 à la période  $n$  augmentées du stock initial  $T_i$

Afin de prendre en compte l'interdépendance des décisions de gestion des stocks d'une période à l'autre, nous utilisons la version cumulée de la fonction de coût du modèle « newsboy » (1) et son coût marginal associé (2).

$$\bar{G}_{in}(\bar{s}_{in}) = \pi_i(\bar{\mu}_{in} - \bar{s}_{in}) + (h_{ij} + \pi_i) \sum_{k=0}^{\bar{s}_{in}} (\bar{s}_{in} - k) \Pr\{\bar{D}_{in} = k\} \quad (1)$$

$$\Delta \bar{G}_{in}(\bar{s}_{in}) = -\pi_i + (h_{ij} + \pi_i) \Pr\{\bar{D}_{in} \leq \bar{s}_{in}\} \quad (2)$$

Nous supposons en outre que chaque cycle débute avec un stock initial  $T_i$  pour le produit  $i$ . Pour assurer cela, il est autorisé d'acheter les quantités demandées en excès ou de retourner au fournisseur les quantités stockées en surplus pour restaurer le stock initial  $T_i$ .  $H_i(r)$  (3)

représente les quantités demandées en excès par rapport aux quantités achetées sur le cycle et qui sont commandées au fournisseur à un coût  $a_{\text{over}} (\max_i \{\pi_i\})$ .

$$H_i(r) = \bar{\mu}_{iN} + \sum_{k=0}^{r-1} \Delta H_i(k) \text{ avec } \Delta H_i(k) = \Pr\{\bar{D}_{in} < k\} - 1 \quad (3)$$

De la même manière  $J_i(r)$  (4) représente les unités en excès par rapport au stock initial du produit  $i$  et qui sont renvoyées aux fournisseurs,  $a_{\text{dispo}} (\min_{i,j} \{h_{ij}\})$ .

$$J_i(r) = \sum_{k=0}^{r-1} \Delta J_i(k) \text{ avec } \Delta J_i(k) = \Delta H_i(k) + 1 \quad (4)$$

Nous cherchons à minimiser une fonction de coûts (5)

$$\begin{aligned} \varphi(T) = \min & \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^P h_{i0} (\bar{y}_{in} - \bar{s}_{in}) + \sum_{i=1}^P \sum_{n=1}^N \left( \bar{G}_{in}(0) + \sum_{k=0}^K \Delta \bar{G}_{in}(k) \bar{z}_{ink} \right) \\ & + a_{\text{over}} \sum_{i=1}^P \left( H_i(0) + \sum_{k=0}^K \Delta H_i(k) * w_{ik} \right) + a_{\text{dispo}} \sum_{i=1}^P \left( \sum_{k=0}^K \Delta J_i(k) * w_{ik} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Sous contrainte que

$$\sum_{i=1}^P (\bar{y}_{in} - \bar{y}_{i,n-1}) \leq C_n \quad n=1,2,\dots,N \quad (6)$$

$$\bar{y}_{i0} = T_i \quad i=1,\dots,P \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^P T_i = T \quad i=1,\dots,P \quad (8)$$

$$\bar{y}_{iN} = T_i + \sum_{k=0}^K w_{ik} \quad (9)$$

$$\bar{s}_{in} = \sum_{k=0}^K \bar{z}_{ink} \quad i=1,\dots,P \quad n=1,2,\dots,N \quad (10)$$

$$\bar{s}_{in} \leq \bar{y}_{in} \quad i=1,\dots,P \quad n=1,2,\dots,N \quad (11)$$

$$0 \leq \bar{z}_{ink} \leq 1; 0 \leq w_{ik} \leq 1; \bar{y}_{in} \geq \bar{y}_{i,n-1} \quad \forall i, n, k \quad (12) (13) (14)$$

La contrainte (6) porte sur la capacité. Les contraintes (7) et (8) portent sur le stock initial. La contrainte (9) définit l'approvisionnement cumulé sur le cycle. La contrainte (10) définit le niveau de stock cumulé pour le médicament  $i$  à la période  $n$ . La contrainte (11) limite ce niveau de stock à l'approvisionnement cumulé. Les contraintes (12) et (13) définissent les variables binaires ; la contrainte (14) assure que les décisions de stockage cumulé sont au moins égales à celles de la période précédente.

La fonction de coût que nous cherchons à minimiser (5) suppose toutefois que nous ayons fixé un stock initial global. Pour déterminer cette valeur, nous utilisons le modèle non contraint (15) et (16).

$$\min_{\bar{z}_{ink}} \sum_{i=1}^P \sum_{n=1}^N \left( \bar{G}_{in}(0) + \sum_{k=0}^K \Delta \bar{G}_{in}(k) \bar{z}_{ink} \right) \quad (15)$$

$$\text{Sous contrainte } 0 \leq \bar{z}_{ink} \leq 1 \quad \forall i, n, k \quad (16)$$

La solution optimale de (15) est donnée par

$$\bar{z}_{ink} = \begin{cases} 1, & \text{si } \Delta \bar{G}_{in}(k) \leq 0 \\ 0, & \text{sin on} \end{cases} \quad (17)$$

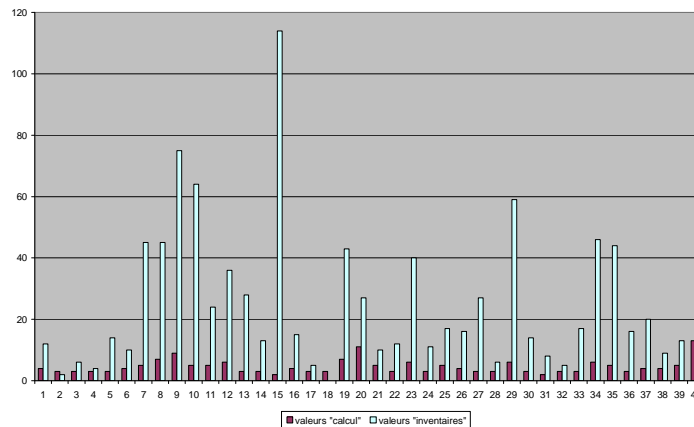
$$\text{et } \bar{s}_{in} = \sum_{k=0}^N \bar{z}_{ink} \quad (18)$$

Nous fixons un stock initial maximum équivalent à  $\sum_{i=1}^P \sum_{n=1}^N s_{in}$ . Nous cherchons ensuite au départ de cette borne supérieure la valeur de T qui minimise la fonction  $\varphi(T)$  (5) et qui constituera notre stock initial global.

L'application de cette démarche sur les données de l'hôpital nous a permis de déterminer un stock initial de 200 unités. La solution du modèle contraint avec un stock initial global de 200 unités nous permet de déterminer les quantités de médicaments stockées à la pharmacie et au service des urgences, les quantités approvisionnées à la pharmacie ainsi que les quantités envoyées au service des urgences. Ces différents éléments servent de base au calcul des indicateurs relatifs aux stocks et présentés dans le tableau 4. La figure 3 représente quant à elle une comparaison entre les quantités de médicaments stockées au moment de l'inventaire et les quantités recommandées par le modèle.

performance financière		avant implémentation	après implémentation
mesures internes	rotation des stocks	?	5,56
	valeur des stocks (en €)	3069,15	557,05

**Tableau 4.** Indicateurs relatifs à la performance financière – mesures internes



**Figure 3.** Comparaison des quantités de médicaments stockées au moment de l'inventaire et celles proposées par le modèle mathématique

Ce graphique montre nettement un surstockage de médicaments. La valorisation de ces quantités à leur prix d'achat nous a permis de déterminer l'indicateur des valeurs de stock.

L'indicateur de rotation des stocks nous indique que les stocks tournent 5 fois sur le cycle. Étant donné les réductions importantes de stock recommandées, il aurait été intéressant de disposer de données relatives au taux de service et au nombre de commandes urgentes. Nous savons actuellement que les infirmières se rendent au moins une fois par jour à la pharmacie pour chercher un médicament en rupture de stock, ce qui correspond à au moins 3 ruptures par période. Le modèle mathématique que nous utilisons ne prend pas en compte explicitement le taux de service. En effet, son intégration dans le modèle aurait rendu celui-ci NP-hard (Nicholson *et al.*, 2004). Pour contourner cette difficulté, nous avons fixé un coût de commande urgente beaucoup plus important que le coût de stockage. Nous pouvons donc raisonnablement conclure que notre modèle performe sur ces indicateurs au moins aussi bien que le système actuel.

Globalement, la solution envisagée, à savoir la mise en place d'une armoire automatique de distribution de médicaments au service des urgences, amène une amélioration des indicateurs retenus. Pour compléter ceux-ci, nous avons également estimé un taux interne de rentabilité du projet sur base des informations que nous avons pu estimer sur les flux de trésorerie générés. Ce taux s'élève à environ 20%. Sur base de ces informations, les gestionnaires peuvent prendre la décision de mettre en œuvre ce projet ou non, en sachant qu'à la fois sur le plan financier mais aussi qualité, des améliorations seront apportées.

## 6. Conclusion et perspectives

L'hôpital Brugmann envisage la mise en place d'une armoire automatique de dispensation de médicaments au niveau du service des urgences. Pour envisager l'introduction de ce nouveau système de dispensation, nous avons appliqué la méthodologie ASCI que nous avons étendue et modifiée. Cette démarche globale nous permet de nous assurer que les améliorations apportées aux flux pharmaceutiques prennent en compte le flux patient et les différentes parties prenantes de l'hôpital.

Dans cet article, nous nous intéressons plus particulièrement à la problématique de la gestion des stocks. La revue de la littérature nous a permis de souligner le manque de modèles appropriés aux caractéristiques de la distribution/gestion des stocks dans les hôpitaux. Nous avons dès lors choisi d'appliquer un modèle développé pour le monde industriel, mais avec des caractéristiques similaires, et qui se résout rapidement. En l'intégrant dans une approche globale, nous espérons ainsi répondre aux attentes des acteurs hospitaliers.

Le projet d'introduction d'armoires automatiques de distribution de médicaments est évalué sur base de critères à la fois qualitatifs et financiers. Pour évaluer les critères qualité, nous nous sommes basés sur des études réalisées antérieures et qui ont amené la conclusion d'une amélioration de la traçabilité des médicaments et des prestations médicales, et d'une réduction du temps infirmier consacré aux tâches de gestion des stocks. Pour évaluer les critères financiers, d'une part, un inventaire a été réalisé pour estimer le taux de récupération des médicaments et, d'autre part, nous nous sommes basés sur l'application d'un modèle mathématique de gestion des stocks multi-produit, multi-période, à 2 échelons et contraint par la capacité. Ce modèle nous a permis de déterminer les quantités de médicaments à stocker aux différents échelons, les quantités à approvisionner et à envoyer au service des urgences. Les quantités recommandées sont nettement inférieures aux stocks actuels et ce projet amène donc des économies. Globalement, l'introduction des armoires automatiques est positive sur tous les indicateurs. Il serait intéressant d'enrichir cette conclusion par des informations sur le taux de service fourni par la solution proposée, en intégrant au modèle mathématique retenu des contraintes sur le taux de service tout en conservant un temps de calcul raisonnable.

## 7. Remerciements

Les auteurs remercient la société Dash Optimization pour le logiciel d'optimisation et de modélisation mathématique.

## 8. Références bibliographiques

- Anonymous, (1998) «Savings add up as hospital pares items from OR inventory», *Hospital Materials Management*, n° 23, p 11
- Beaulieu, M. and Landry, S., (2002) «Comment gérer la logistique hospitalière? Deux pays, deux Réalités», *Gestion*, n° 27, p 91-98.
- Bonnabry Pascal, (2003) «Pharmacie des Hôpitaux Universitaires de Genève : Rôles du pharmacien Hospitalo-universitaire : vision d'avenir», Actes de la conférence Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers 2003 (Lyon-France) ISBN: 2-930294-08-6
- Brennan L. and Gupta S., (1993) «A structured analysis of material requirements planning systems under combined demand and supply uncertainty», *International Journal of Production Research*, n°31, p. 1689-1707.
- Burns D. M and Tucker S., (2001) «Inventory analysis of a pediatric care center», *Hospital Material Management Quarterly*, n°22, p. 84-91.
- Caridi M. and R. C., (2002) «Improving materials management effectiveness: A step towards agile enterprise», *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, n°32, p. 556-576.
- Dellaert N. and Van De Poel E., (1996) «Global inventory control in an academic hospital», *International Journal of Production Economics*, n° 46-47, p. 277-284.
- Di Martinelly C., Riane F., Guinet A., (2006) «A Porter-Scor modeling approach for the hospital supply chain», Actes de la conférence International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain, Lyon, 14-17 Mai 2006.
- Epstein R. and Dexter F. (2000), «Economic analysis of linking operating room scheduling and hospital material management information systems for just-in-time inventory control», *Anesthesia & Analgesia*, n° 91, p. 337-343.
- Ferdergruen A., Groenevelt H., and Tijms H., (1984) «Coordinated replenishments in a multi-item inventory system with compound poisson demands», *Management Science*, n° 30, p. 344-357.
- Gourgand M., Kellert P., (1991) «Conception d'un environnement de modélisation des systèmes de production», 3ème congrès international de Génie Industriel, Tours-France
- Harper P., (2002) «A framework for operational modelling of hospital resources», *Health Care Management Sciences*, n°5, p.165-173.
- Hassan T., Baboli A., Guinet A., Leboucher G., and Brandon M., (2005) «Etude des méthodes de réorganisation et de gestion de stock des services de soins d'un établissement hospitalier», Besançon, France, 6e Congrès international de génie industriel.
- Hayas S., Luecke R., and Wang .G. S., (1997) «Making unofficial inventory official», *Healthcare Financial Management*, n° 51, p72-76.
- Jarett P., (1998) «Logistics in the healthcare industry», *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, n° 28, p. 741-742.
- Koh S.C.L, Saad S.M. and Jones, M.H., (2002) «Uncertainty under MRP-planned manufacture: review and categorization», *International Journal of Production Research*, vol. 40, p. 2399-2421.
- Li L.X., Benton W.C., (1996) «Performance measurement criteria in healthcare organizations: review and future research directions», *European Journal of Operational Research*, n° 93, p. 449-468.
- Meier B., (2001) «Dispensation des médicaments, évaluation des erreurs à différentes étapes du processus. Diplôme d'études supérieures spécialisées en pharmacie hospitalière», Thèse, HUG (Hôpitaux Universitaires de Genève), Genève
- Muckstadt J.A., Murray D.H. and Rappold J.A., (2001) «Base stock levels in capacited multi-item, multi-echelon systems with stochastic, non-stationary and cyclic demand», working paper

Nicholson L., Vakharia A. and Erenguc S.S., (2004) «Outsourcing inventory management decisions in healthcare: Models and application», *European Journal of Operational Research*, n° 154, p 271-290.

Du Pasquier, L. Riberdy, P. Garnerin, P. Bonnabry, P. Chopard : «*Impact d'une armoire à médicaments informatisée sur les erreurs de préparation des médicaments* ».

Rossi-Turck D., Wrincq J., Danhier A.-M. and Menne, A., (2004) «L'approvisionnement du disponible au bloc opératoire : couplage d'une approche MRP2 et d'une livraison en kits», *Logistique et Management*, p. 65-77.

Roth A. and Van Dierdonck R., (1995) «Hospital resource planning: concepts, feasibility and framework», *Production and Operations Management*, n° 4, p. 2-29.

Showalter M., (1987) «Are manufacturing inventory concepts applicable for materiel management in hospitals?» , *Hospital Material Management Quaterly*, n° 8, p.70-75.

Taylor D., (1990) «Establishing a stock distribution system», *Hospital Material Management Quaterly*, n° 12, p. 23-25.

Veral E. and Rosen H., (2001) «Can a focus on costs increase costs? », *Hospital Material Management Quaterly*, n° 22, p. 28-35.