



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد  
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed  
-----  
معهد الصيانة و الأمن الصناعي  
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

## Département de Maintenance en Instrumentation

# MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

**Filière :** Génie Industriel  
**Spécialité :** Génie Industriel

## Thème

Développement d'une méthode optimale d'affectation de médicaments dans une armoire automatisée de dispensation

Présenté et soutenu publiquement par :

TAIBI Hocine Taha

REMALI Othman

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
MEKKI Ibrahim El Khalil	MCB	Université d'Oran 2	Président
HACHEMI Khalid	MCA	Université d'Oran 2	Encadreur
REGUIEG YSSAAD Sadek	MAA	Université d'Oran 2	Examineur

**Juin 2017**



# *Remerciements*

*Nous tenons à remercier notre Dieu, le tout puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté pour compléter ce modeste travail.*

*Nous tenons à exprimer nos profondes gratitudee et nos vifs remerciements à notre promoteur, **Mr HACHEMI khalid** pour sa disponibilité et de nous avoir fait profiter de ses qualités aussi bien sur le plan scientifique que sur le plan professionnel. Un grand merci pour son sérieux, sa patience et son aide.*

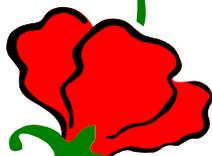
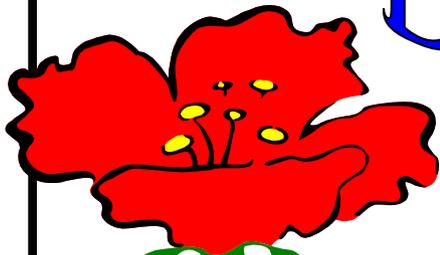
*Nos remerciements s'adressent également aux membres de jury d'avoir accepté de lire et d'évaluer notre mémoire.*

*Nous exprimons nos remerciements à tous les professeurs qui nous ont encadrés pendant notre cursus universitaire sans oublier les responsables du département de maintenance en instrumentation.*

*Enfin nous remercions tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*



# Dédicaces



*A mon père,*

*A ma mère,*

*A mes sœurs,*

*A mes frères,*

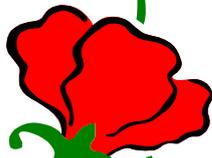
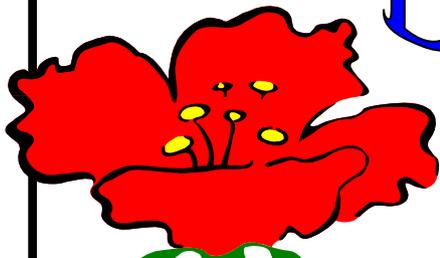
*A toute ma famille,*

*A mes amis,*

*Je vous dédie mon travail en  
témoignage de votre affection et  
vos encouragements.*

*Othman...*

# Dédicaces



*A mon père,*

*A ma mère,*

*A mes sœurs,*

*A mes frères,*

*A toute ma famille,*

*A mes amis,*

*Je vous dédie mon travail en  
témoignage de votre affection et  
vos encouragements.*

*Hocine Taha...*

# Table des matières

Table des matières .....	i
Liste des abréviations : .....	v
Liste des tableaux : .....	vi
Liste des figures : .....	vii
Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I: Généralités sur la dispensation des médicaments et l'automatisation de son système</b>	
I.1 Introduction.....	2
I.2 Circuit du médicament .....	2
I.1.1 La prescription.....	3
I.1.2 L'administration .....	3
I.1.3 La dispensation.....	3
I.2 L'automatisation de dispensation et de délivrance de produits pharmaceutiques en milieu hospitalier .....	4
I.2.1 Qu'est ce que l'automatisation ?.....	4
I.2.2 L'automatisation du circuit du médicament .....	5
I.2.2.1 Situation actuelle des EPS (Etablissement Public de Santé).....	5
I.2.2.2 Offres actuelles de l'automatisation dans le domaine de la pharmacie hospitalière ..	5
I.2.3 L'automatisation centralisée.....	6
I.2.3.1 Les automates de cueillette .....	6
I.2.3.2 Les automates de préparation de formes unitaires en série .....	6
I.2.3.3 Les automates de préparation individuelle des médicaments .....	7
I.2.3.4 Les automates de dispensation.....	8
I.2.4 L'automatisation décentralisée : les armoires automatisées (ou armoires sécurisées) .....	9
I.3 Le but de la solution de l'automatisation des systèmes de dispensation se médicaments ....	12
I.4 Quelle solution choisir ? .....	12
I.5 Objectifs de l'implantation des armoires automatisées : .....	13
I.5.1 Objectifs sanitaires.....	13
I.5.2 Objectif économique.....	14
I.5.3 Objectifs organisationnels : .....	14
I.5.4 Objectifs de respect du contrat de bon usage .....	15

## Chapitre II: Les différents types des systèmes de dispensation de médicaments

II.1 Introduction.....	16
II.2 Présentation du système.....	16
II.3 Principe de fonctionnement d'un automate.....	18
II.3.1 Présentation globale du système .....	18
II.3.2 Présentation générale d'un automate .....	18
II.4 Les différents types des systèmes de dispensation de médicaments.....	19
II.4.1 Système PHARMAMAT .....	19
II.4.1.1 Les différents modèles .....	19
II.4.1.2 Fonctionnement .....	19
II.4.2 Système APOTEKA .....	20
II.4.2.1 Fonctionnement.....	21
II.4.2.2 Avantages .....	22
II.4.2.3 Inconvénients : .....	22
II.4.3 Système MOVETEC .....	22
II.4.3.1 Fonctionnement.....	23
II.4.3.2 Avantages .....	24
II.4.3.3 Inconvénients .....	24
II.4.4 Système ARIANA.....	24
II.4.4.1 Fonctionnement .....	25
II.4.4.2 Avantages .....	25
II.4.4.3 Inconvénients .....	26
II.4.5 Système PHARMATRACK .....	26
II.4.5.1 Fonctionnement .....	26
II.4.5.2 Avantages .....	27
II.4.5.3 Inconvénients .....	27
II.4.6 Système ROWA.....	27
II.4.6.1 Fonctionnement .....	28
II.4.6.2 Avantages .....	29
II.4.6.3 Inconvénients .....	29
II.5 Comparaison entre les trois systèmes Pharmamat, Apotéka et MoveTec .....	30
II.6 Les différents types de tiroirs rencontrés dans les armoires de dispensation de médicaments .....	31

II.6.1 Le tiroir matriciel .....	31
II.6.2 Le tiroir carrousel .....	31
II.6.3 Les mini tiroirs .....	32
II.7 Fonctionnement des armoires à tiroirs .....	33
<b>Chapitre III: Développement d'heuristiques pour l'optimisation des erreurs de dispensation</b>	
III.1 Introduction : .....	34
III.2 La problématique : .....	34
III.3 Le Visuel Basic pour l'Application (VBA Excel) .....	36
III.3.1 Définition.....	36
III.3.1 Pourquoi utiliser VBA ?.....	37
III.4 La résolution du problème d'affectation sous VBA.....	37
III.4.1 Présentation des heuristiques appliquées pour l'affectation .....	38
III.4.2 Les matrices des degrés similitude $S_{ij}$ et d'incompatibilité $I_{ij}$ .....	39
III.5 Evaluation de performance des trois heuristiques.....	40
III.5.1 Première configuration : 18 médicaments .....	40
III.5.1.1 Heuristique 01 : Affectation directe.....	42
III.5.1.2 Heuristique 02 : affectation après le classement.....	43
III.5.1.3 Heuristique 03 : affectation après classement et choix alterné .....	44
III.5.2 Deuxième configuration : .....	45
III.5.2.1 Heuristique 01 : affectation directe .....	45
III.5.2.2 Heuristique 02 : affectation après classement .....	46
III.5.2.3 Heuristique 03 : affectation après classement et choix alterné : .....	47
III.5.3 Troisième configuration : .....	48
III.5.3.1 Heuristique 01 : affectation directe .....	48
III.5.3.2 Heuristique 02 : affectation après classement .....	49
III.5.3.3 Heuristique 03 : affectation après classement et choix alterné .....	50
III.6 Résultats finales des trois heuristiques appliquées sur les trois configurations : .....	51
III.7 Résultats et discussions : .....	51
III.8 Conclusion .....	53
Conclusion générale .....	54
LES ANNEXES .....	55
LISTE DES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES : .....	56



## **Liste des abréviations :**

**ADA :** Armoire de **D**istribution **A**utomatisé

**SFPC :** (Société Française de Pharmacie Clinique)

**IDE :** Infirmier **D**iplômé d'Etat

**MDS:** **M**édicaments **D**érivés du **S**ang

**DJIN:** **D**ispensation **J**ournalière **I**ndividuelle **N**ominative

**PUI :** Pharmacie à Usage **I**nterne

**VBA :** **V**isuel **B**asic pour **A**pplications

**VBE :** **V**isuel **B**asic **E**diteur

**ISO :** **I**nternational **O**rganisation for **S**tandardisation

## Liste des tableaux :

Tableau 2.1.comparaison entre les trois principaux systèmes.....	30
Tableau 3.1 : Matrice de similitudes $S_{ij}$ .....	40
Tableau 3.2 : Exemple de calcul du nombre de couples de médicaments incompatibles.....	41
Tableau 3.3 : Matrice d'incompatibilité $I_{ij}$ .....	41
Tableau 3.4 :Résultats de 10 essais pour la 1 <sup>ère</sup> configuration (18 médicaments) .....	44
Tableau 3.5 : Résultats de 10 essais pour la 2 <sup>ème</sup> configuration (120 médicaments).....	47
Tableau 3.6: Résultats de 10 essais pour la 3 <sup>ème</sup> configuration (144 médicament) .....	51
Tableau 3.7 : résultats finale pour les trois configurations.....	51
Tableau 3.8 : résultats de programme.....	52

## Liste des figures :

Figure 1.1. Schéma global du circuit du médicament à l'hôpital.....	2
Figure 1.2. Automate de préparation de forme unitaire en série.....	7
Figure 1.3. Automate de dispensation de formes orales sèches.....	8
Figure 1.4. Système combiné.....	9
Figure 1.5. Principe de fonctionnement d'une armoire automatisée.....	10
Figure 1.6. Console présente à la PUI. (PUI hôpital Robert Ballanger- Paris).....	10
Figure 1.7. Armoire de type Medstation.....	11
Figure 2.1. Armoires de distribution automatisée .....	16
Figure 2.2. Armoire automatisée .....	17
Figure 2.3. Vue d'un tiroir.....	17
Figure 2.4. Le Pharmamat classique en action.....	20
Figure 2.5. L'APOTEKA.....	21
Figure 2.6. L'ApotéKa de la Pharmacie ALBRECH à Valmont (Moselle).....	22
Figure 2.7. Le MoveTec.....	23
Figure 2.8. Intérieur du MoveTec.....	24
Figure 2.9. ARIANA.....	25
Figure 2.10. Le Pharmatrack.....	26
Figure 2.11. "Doigt" de prélèvement du Pharmarrack.....	27
Figure 2.12. ROWA.....	28
Figure 2.13. Tiroir type matriciel.....	31
Figure 2.14. Tiroir type carrousel.....	32
Figure 2.15. Tiroir type cubie / mini-tiroirs.....	32
Figure 3.1. Problème d'affectation de deux médicaments incompatibles.....	36
Figure 3.2. Configuration de l'armoire.....	38
Figure 3.3. Génération de Iij a partir de Sij.....	39
Figure 3.4. Résultat d'affectation par la 1 <sup>ère</sup> heuristique pour la 1 <sup>ère</sup> configuration.....	42

Figure 3.5. Résultat d'affectation par la 2 <sup>ème</sup> heuristique pour la 1 <sup>ère</sup> configuration.....	43
Figure 3.6. Résultat d'affectation par la 3 <sup>ème</sup> heuristique pour la 1 <sup>ère</sup> configuration.....	44
Figure 3.7. Résultat d'affectation par la 1 <sup>ère</sup> heuristique pour la 2 <sup>ème</sup> configuration.....	45
Figure 3.8. Résultat d'affectation par la 2 <sup>ème</sup> heuristique pour la 2 <sup>ème</sup> configuration.....	46
Figure 3.9. Résultat d'affectation par la 3 <sup>ème</sup> heuristique pour la 2 <sup>ème</sup> configuration.....	47
Figure 3.10. Résultat d'affectation par la 1 <sup>ère</sup> heuristique pour la 3 <sup>ème</sup> configuration.....	48
Figure 3.11. Résultat d'affectation par la 2 <sup>ème</sup> heuristique pour la 3 <sup>ème</sup> configuration...	49
Figure 3.12. Résultat d'affectation par la 2 <sup>ème</sup> heuristique pour la 3 <sup>ème</sup> configuration...	50
Figure 3.13. Représentation graphique des résultats .....	53



## **Introduction générale**

L'optimisation et la rationalisation de circuit de médicaments est devenue une des priorités majeures des autorités de santé publique. De plus, la réduction des risques liés à l'utilisation des médicaments est maintenant une prérogative des établissements de santé.

Ainsi, sécuriser et optimiser le circuit du médicament est une des missions majeures des Pharmacies des hôpitaux (Pharmacies à Usage Intérieure) (PUI).

Parmi les opérations qui ont été faites par ces sociétés est l'implémentation des systèmes automatisés de dispensation de médicaments.

Le but de l'automatisation des systèmes est de contrôler les pertes de temps de distribution des médicaments, de minimiser le taux d'erreurs liées à la dispensation et rentabiliser le travail du personnel et par la même augmenter la productivité.

Le but de ce travail est de développer une méthode optimale qui permet d'affecter des médicaments dans une armoire automatisée de dispensation d'une manière sécurisée dans laquelle on minimise la probabilité pour que deux médicaments incompatibles ou similaires soient dans des compartiments voisins. Et par conséquent la minimisation d'erreurs de dispensation des médicaments.

Ce mémoire s'articule autour de trois chapitres. Dans le premier chapitre on présentera des généralités sur la dispensation des médicaments dans les établissements de santé en expliquant le rôle de l'automatisation et les objectifs de la solution automatisée de dispensation. Et dans le deuxième chapitre on présentera les différents systèmes de dispensation automatisé disponibles dans le marché actuel et leurs avantages et leurs inconvénients.

Dans le troisième chapitre nous exposerons une méthode d'affectation des médicaments vers les tiroirs d'une armoire automatisée de dispensation dans le but de minimiser les erreurs liés à la dispensation.

Enfin nous terminerons notre mémoire par une conclusion générale sur notre travail et les perspectives qui en découlent.

## I.1 Introduction

Une fois prescrit, au sein d'une structure hospitalière, le médicament ou plus précisément la décision de sa prescription (l'ordonnance) va suivre un circuit complexe, impliquant de nombreux intermédiaires, humains et techniques, et aboutissant à l'administration médicamenteuse et à son suivi [1]. La prescription, la dispensation puis l'administration des médicaments au patient constituent les principales étapes de ce circuit.

## I.2 Circuit du médicament

Avant tout, il est important de définir ce qu'on entend véritablement par « circuit du médicament ».

Le Dictionnaire français de l'erreur médicamenteuse publié en 2004 par la SFPC le définit comme tel :

« Processus de la prise en charge thérapeutique médicamenteuse d'un patient, hospitalisé dans un établissement de santé, résident d'un établissement social ou en soins ambulatoires.

Ce processus interdisciplinaire (voir figure 1.1) est constitué par les étapes de prescription, de dispensation, d'administration et de suivi thérapeutique, et comprend le traitement de l'information. » [2]

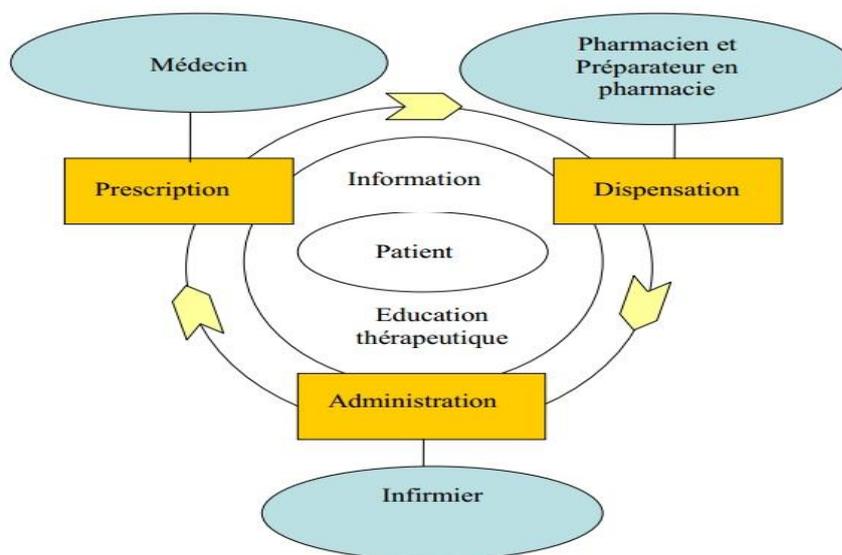


Figure 1. 1. Schéma global du circuit du médicament à l'hôpital

### **I.1.1 La prescription**

La prescription est un acte médical et constitue la 1<sup>ère</sup> étape clé du circuit du médicament. Il s'agit d'une étape très encadrée par la législation car celle-ci définit les professionnels habilités à prescrire ainsi que les mentions obligatoires devant figurer sur la prescription.

### **I.1.2 L'administration**

L'administration des médicaments est réalisée par le personnel infirmier la plupart du temps et plus rarement par un médecin.

L'organisation de l'administration doit satisfaire à deux préoccupations :

- Garantir la qualité et la sécurité de l'acte d'administration des médicaments en essayant de limiter les erreurs d'administration par des mesures appropriées,
- Tenir informés les autres acteurs du circuit des conditions d'exécution des prescriptions.

Pour ces raisons le déroulement de l'administration est réglementé. Afin de garantir une administration optimale, l'infirmier doit tout d'abord prendre connaissance de la prescription, puis planifier les soins et donner les médicaments aux patients. Après l'administration, l'infirmier en effectue la validation et assure la surveillance thérapeutique du patient afin d'évaluer le bénéfice rendu et de repérer la survenue éventuelle d'un effet indésirable [3].

### **I.1.3 La dispensation**

La dispensation est un acte pharmaceutique qui associe à la délivrance des médicaments :

- l'analyse pharmaceutique de la prescription médicale,
- la préparation éventuelle des doses à administrer,
- la mise à disposition des informations et des conseils nécessaires au bon usage du médicament.

La dispensation peut être de trois types :

- **A délivrance nominative** : la prescription du médecin est communiquée au pharmacien qui l'analyse, puis les doses de médicament sont préparées séparément pour chaque patient par le personnel de la pharmacie et livrées dans l'unité de soins ; c'est l'organisation la plus sécurisée.

- **A délivrance globalisée** : la prescription du médecin est communiquée au pharmacien qui l'analyse, puis les doses de médicament sont additionnées pour la durée du traitement par le personnel de la pharmacie et livrées dans l'unité de soins.

- **A délivrance globale** : l'IDE (Infirmier Diplômé d'Etat) de l'unité de soins commande les médicaments en croisant les prescriptions du médecin et ce qui est disponible dans l'unité de soins, les doses demandées sont préparées par le personnel de la pharmacie et livrées dans l'unité de soins. Dans ce cas de figure, les prescriptions peuvent être analysées par le pharmacien indépendamment de la commande des services. Si les prescriptions du service ne sont pas analysées par un pharmacien, cette dernière forme de dispensation s'apparente plutôt à de la distribution étant donné que l'étape de validation pharmaceutique est inexistante.

## **I.2 L'automatisation de dispensation et de délivrance de produits pharmaceutiques en milieu hospitalier**

### **I.2.1 Qu'est ce que l'automatisation ?**

L'automatisation consiste à « rendre automatique » les opérations qui exigeaient auparavant l'intervention humaine. L'automatisation est considérée comme l'étape d'un progrès technique où apparaissent des dispositifs techniques susceptibles de seconder l'homme, non seulement dans ses efforts musculaires, mais également dans son travail intellectuel de surveillance et de contrôle [4].

Dans les secteurs industriels, l'automatisation est devenue indispensable. Dans ces domaines aussi, l'automatisation a permis une diminution des coûts en personnel, une exécution des tâches répétitives plus fiable et plus rapide, une amélioration de la flexibilité des chaînes de production et surtout une amélioration de la qualité des produits finis à coûts constants.

## **I.2.2 L'automatisation du circuit du médicament**

### **I.2.2.1 Situation actuelle des EPS (Etablissement Public de Santé)**

De nombreux hôpitaux ont aujourd'hui des difficultés budgétaires ; Les charges salariales représentent une grande somme par rapport au budget du médicament. Dans un tel contexte, la difficulté à atteindre les objectifs en matière de circuit du médicament a considérablement augmenté. En effet, il est actuellement demandé de diminuer les erreurs de dispensation,

Tout en gardant les mêmes effectifs et de recentrer le personnel vers des tâches à valeur ajoutée telles que la traçabilité des Médicaments Dérivés du Sang (MDS) ou la reconstitution des chimiothérapies.

La mise en place de DJIN manuelle ou la création d'antennes pharmaceutiques dans les services de soins nécessitent un investissement en termes de personnel pharmaceutique, en termes de structure et de matériel (postes de cueillette, chariots...) [5].

Pour toutes ces raisons, l'automatisation du circuit du médicament semble être une solution adaptée.

### **I.2.2.2 Offres actuelles de l'automatisation dans le domaine de la pharmacie hospitalière**

Il existe actuellement deux manières d'imaginer et de concevoir l'automatisation du circuit du médicament. Il y a d'une part l'automatisation centralisée à la pharmacie à usage interne (PUI), elle-même proposant deux concepts différents. En effet, elle peut soit utiliser les conditionnements primaires originaux, soit préparer des doses unitaires. D'autre part, il existe l'automatisation décentralisée dans les services. L'automatisation du circuit du médicament intervient lors de l'étape de préparation des médicaments destinés au patient. Le pharmacien souhaitant automatiser sa distribution de médicaments peut donc choisir de le faire soit au niveau de son service (automatisation centralisée) ou bien de le faire au niveau du service clinique (automatisation décentralisée). Au niveau de la pharmacie, le pharmacien peut installer des armoires sécurisées pour les stupéfiants notamment, des stockeurs rotatifs ou bien des automates de conditionnement nominatif, en doses unitaires ou multiples. Au niveau des services de soins, seule l'installation d'armoires automatisées est possible.

## **I.2.3 L'automatisation centralisée**

### **I.2.3.1 Les automates de cueillette**

Il existe deux types d'automates de cueillette, les stockeurs rotatifs et les stockeurs automatisés.

#### **-Les stockeurs rotatifs**

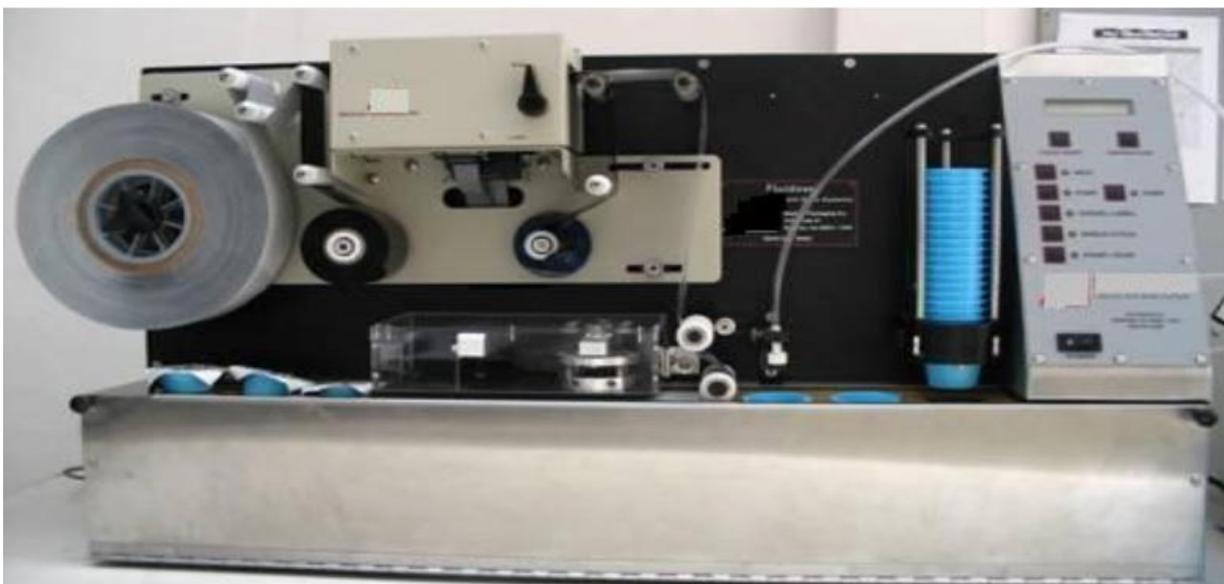
Les stockeurs rotatifs sont situés à la pharmacie. Ils permettent un stockage en hauteur limitant ainsi l'encombrement. La réfrigération est également possible. Ils peuvent être également couplés à un logiciel de prescription et/ou un logiciel de gestion. Leur principal avantage est l'optimisation de la cueillette en limitant les mouvements du personnel. Les produits sont pris un à un ce qui sécurise également la préparation puisqu'il est impossible de préparer plusieurs commandes en même temps. Il est à noter qu'il y a eu une évolution du stockeur rotatif qui est actuellement commercialisée.

#### **-Les stockeurs automatisés**

Ce type d'automate a surtout été conçu pour une utilisation à l'officine. Ils présentent deux principales caractéristiques : une efficacité accrue par prélèvements simultanés, et une alimentation possible de plusieurs postes de distribution en même temps. La principale contrainte réside dans le fait que ce type d'appareil nécessite une forme standard de conditionnement ce qui représente une difficulté pour les injectables ou autres médicaments volumineux.

### **I.2.3.2 Les automates de préparation de formes unitaires en série**

Ils permettent de préparer des formes unitaires standard (de type industriel). L'emballage permet de mentionner le nom, le dosage, la forme, le lot et la date de péremption. Par contre, le nom du patient, son service d'hospitalisation, la date d'administration ne figurent pas sur l'emballage. Ce type d'automate (figure 1.2) nécessite en plus le déconditionnement des médicaments et met en jeu la responsabilité du pharmacien vis-à-vis de la conservation du médicament par rapport au conditionnement initial [5]. Le conditionnement doit se faire lot par lot et mobilise un grand nombre de personnel pharmaceutique. Enfin, ils ne facilitent pas la traçabilité de dispensation au patient.



**Figure 1.2.** *Automate de préparation de forme unitaire en série.*

### **I.2.3.3 Les automates de préparation individuelle des médicaments**

Les automates de conditionnement nominatif sont des machines qui permettent d'assurer le reconditionnement nominatif des médicaments. Ce système est constitué d'une armoire de plusieurs centaines de cassettes de différentes tailles qui est reliée à une machine de conditionnement en sachets avec impression en temps réel, permettant une dispensation nominative des prescriptions reçues. Ce système est largement utilisé en Asie et en Amérique du Nord. Il facilite l'optimisation du circuit du médicament lorsque ce dernier est organisé en DJIN.

Leur principal inconvénient est qu'alimenté de médicaments « en vrac », ce système nécessite une phase de déconditionnement des blisters. Les médicaments n'étant plus dans leur emballage d'origine, leurs conditions de conservation ne sont plus comparables aux données spécifiées par le fabricant et engagent également la responsabilité du pharmacien. De plus, ce type d'automates ne permet que le reconditionnement de formes orales sèches et n'est pas adapté aux prescriptions peu stables émanant de services tels que les urgences ou la réanimation. Ce système permettrait de préparer de l'ordre de 3500 sachets/heure. Il est à noter que concernant les formes injectables, un automate vient d'apparaître sur le marché américain. Il permet de préparer des seringues injectables pré-remplies étiquetées au nom du patient, soit à partir de flacons de lyophilisat à reconstituer, soit de poches souples de solutés reconstitués.

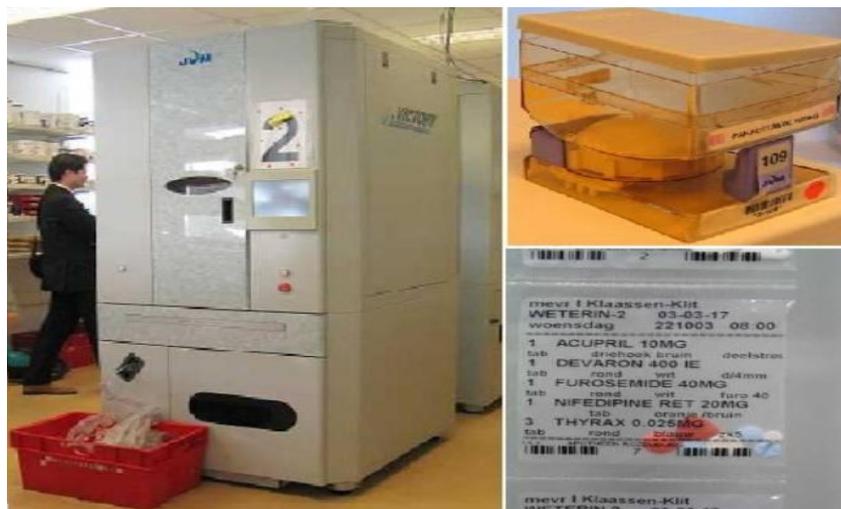


Figure 1.3. Automate de dispensation de formes orales sèches.

#### I.2.3.4 Les automates de dispensation

Ces automates, centralisés à la pharmacie de l'hôpital (PUI), préparent la délivrance des médicaments par patient et par heure d'administration à partir de leur conditionnement primaire d'origine. Deux automates de conception voisine sont disponibles. L'un de ces deux systèmes combinés (figure 1.4) qui permet un suremballage des médicaments en doses unitaires. Ces systèmes permettent une alimentation avec toutes les formes de médicaments (vrac, blisters découpés, sachets pré-conditionnés, flacons injectables, seringues...). Ils délivrent des sachets individuels, incorporés directement dans des tiroirs étiquetés au nom des patients et permettent de conserver le conditionnement primaire du médicament.

Malheureusement, ils ne sont pas adaptés lorsque les prescriptions sont peu stables dans le temps. Leur utilisation est complexe et l'encombrement de l'appareil nécessite un aménagement des locaux et le coût d'investissement est très important.



**Figure 1.4.** *Système combiné*

Les avantages de ce type d'automatisation peuvent être résumés :

- ✓ Installation facile, et la mise en place ne nécessite pas un aménagement spécial.
- ✓ Rapidité et simplicité du fonctionnement, et une haute précision.

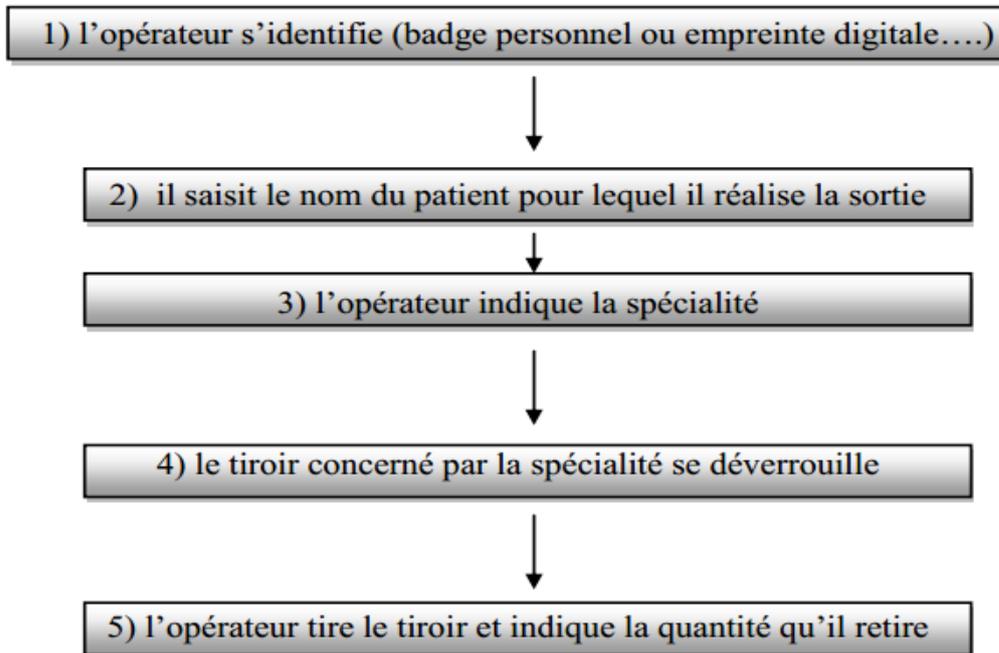
Alors que les principales limites sont :

- ✓ Sa maintenance est coûteuse et complexe en cas de pannes.
- ✓ Une baisse de la qualité des médicaments conservés.
- ✓ Limitation de la forme des médicaments délivrés.

#### **I.2.4 L'automatisation décentralisée : les armoires automatisées (ou armoires sécurisées)**

Les armoires automatisées sont l'évolution de l'armoire à pharmacie classique nécessaire à tous les services cliniques. Placées au niveau des unités de soins ou les services, ces armoires possèdent des tiroirs dont l'ouverture est commandée par un système informatique.

Les médicaments (forme orale ou injectable) qui y sont stockés peuvent être présentés sous forme unitaire permettant leur identification ou dans leur conditionnement primaire. La connexion des armoires à un serveur (console) situé à la pharmacie permet aux pharmaciens de visualiser en temps réel les stocks de l'armoire. L'approvisionnement est placé sous la responsabilité de la pharmacie de l'hôpital (PUI) (figure 1.5). Le principe de fonctionnement peut être résumé de la manière suivante :



**Figure 1.5.** Principe de fonctionnement d'une armoire automatisée



**Figure 1.6.** Console présente à la PUI. (PUI hôpital Robert Ballanger- Paris)

Le profil de l'utilisateur doit toujours être préalablement enregistré. C'est ce profil (personnel soignant, aide soignant (AS), médecin, pharmacien) qui déterminera ainsi la liste des fonctions accessibles. Le meilleur exemple est celui de l'AS dont le profil préenregistré dans la console centrale ne permet pas l'accès à tous les médicaments. Le principe de remplissage est lui aussi intéressant et permet largement de sécuriser l'acte de dispensation. Ainsi, chaque emplacement de médicament est étudié, de manière à éviter d'éventuelles confusions. Les médicaments sont sortis nominativement et leur accès

est séquentiel. Enfin, grâce au PC intégré et à la console présente à la pharmacie, un grand nombre d'analyses et de rapports sont générés (stocks, réapprovisionnement, historiques des sorties, retours...). Ce type d'outil est facile d'utilisation et convient aussi bien aux services de soins classiques qu'aux services d'urgences et de réanimation. Les armoires automatisées se retrouvent donc au cœur du circuit du médicament dans les établissements où elles sont implantées.

Utilisé depuis les années 1970 en Amérique du Nord, ce système est assez récent en Europe, très récent en Afrique voire en stade primaire. Mais l'offre industrielle de ces produits a tendance à se développer.



**Figure 1.7** .Armoire de type Medstation

- Les avantages de ce type d'automatisation peuvent être résumés :
  - Optimisation de la gestion des stocks (moins de péremption, rationalisation des stocks, suivi des stocks à distance)
  - Mise en place facile, équipement progressif de plusieurs services qui permet d'étaler les coûts d'investissement.
  - La traçabilité de toutes les opérations, prélèvements et approvisionnements est facilitée ainsi que la tenue des registres de stupéfiants.
  - Convivialité du système (outil accepté très facilement par le personnel)
- Alors que les principales limites sont :
  - Nécessité d'être combiné à une dispensation journalière ou nécessité d'extensions complémentaires.

- Réagencement des tiroirs peu souples en cas de changement de médicaments
- Le réapprovisionnement et la cueillette sont consommateurs de temps pharmaceutique et infirmier et peuvent conduire des écarts de stock (divergences) considérables.
- Ne peuvent répondre à tous les besoins en médicaments (gros volumes, solutés massifs...)

### **I.3 Le but de la solution de l'automatisation des systèmes de dispensation de médicaments :**

Une solution automatisée des systèmes de dispensation de médicaments aura pour but de :

- Éviter l'action humaine des tâches répétitives.
- Diminuer le risque d'erreur (meilleure qualité).
- Diminuer les moyens humains nécessaires à l'exécution de ces tâches.
- Limiter les pertes de temps pendant la distribution
- Rentabiliser le travail du personnel pour des tâches à valeur ajoutée.
- Maîtriser l'ensemble des moyens liés à l'application de ces techniques et par la même augmenter la productivité.

### **I.4 Quelle solution choisir ?**

C'est l'équipe de la pharmacie de l'hôpital PUI qui décide d'automatiser le circuit du médicament d'un établissement, elle dispose donc de plusieurs choix et solutions. Tout d'abord, l'ensemble de ces techniques nécessite une réorganisation totale du service pharmaceutique (tant au niveau humain que structurel) et peut nécessiter une réorganisation des services de soins. Ensuite, le choix de l'automate doit se faire en fonction du type d'hôpital dans le cadre d'un projet d'établissement auquel l'ensemble des acteurs du circuit du médicament doivent adhérer. La faisabilité du projet doit également être étudiée. Parmi les critères de faisabilité, on considérera l'aspect financier, les locaux, et également l'aspect humain notamment au niveau pharmaceutique. Par exemple, le développement d'une DJIN associée à un automate type système combiné nécessite un investissement humain et financier très important. De plus, ce type d'automate n'est pas adapté aux hôpitaux présentant des services d'urgences ou de réanimation (à cause des prescriptions très instables) mais peut convenir à d'autres établissements de moyen ou

long séjour. Les stockeurs rotatifs seuls ne permettent pas d'atteindre certains objectifs notamment en termes de sécurisation du circuit du médicament sauf s'il est associé à une DJIN. Ils ne permettent pas non plus une meilleure gestion de stocks sauf s'ils sont interfacés à un logiciel de gestion. Ils n'augmentent pas la productivité car une seule commande peut être préparée à la fois. Ainsi la solution permettant à la fois une sécurisation du circuit médicament, une meilleure gestion des stocks et pouvant convenir à l'ensemble des services d'un hôpital (y compris les services d'urgences) semble être la l'automatisation décentralisée. Ce système apparaît de plus comme un système convivial. En outre, cet automate ne nécessite aucun coût d'aménagement au niveau de la pharmacie.

## **I.5 Objectifs de l'implantation des armoires automatisées :**

Les objectifs de l'implantation des armoires robotisées sont multiples. Elles devraient permettre, d'une part, la diminution des erreurs médicamenteuses, permettant ainsi une amélioration de la qualité des soins (objectifs sanitaires). D'autre part elles devraient assurer une meilleure optimisation de gestion des stocks (objectifs économiques). Associée à ces deux buts, l'implantation d'armoire automatisées induira des modifications organisationnelles tant au niveau pharmaceutique que clinique (objectifs organisationnels). Elles faciliteront également la traçabilité des dispensations.

### **I.5.1 Objectifs sanitaires :**

L'organisation du circuit du médicament est fondée implicitement sur la réduction des erreurs d'administration des médicaments. Ainsi son objectif est clairement défini et résumé par l'expression « le bon médicament, au bon malade dans les bonnes conditions ». Il s'agit en fait de la traduction de la formule anglo-saxonne « **the right dose to the right patient at the right dosage by the right route at the right time** ». [6].

Lorsque l'on considère le nombre d'étapes qui conduisent à l'administration d'un médicament à une dose déterminée à un malade, la survenue d'une erreur médicamenteuse est probable. Si l'organisation globale du circuit du médicament est souvent complexe, les erreurs médicamenteuses sont généralement le résultat d'interactions tout aussi complexes [7].

De plus, les erreurs humaines sont souvent provoquées par des échecs d'organisation du système de travail qui rendent les erreurs plus difficiles à détecter et à corriger.

L'automatisation décentralisée du circuit du médicament peut permettre la diminution des erreurs d'administration.

Les arguments allant dans ce sens sont les suivants :

- Moins de confusions dans la préparation des médicaments ;
- Un accès contrôlé par code confidentiel ou par empreinte digitale pour un personnel donné ;
- Une dispensation nominative possible ;
- Une délivrance de dose individuelle possible ;
- Un enregistrement automatique de tous les mouvements ;
- Un contrôle des péremptions ;
- Une rapidité d'accès au médicament stocké.

### **I.5.2 Objectif économique**

Le développement de l'automatisation du circuit du médicament permet de diminuer les dépenses liées au médicament grâce à une rationalisation de son utilisation par les services cliniques.

En plus, ces armoires, permettent une transparence des consommations des médicaments par les services et limitent l'accès aux médicaments aux seules personnes autorisées par la réglementation. La consommation de médicaments par le personnel du service de soins, est donc largement diminuée.

Une étude parue dans le Canadian Journal of Hospital [8] a d'ailleurs démontré une diminution de 10 à 20 % des dépenses de médicaments selon les services et les organisations mises en place lors de l'installation d'armoires automatisées.

### **I.5.3 Objectifs organisationnels :**

Le gain de productivité, grâce à une meilleure utilisation du temps de travail, est un des objectifs de l'implantation d'armoires automatisées dans les centres hospitaliers.

Le gain de productivité concerne principalement trois catégories professionnelles.

L'implantation de ces armoires automatisées est aussi l'occasion d'améliorer les relations entre le service de soins et le service de pharmacie, souvent jugé loin des réalités cliniques. Grâce à ces armoires, le préparateur en pharmacie se retrouve au cœur de l'équipe

soignante et peut servir de relais entre la pharmacie et le service clinique et pourra ainsi améliorer la qualité du service rendu par l'équipe pharmaceutique.

#### **I.5.4 Objectifs de respect du contrat de bon usage**

Le contrat de bon usage implique une traçabilité des dispensations des molécules onéreuses. Les armoires automatisées peuvent s'intégrer dans ce projet. En effet, grâce au logiciel intégré, il est possible de tracer les dispensations de l'ensemble des médicaments présents dans l'armoire et de leur associer un coût. Cet outil peut donc être utilisé pour calculer patient par patient, la dépense en médicaments pris dans l'armoire. Cette dépense devra évidemment être complétée par tous les produits ne se trouvant pas dans l'armoire [7].

Les armoires automatisées peuvent également faciliter la traçabilité des Médicaments Dérivés du Sang (MDS) et la gestion des stupéfiants.

## II.1 Introduction

Les armoires de distribution automatisée (ADA), aussi connu comme les machines distributrices automatiques sont les dispositifs de stockage de médicaments utilisés dans les unités cliniques hospitaliers. Introduite dans les années 1980, ADA permettent aux hôpitaux de stocker les médicaments les plus couramment administré à proximité du lieu de soins, ce qui crée un système de distribution des médicaments décentralisé et automatisé qui permet des temps de réponse plus courts [9].



**Figure 2.1.** *Armoires de distribution automatisée*

Il existe différents systèmes de distribution par boîte complète comme le système proposé par « Pharmatech » ou par unité de médicament tels que proposent « Swisslog » et « Sygiph » ou mêmes avec les armoires automatisées comme les solutions « Pyxis ». On trouve également des systèmes automatisés utilisés en officines, comme le système conçu par « Apoteka » [10] dans ce chapitre on va voir les différents systèmes de dispensation de médicament.

## II.2 Présentation du système

Le système est sous forme d'une armoire mobile, qui contient plusieurs tiroirs, ces derniers sont subdivisés en plusieurs compartiments (Figure 2.2 et 2.3). Chaque compartiment peut contenir un seul type de médicament en plusieurs unités.

De ce fait, chaque médicament est spécifique à un compartiment. Les données propres au médicament (nom, date de péremption, quantité de médicament disponible...) sont préenregistrées par l'infirmier grâce à un logiciel pour la gestion du stock.

Une fois connecté au système de gestion et après avoir saisi les données du patient, le tiroir entier s'ouvre donnant accès à l'ensemble des médicaments de ce dernier [10]



**Figure 2.2** .Armoire automatisée



**Figure 2.3** .Vue d'un tiroir

## II.3 Principe de fonctionnement d'un automate

### II.3.1 Présentation globale du système

Le système pour fonctionner requiert différents éléments:

- La « machine », où sont stockés les médicaments, chargée d'éjecter les boîtes commandées;
  - Le système de convoyage: tapis roulant, ascenseur, toboggan, pneumatique...
  - Un ou des points(s) de réception;
  - Un système informatique gérant l'automate et servant d'interface avec le logiciel utilisé par la pharmacie au comptoir.
- ❖ Les différents types de machines

Parmi les différentes machines sur le marché deux types co-existent: les robots et les automates à proprement parler.

Leur principe de fonctionnement est totalement différent. **Dans un automate, seuls les médicaments sont en mouvement contrairement à un robot où la structure l'est également :**

Le robot va prélever chaque boîte dans son compartiment.

On peut en déduire qu'un automate semble à priori plus rapide, plus simple, et donc plus fiable qu'un robot.

### II.3.2 Présentation générale d'un automate

Un automate se présente comme un assemblage de plusieurs «armoires» dont les «étagères» sont inclinées. Chaque «armoire» est appelée module. Chaque module comprend plusieurs «étagères », ou plateaux, divisées en « goulottes» appelées canaux.

Chaque canal correspond à un médicament et sa largeur peut varier: chaque rangée peut donc avoir un nombre de canaux différent. Plusieurs modules peuvent être assemblés et ils peuvent être disposés côte à côte ou en vis-à-vis, entre les deux vient alors se placer un tapis roulant. Les boîtes de médicaments sont introduites d'un côté du module et tombent par gravité vers le tapis central. Une petite butée retient les boîtes dans l'appareil. Cette butée est franchie pour permettre l'éjection des boîtes par différents moyens. L'éjecteur est un levier actionné par l'air comprimé ou un électro-aimant: il pousse la boîte vers le haut pour franchir la butée.

## **II.4 Les différents types des systèmes de dispensation de médicaments**

### **II.4.1 Système PHARMAMAT**

Le "Pharmamat" est commercialisé par PlusInfo-PEEM, société autrichienne née en 1990 par la fusion du groupe PEEM et de PlusInfo qui avait depuis le début des années 80 commencé à développer des automates pour les répartiteurs. Le premier modèle de cet automate fut installé pour la première fois en France en 1993, chez M. Yves COMTE à Digne-les-Bains. Depuis, une seconde génération plus évoluée et plus légère l'a remplacé.

#### **II.4.1.1 Les différents modèles**

Il existe deux modèles:

\*Le Pharmamat LW-PEMATI: est un robot destiné aux petites pharmacies ayant jusqu'à 3 postes de vente, ou aux produits de moyenne à faible rotation. Il convient si la pharmacie ne traite pas plus de 50 ordonnances à l'heure. Les produits sont récupérés au fur et à mesure par le robot par un système de « picking » et sont déposés vers un point de transfert (MEDIGLISSI, tapis, ...) [11]. Le robot est un concept qui ne semble plus avoir les faveurs de son constructeur qui conseille plutôt l'automate.

\* Le Pharmamat classique: c'est un automate. Il est destiné aux pharmacies qui ont de très gros débits, avec des pics journaliers, ou pour les médicaments de forte à moyenne rotation. Les produits sont éjectés sur un tapis collecteur qui va éventuellement acheminer la commande vers un deuxième tapis fixé au faux plafond (selon la configuration). Le tapis piloté envoie alors les produits vers un convoyeur (toboggan, ascenseur, autre tapis..), en fonction du poste de vente qui a passé la commande (figure 2.4).

#### **II.4.1.2 Fonctionnement**

Les deux systèmes sont composés de N modules comportant un nombre variable de plateaux en fonction de la taille des boîtes et de la hauteur libre sous plafond. Chaque canal est équipé d'un éjecteur qui libère les médicaments par un système d'air comprimé. La puissance d'éjection par éjecteur est réglable en fonction du poids des boîtes à éjecter. La taille minimale d'un canal est de 4,5 cm ce qui correspond à la taille d'un éjecteur.

Dans le cas de l'automate, les produits tombent par gravité sur le tapis collecteur. Si les médicaments se trouvent dans la partie supérieure du Pharmamat, la chute est amortie par des déviateurs (Figure 2.4). Par conséquent, la hauteur de chute n'excède pas 20 cm. [12]

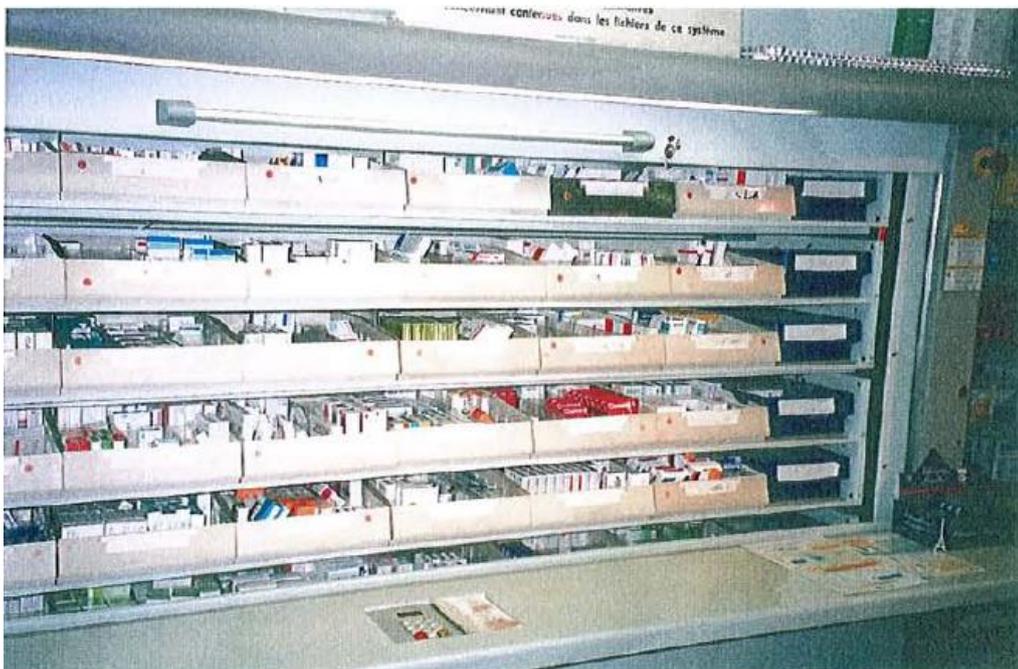


Figure 2.4 .Le Pharmamat classique en action

#### II.4.2 Système APOTEKA

L'« ApotéKa » est le seul automate français. Il est produit par MEKAPHARM et distribué par Phi-CONCEPT. Il est l'archétype même de l'automate et ressemble à son grand frère le Pharmamat" (Figure 2.5).



Figure 2.5 .L'APOTEKA

### II.4.2.1 Fonctionnement

C'est sans doute le plus simple des automates dans son fonctionnement, ce qui en fait certainement un des plus fiables. L'automate se présente sous forme de modules à assembler et peut se placer n'importe où dans la pharmacie.

Il n'a pas de déflecteurs pour amortir les chutes des boîtes, ce qui permet un accès aisé par l'avant aux boîtes en cas de panne. Le tapis semble assez résistant pour marcher dessus et assez souple pour amortir les chocs. Cependant, on peut se demander si le fait de marcher sur le tapis ne peut pas entraîner à la longue son usure prématurée, affaire à suivre ... Il faut également penser à mettre les produits lourds et fragiles au plus près du tapis de convoyage, car la chute est rude (Figure 2.6). Les tapis utilisés font 40 cm de largeur et sont disposés de telle façon à ne pas entraver la circulation dans les endroits qu'ils traversent. [13]

Son principal point fort, par rapport aux autres appareils, est le système d'éjection électromagnétique qui dispense d'installer un compresseur (bruyant). Quant aux moteurs entraînant les tapis, ils sont carénés pour réduire leur bruit en fonctionnement.

L'automate est couplé au logiciel de vente via le port série: on échange le code, quantité, etc. Un onduleur permet jusqu'à 4 heures d'autonomie à l'automate en cas de coupure électrique. Cependant, les tapis seront paralysés par la coupure de l'alimentation, à moins d'avoir un générateur...

Les canaux sont composés de « cornières » particulières permettant un bon calage des spécialités et évitant tout accordéon dans une file.



**Figure 2.6.** *L'ApotéKa de la Pharmacie ALBRECH à Valmont (Moselle)*

#### **II.4.2.2 Avantages**

- ✓ Simplicité.
- ✓ Fiabilité.
- ✓ L'existence d'un robot rangeur.
- ✓ Ejection électromagnétique.
- ✓ Structure aluminium-inox allégeant la structure.
- ✓ C'est le plus rapide des automates.

#### **II.4.2.3 Inconvénients :**

- ✓ Les boîtes placées en haut de l'automate font une chute de plus de deux mètres.
- ✓ Remplissage fastidieux sans robot rangeur.

### **II.4.3 Système MOVETEC**

Le MoveTec est un robot commercialisé par la société TECNILAB, dont le siège social se trouve en Italie et qui présente des filiales en Espagne, Allemagne et France. Il équipe déjà 14 pharmacies en France.

Il se présente comme une armoire (Figure 2.7), des portes transparentes et pliantes à l'avant permettent de détecter et réparer tout problème (comme un produit coincer).

En théorie, on peut assembler jusqu'à huit modules MoveTec ensemble. En pratique, quatre modules ont été installés. Un module « Maître » appelé « Master » pilote jusqu'à sept autres modules « Esclaves » ou « Slaves ». Les modules peuvent être placés en ligne ou face à face. Le module « Master » est équipé d'un ordinateur avec écran vidéo, connecté au logiciel de gestion de la pharmacie. Cet ordinateur va gérer l'activité des différents modules, surveiller la situation interne du système et indiquer les quantités commandées et la nécessité de chargement. A noter que le MoveTec utilise le même logiciel d'échange de données avec le programme utilisé au comptoir que le Pharmamat et qu'il peut être paramétré à distance par modem comme l'Apotéka. Le module « Master » dispose également du bouton d'arrêt d'urgence et c'est lui qui contient le compresseur.

Tous les modules sont en aluminium anodisé, ce qui allège notablement l'ensemble.



**Figure 2.7.** *Le MoveTec*

#### **II.4.3.1 Fonctionnement**

Cet appareil est classé parmi les robots bien qu'il ne transporte pas les médicaments, car une partie de sa structure (le tapis collecteur) est en mouvement (Figure 2.8). Le tapis collecteur se soulève au niveau de chaque rangée, ce qui à l'avantage de ne pas faire chuter les boîtes d'une trop grande hauteur.

A l'avant de chaque plateau, vingt-quatre bascules numérotées à l'identique de l'arrière permettent, lorsqu'on appuie dessus, l'éjection manuelle des produits en cas de panne. Un unique éjecteur par module placé entre le tapis et les bascules des plateaux permet d'éjecter les boîtes. L'éjecteur est assez large pour actionner deux bascules à la fois et permet plusieurs forces d'éjection. Comme pour le Pharmamat, l'éjecteur est pneumatique : l'air comprimé le pousse en avant et le ramène à sa position d'origine, tout blocage est donc impossible. Le seul problème (mais de taille) est que l'alignement doit être parfait (comme pour le Pharmamat robot), sinon l'éjection des boîtes ne se fera pas correctement.



**Figure 2.8.** Intérieur du MoveTec

#### **II.4.3.2 Avantages**

- ✓ L'esthétique.
- ✓ Certification ISO 9001.
- ✓ Tapis mobile, se levant à hauteur des médicaments.
- ✓ Largeur de chaque canal très modulable (pas de 12 mm).
- ✓ Structure en aluminium anodisé limitant sa masse à 350 kg/m<sup>2</sup> chargé.
- ✓ Système de diodes facilitant le chargement.
- ✓ L'alerte donnée en cas de seuil de remplissage minimal atteint.

#### **II.4.3.3 Inconvénients**

- ✓ C'est un robot: il est donc plus lent qu'un automate.
- ✓ Fiabilité de l'éjection: alignement parfait du système d'éjection nécessaire.
- ✓ L'alignement des tapis des différents modules ralentissant l'éjection des boîtes hors du système.

#### **II.4.4 Système ARIANA**

L'Ariana distribué par FAHRENBERGER TECHNOLOGIE, a commencé sa carrière sous le nom d'Oscar produit par STIRNBERG AUTOMATION. L'Ariana est un robot, il est conçu pour s'adapter à tout type de pharmacie même les plus exigües. D'ailleurs, il est entièrement monté sur place, il n'y a donc aucun problème pour l'installer dans l'officine. Chaque module ne fait que 50 cm de largeur et présente une capacité de 400 canaux par

mètre de rayonnage. Chaque canal fait un mètre de long et est constitué de deux rails opposés ajustés au mieux en fonction de la largeur des boîtes. Il n'y a pas de plateaux. Tout en aluminium il ne pèse pas plus de 200 kg à vide, ce qui fait de lui le plus léger de tous les systèmes. La partie stockage et la partie robotique sont totalement indépendantes. Il se distingue par un rangement vertical breveté permettant de ranger même des produits cylindriques et par l'absence de tapis roulant. [14] [15] [16]



**Figure 2.9** .ARIANA

#### **II.4.4.1 Fonctionnement**

Le robot est fixé sur des rails se déplaçant horizontalement, et de haut en bas (Figure 2.9). Après avoir vérifié la présence d'un produit dans le canal grâce à un faisceau laser, un bras soulève la boîte qui glisse le long de ce bras et tombe dans le collecteur. Si le produit est lourd, le bras collecteur fait plusieurs tentatives en soulevant de plus en plus fort jusqu'à ce que le produit tombe dans le collecteur. Cette force est ajustable pour chaque produit. Une fois le collecteur rempli, ou lorsque le poids maximal est atteint, le robot collecteur déverse son contenu dans une nacelle ou tout autre système de convoyage.

Le robot permet de traiter jusqu'à cinq commandes simultanément [14], mais collecte et délivre une seule ordonnance à la fois, grâce à un système à plusieurs casiers, pour éviter toute confusion entre les postes de vente. [16]

#### **II.4.4.2 Avantages**

- ✓ Nuisance sonore réduite car absence de tapis roulant
- ✓ Pas de chute de produit: on peut y placer n'importe quel type de produit.

- ✓ Structure très légère, bonne solidité et peu de pièces d'usure, donc grande fiabilité.
- ✓ Robot « intelligent ».

#### II.4.4.3 Inconvénients

- ✓ C'est un robot: il est plus lent.
- ✓ Réglage très technique: les changements d'emplacements sont difficiles.

#### II.4.5 Système PHARMATRACK

C'est le système le plus récemment mis sur le marché. Il est commercialisé par TECNYFARMA, une société espagnole. Il a été présenté pour la première fois au salon Pharmagora 200 1 (Figure 2.10). [17] Présenté comme compact : 1,5 mètres de largeur sur 2,3 mètres de long soit 3,45 m<sup>2</sup> occupés au sol, son constructeur préconise de le placer derrière les comptoirs pour éviter l'« utilisation coûteuse de bandes transporteuses » [18], sans libérer de l'espace pour la surface de vente en délocalisant le stock ! Le fabricant précise tout de même que « l'automate peut être installé au premier étage ... » [18], les médicaments tomberont donc par gravité au rez-de-chaussée.

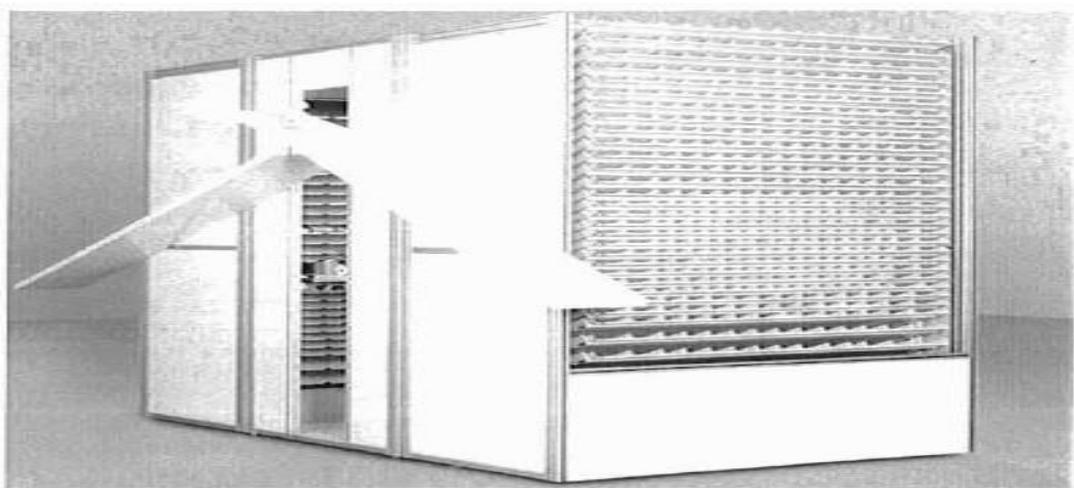


Figure 2.10 .Le Pharmatrack

##### II.4.5.1 Fonctionnement

En effet, comme l'Ariana, une partie mobile se déplace dans les deux directions pour se placer face au produit à prélever. Un doigt soulève alors la boîte qui tombe dans un collecteur (Figure 2.11). Le robot amène l'ensemble des boîtes vers un point de chute. Les canaux peuvent se régler par pas de 5 mm et on peut choisir parmi quatre hauteurs disponibles entre chaque plateau.

On peut placer en moyenne 1036 médicaments différents à raison de 7 unités par variété de médicaments, pour un total d'environ 7200 unités. [18]



**Figure 2.11.** "Doigt" de prélèvement du Pharmarrack

Il peut se faire en même temps que la délivrance de médicaments au comptoir par la partie latérale du robot. La sortie des médicaments se faisant par l'avant du robot.

A noter que le robot est fourni avec un logiciel qui détermine le chargement optimal des plateaux en fonction des tailles des spécialités et des quantités vendues annuellement.

#### **II.4.5.2 Avantages**

- ✓ Le prélèvement des boîtes se fait par soulèvement, ce qui économise l'utilisation
- ✓ d'un compresseur bruyant ou de bobines électromagnétiques.
- ✓ Peu de pièces d'usure : un moteur pour le déplacement horizontal et vertical, un moteur pour soulever les médicaments.

#### **II.4.5.3 Inconvénients**

- ✓ Pas d'ordinateur dans le robot, ni de compteur optique pour détecter une panne ou une boîte coincée.
- ✓ Pas de système de transport des médicaments en cas de stock délocalisé.
- ✓ C'est un robot : il est plus lent qu'un automate.
- ✓ Système monobloc et non modulaire comme ses concurrents : capacité limitée.

#### **II.4.6 Système ROWA**

Rowa est un robot allemand, distribué en France par la société ARX. Il a été présenté dans notre pays à Pharmagora 2001, où tout le monde a pu admirer son perfectionnement [19].

Il se présente comme une grande armoire avec des étagères des deux côtés et un robot au milieu (Figure 2.12). On peut entrer à l'intérieur de l'enceinte par une porte située à une extrémité. Le robot peut faire 2, 2,5 ou 3 mètres de haut et les étagères peuvent aller jusqu'à 9,5 mètres de long (8,5 mètres si la hauteur est de 3 mètres), ce qui permet le stockage de 800 à 1600 articles pour un mètre. La profondeur de Rowa est de 1,30 mètre, mais son installation nécessite 1 mètre supplémentaire [20]. C'est un véritable concentré de technologie, mais il ne semble pas du tout adapté à l'officine française comme nous allons le voir.



Figure 2.12 .ROWA

#### II.4.6.1 Fonctionnement

Le déplacement du robot est identique à l'Ariana : le robot fixé sur deux rails se déplace le long des étagères qui ne sont pas inclinées mais horizontales. Le rangement est ultra simplifié : il suffit de scanner le code-barres et de poser les boîtes sur un petit tapis qui va les introduire dans l'enceinte. Le robot vient les prendre et se charge de les déposer grâce à son bras sur les étagères à un endroit libre. C'est là un des points forts du système et en même temps son point faible : c'est le robot qui détermine la position optimale de chaque boîte. La notion de canal disparaît totalement : il n'y a qu'un seul produit à un emplacement, les spécialités sont disposées les unes à côté des autres. Les emplacements ne sont pas affectés, le robot gère les espaces libres et optimise au mieux la place disponible. En cas de panne du robot, il n'est pas facile de trouver les spécialités que l'on cherche : une même spécialité pourra se trouver à plusieurs endroits différents, en fonction des choix du robot bien que celui-ci tende à placer les produits identiques les uns à côté des autres... Cependant, on peut toujours lire l'emplacement d'une boîte sur l'ordinateur.

Le bras est une sorte de pince qui saisit les boîtes par les côtés, une petite tige creuse placé au centre du bras permet d'aspirer la boîte. La taille maximale des boîtes est de 195\*140\*100 mm et la taille minimale est de 36\* 12\* 12 mm, pour un poids maximal d'un kilogramme.

L'autre point faible est la lenteur du robot : cinq secondes pour entrer une référence et dix secondes pour en sortir une Comparé à un Apotéka, où l'éjection de toutes les boîtes d'une ordonnance plus le convoyage jusqu'au comptoir met dix secondes, le Rowa fait figure d'escargot. .. En effet, lors de la collecte d'une ordonnance, le robot va chercher les spécialités et les amener au système de convoyage des boîtes au comptoir.

Toutefois, pour pallier sa lenteur, le robot collecte les boîtes à chaque ligne saisie, contrairement aux machines concurrentes qui démarrent après validation de l'ordonnance.

Le constructeur annonce tout de même que 700 boîtes par heure peuvent être introduites dans l'enceinte et que le robot peut en sortir 310 par heure.

Son point fort, il est le seul à prendre en charge pour l' instant les produits réfrigérés. Ce créneau étant libre, on peut penser que le ROWA pourrait venir en complément d'un autre robot ou automate déjà en place et être réservé aux produits réfrigérés, ainsi qu'aux petites rotations. Le système d'étagères horizontales devrait d'ailleurs être repris par l'Ariana , pour stocker les produits de faible rotation.

#### **II.4.6.2 Avantages**

- ✓ S'occupe des produits réfrigérés.
- ✓ Nombre de références pouvant être stockées illimité.
- ✓ Caméra dans l'enceinte reliée au constructeur, utile en cas de panne.
- ✓ Optimisation maximale de la place disponible.

#### **II.4.6.3 Inconvénients**

- ✓ Prix très élevé.
- ✓ Semble beaucoup trop lent pour les grosses et moyennes rotations.
- ✓ Mode de rangement aléatoire.

## II.5 Comparaison entre les trois systèmes Pharmamat, ApotéKa et MoveTec

	Pharmamat <sup>®</sup> classique	ApotéKa <sup>®</sup>	MoveTec <sup>®</sup>
Masse d'un module par surface occupée au sol	250kg/m <sup>2</sup> chargé	280 kg/m <sup>2</sup> à vide Possibilité de répartir les charges à moins de 200 kg/m <sup>2</sup> Masse totale à vide : environ 3 tonnes	350 kg/m <sup>2</sup> chargé
Longueur (cm)	126	100	140
Largeur (cm)	110 à 260	50 à 100	120
Hauteur (cm)	180, 205, 235, ou 265	250 adaptable de 180 à 270	225 275 maxi
Surface moyenne au sol	1,39 à 3,28 m <sup>2</sup> /modules	15 à 18 m <sup>2</sup>	1,68m <sup>2</sup> /module
Nombre maxi de canaux/ module	12/plateau	212 à 256	176
Largeur mini d'un canal (mm)	45	50 Pas de 2 mm	12 Pas de 12 mm
longueur d'un canal (cm)	60 ou 100	50 ou 100	95
Taille maximale d'une boîte (mm)	/	/	18*50*100
Nombre de références/module	200 en moyenne	220 en moyenne	500 en moyenne 616 au maximum
Hauteur maximale de chute des boîtes (en cm)	20	250	0
Alimentation	220V	220 V standard	240 V standard
Système de contrôle de bonne éjection	Oui Comptage optique	Oui Comptage optique	Oui Comptage optique
Commande de l'éjecteur	Pneumatique	Electro-aimants	Pneumatique
Robot rangeur	non	oui	non
Temps d'acheminement au comptoir	13 à 15 secondes	5 à 10 secondes	?
Débit	500 ordonnances/heure	1 boîte/seconde	?
Garantie	1 an	Automate : 15 ans Informatique : 3 ans	1 an

Tableau 2.1.comparaison entre les trois principaux systèmes

## II.6 Les différents types de tiroirs rencontrés dans les armoires de dispensation de médicaments

Il existe différents types de tiroirs, chacun adapté au type et à la classification des références :

### II.6.1 Le tiroir matriciel

C'est le tiroir le mieux adapté à une évolution rapide. Les médicaments stockés ont un niveau de sécurisation peu élevé (figure 2.13). Après avoir renseigné les données du patient, le tiroir entier s'ouvre donnant accès à l'ensemble des médicaments de ce dernier, les médicaments du tiroir sont séparés par des cloisons plastiques. Il peut contenir jusqu'à 40 références.

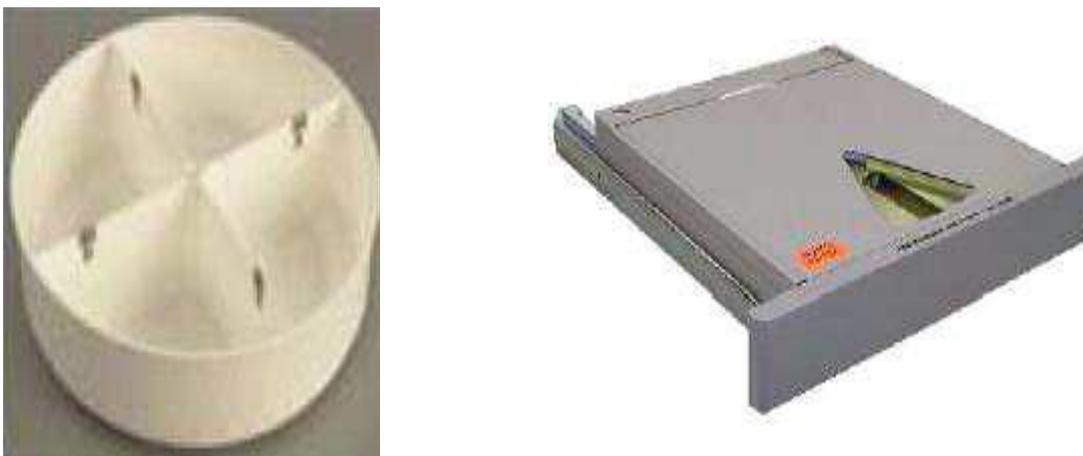


Figure 2.13 .tiroir type matriciel

### II.6.2 Le tiroir carrousel

Il a été conçu pour les articles de tailles plus importantes type flacons ou bouteilles.

Il a un niveau de sécurité plus important que le tiroir précédent et ne donne accès qu'à une seule référence du compartiment (figure 2.14). Le tiroir s'ouvre et ne présente que la portion contenant le médicament désiré par un système tournant de cache métallique. Le nombre de références contenues dans ces tiroirs varie de deux à douze.



**Figure 2.14** .*tiroir type carousel*

### II.6.3 Les mini tiroirs

Ils sont disponibles sous deux formes différentes, adaptés soit pour les seringues soit pour les ampoules. Chaque mini tiroir a un niveau de sécurité différent. [21]



Mini-tiroirs

**Figure 2.15** .*Tiroir type mini-tiroirs*

## II.7 Fonctionnement des armoires à tiroirs

La manipulation de l'armoire pour la dispensation se fait à l'aide du PC de l'armoire, qui est équipé d'un logiciel qui gère les étapes de la dispensation, en commençant par l'introduction du «nom d'utilisateur » et du « mot de passe » de l'infirmier, une alarme informera s'il y a des médicament périmé pour les retirer, une autre alarme indiquera si la quantité d'un médicament a atteint 10 unités pour les compenser.

On choisit le médicament à administrer au patient, ainsi que sa quantité, et là on aura l'ouverture du tiroir qui contient le médicament choisi, quelques secondes plus tard la poche qui contient le médicament s'ouvre aussi, après la prise du médicament, un bouton poussoir 'Close' provoque la fermeture du tiroir et de la poche.

L'ouverture du tiroir se fait par la mise en marche d'un moteur électrique monté sur le tiroir avec un système d'engrenages qui facilite le glissement du tiroir jusqu'à la sortie, et ce dernière sera détectée par un capteur (contact de fin de course) qui provoque l'arrêt du moteur; quand il est ouvert, l'ouverture des poches est faite par l'excitation des électro-aimants des attaches qui vont libérer le couvert de la poche choisie, et la poussée du couvert vers le haut est assurée par des ressorts montés au bord du couvert [22].

### **III.1 Introduction :**

Dans ce chapitre, on traitera le problème d'affectation des médicaments, en utilisant la programmation en visuel basic pour l'application EXCEL pour minimiser le nombre totale des couples de médicaments incompatibles affectés dans les tiroirs d'une armoire automatisée.

Deux médicaments sont dit incompatibles ou similaires quand ils présentent un risque de confusion pour les infirmiers. Et il ne faudrait pas placer deux médicaments incompatibles dans deux compartiments proches ou voisins.

Le système est sous forme d'une armoire mobile, qui contient plusieurs tiroirs, ces derniers sont subdivisés en plusieurs compartiments. Chaque compartiment peut contenir un seul type de médicament en plusieurs unités.

On commencera par une présentation des trois heuristiques d'affectation puis on traitera des exemples d'application pour l'évaluation de performance de ces trois méthodes et va faire une discussion sur les résultats obtenus.

### **III.2 La problématique :**

L'un des soucis majeurs des pharmaciens hospitaliers est que soit administré le bon médicament au bon patient. Avoir la certitude de cette délivrance est l'objectif que cherchent à atteindre ces pharmaciens. L'introduction de ces armoires automatisée dans le milieu hospitalier a permis bien des choses, et parmi elles : la réduction des erreurs et la sécurisation de la délivrance(et du circuit du médicament en général), une meilleure utilisation du temps soignant en unité de soins, un meilleur contrôle de l'utilisation des médicaments grâce à la possibilité de traçabilité complète du circuit, la réduction des délais de réalisation des dispensations, l'optimisation de la gestion des stocks dans chaque service par un suivi informatisé des mouvements de stockage et de déstockage et une automatisation des réapprovisionnements.

Dans une étude menée par Oswald et Caldwell, les auteurs ont évalué les taux d'erreur de remplissage et de distribution avant et après la mise en œuvre d'une armoire automatisée (Automated carousel System) dans un hôpital universitaire de Stanford de 613 lits. Ils ont

pu constater l'amélioration drastique du taux d'erreur. Dans une autre étude, les auteurs ont analysé l'impact d'un système automatisé de distribution (armoire automatisée) dans l'unité de l'hôpital de soins intensifs, sur le plan financier et sur le plan des ressources humaines. Ils ont montré que le coût mensuel par patient avec le système automatisé, a été réduit de 20,3% et le nombre de médicaments en stock a augmenté de 11,4%. Par ailleurs, moins d'espace était nécessaire pour le stockage alors que le personnel avait besoin de moins de temps, réduction de 2H en moyenne par jour.

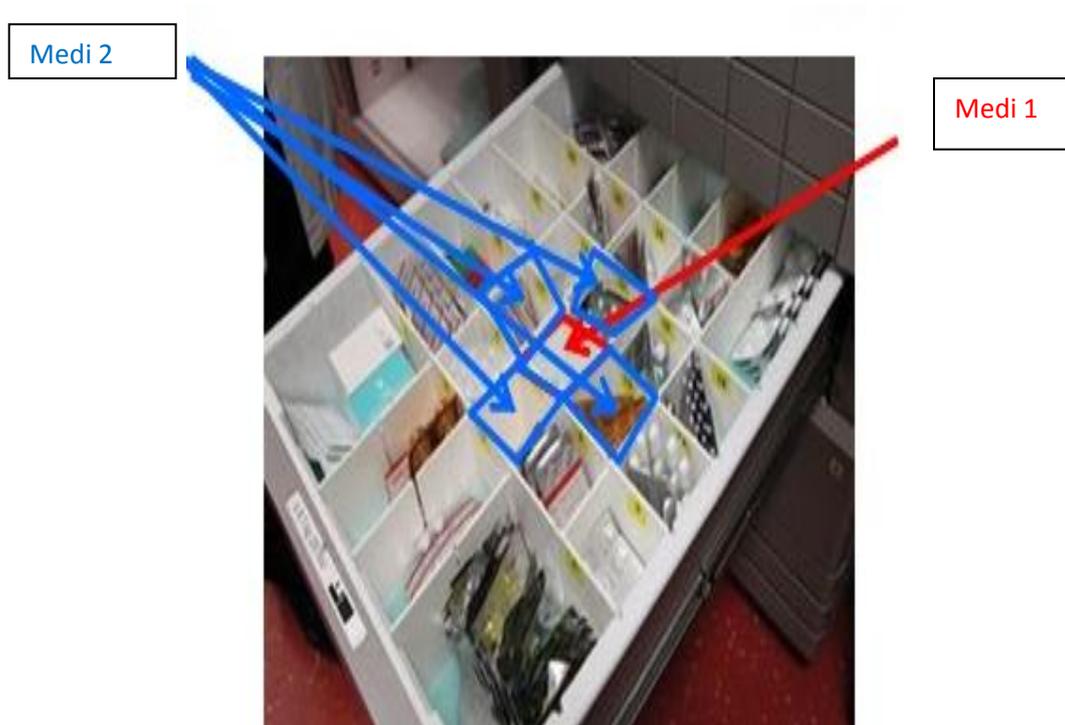
Un autre aspect très crucial dans l'installation des systèmes automatisés de dispensation de médicaments réside dans la prévention des erreurs d'administration et de réapprovisionnements. Effectivement, confondre entre les médicaments est une cause fréquente des erreurs médicamenteuses. Ces erreurs se produisent essentiellement en raison de similitudes entre ces médicaments, soit parce qu'ils ont les mêmes noms de marque (exemple lomustine et carmustine), ils ont la même forme ou bien ils ont le même dosage (50mg pour Metformin et 50mg pour Metronidazole), etc....

Plusieurs techniques existent pour parer aux erreurs d'administration et de réapprovisionnements, comme par exemple pour les noms similaires, on peut citer le recours aux lettres majuscules pour l'écriture des noms de médicaments, comme pour Hydroxyzine et Hydralazine ; on les écrit HydrOXYzine et HydrALAzine pour marquer la différence [10].

L'utilisation du code-barres pour identifier les médicaments constitue un autre moyen pour la prévention des erreurs d'administration.

Pazour et al, ont abordé le problème de la localisation des médicaments à l'intérieur des tiroirs dans le but de minimiser les erreurs humaines de sélection. Deux médicaments sont dit incompatibles ou similaires quand ils présentent un risque de confusion pour les infirmiers, dans notre travail on cherchera une moyenne grâce à la programmation VBA pour interdire de placer les différents médicaments incompatibles côte à côte dans les différents compartiments d'un tiroir d'une armoire automatisée de dispensation,

La figure 3.1 représente le problème d'affectation de deux médicaments incompatibles (Médi1 et Médi 2). Sur la figure 3.1, on voit que le fait de placer le médicament Médi 1 dans un compartiment, interdit de placer le médicament Médi 2 dans les 4 compartiments voisins.



**Figure 3.1.** *Problème d'affectation de deux médicaments incompatibles*

Nous allons développer trois heuristiques de recherche de la meilleure affectation d'un lot de médicaments aux différents tiroirs d'une armoire automatisée de distribution. Comme indicateur de la qualité de la solution, nous considérons le nombre de couples incompatibles placés dans deux compartiments voisins. Pour ce faire, nous utiliserons le Visual Basic pour Application (VBA) sous Excel.

### **III.3 Le Visuel Basic pour l'Application (VBA Excel)**

#### **III.3.1 Définition**

Visual Basic pour Applications, ou VBA, est un langage de programmation qui permet d'automatiser des tâches et de créer des applications complètes qui tirent profit de l'environnement de Windows. VBA est le langage de programmation de Microsoft Visual Basic et des applications Microsoft Office 97 : Word, Excel, Power Point et Access, c'est-à-dire de toutes les applications Microsoft Office.

Le VBA est le langage qui est utilisé pour programmer en Visual Basic les applications Microsoft Office. Ces applications, appelées applications hôtes, contiennent un environnement de programmation commun. Cet environnement qui est similaire à celui de Microsoft Visual Basic est appelé Visual Basic Editeur ou VBE. Les programmes écrits en VBA sont attachés à un document spécifique de l'application hôte : un document ou un modèle Word, un classeur Excel, une base de données Access, ... et ne peuvent fonctionner qu'avec cette application hôte.

Une très bonne connaissance des applications Microsoft Office est nécessaire pour tirer profit de la puissance de ces logiciels à l'aide de VBA. Dans de nombreux cas, le recours à un minimum de programmation permet de simplifier les commandes les plus élaborées. De plus, grâce aux instructions de programmation, on peut améliorer des fonctions existantes ou ajouter de nouvelles fonctions au logiciel. L'écriture de programmes VBA, appelés procédures ou macros, est en outre la solution la plus économique pour doper le logiciel [23].

### **III.3.1 Pourquoi utiliser VBA ?**

- Pour automatiser des tâches : on peut mémoriser dans une macro toute une série d'actions répétitives, ce qui simplifie et sécurise son utilisation.
- Pour étendre et personnaliser une application Microsoft Office : on peut ajouter ou modifier des commandes, des menus, des barres d'outils, des boîtes de dialogue ... .
- VBA permet d'utiliser les mêmes instructions ou codes de programmation dans les différentes applications Microsoft Office. Il utilise en outre les mêmes instructions que celles de Microsoft Visual Basic qui est un langage fort connu et répandu sur les PC.
- Il permet de communiquer entre les différentes applications hôtes, ce qui permet de profiter de la puissance de deux applications. Par exemple, on utilise une fonction financière d'Excel inaccessible dans Access.

### **III.4 La résolution du problème d'affectation sous VBA**

La démarche suivie pour résoudre le problème d'affectation passe tout d'abord par la présentation du système de dispensation. Les données du problème sont (voir la figure 3.2):

n : le nombre de tiroirs de l'armoire

m : le nombre de compartiments de chaque tiroir

$r$  : indice des tiroirs,  $r \in [1, n]$

$k$  : indice du compartiment,  $k \in [1, m]$

Nous considérerons que le nombre de médicaments à affecter à un tiroir est égal au nombre de compartiments  $m$ .

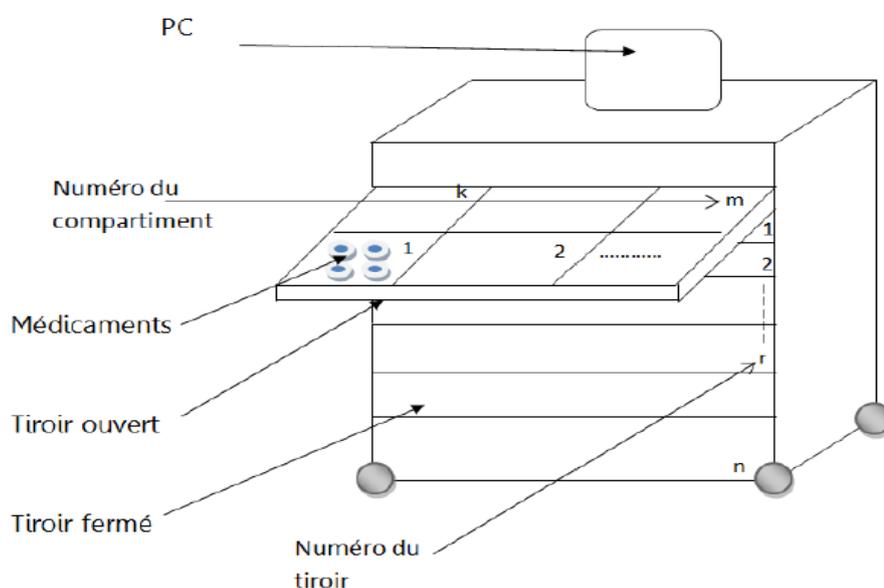


Figure 3.2. Configuration de l'armoire

### III.4.1 Présentation des heuristiques appliquées pour l'affectation

- En appliquant un seuil de binarisation à la matrice de similitude, on va calculer la matrice d'incompatibilité et on va faire l'affectation selon trois méthodes différentes :
  - **La première heuristique:** consiste en l'affectation directe des médicaments sans prendre en considération l'incompatibilité entre les médicaments.
  - **La deuxième heuristique :** consiste en l'affectation des médicaments après le classement décroissant des médicaments selon le nombre des incompatibles de chaque médicament.
  - **La troisième heuristique :** consiste en l'affectation des médicaments après le classement décroissant selon le nombre des incompatibles de chaque médicament. Le remplissage se fait par le choix du premier médicament de la liste avec le dernier (médicament le plus fort avec le plus faible), le deuxième avec l'avant dernier et ainsi de suite selon un choix alterné.

- Un médicament est dit le plus fort s'il a le plus grand nombre des incompatibilités.
- Un médicament est dit le plus faible s'il a le plus petit nombre des incompatibilités.

Dans notre travail on a développé trois programmes exécutables :

1. Programme de génération des matrices  $S_{ij}$  et  $I_{ij}$ .
2. Programme d'affectation des médicaments selon les trois heuristiques.
3. Programme de calcul du nombre de médicaments incompatibles dans des emplacements voisins.

### III.4.2 Les matrices des degrés similitude $S_{ij}$ et d'incompatibilité $I_{ij}$

La méthode de calcul de la matrice d'incompatibilité  $I_{ij}$  à partir de la matrice des degrés de similitude  $S_{ij}$  est comme suit:

La matrice des degrés de similitude  $S_{ij}$  est une matrice carrée symétrique par rapport à la diagonale nulle. Elle est constituée de  $n$  lignes et  $n$  colonnes telle que  $n$  est le nombre total des médicaments.

La matrice d'incompatibilité  $I_{ij}$  est une matrice binaire carrée symétrique par rapport à la diagonale nulle. Elle est constituée de  $n$  lignes et  $n$  colonnes telle que  $n$  est le nombre total des médicaments. Elle nous permet de connaître les couples de médicament incompatibles.

Si la valeur de la cellule  $S(i,j)$  est supérieure ou égale au seuil choisi alors la cellule  $I(i,j)$  prendra la valeur **1**, si non elle prendra **0**. Pour  $n$  médicaments elle sera calculée comme suit :

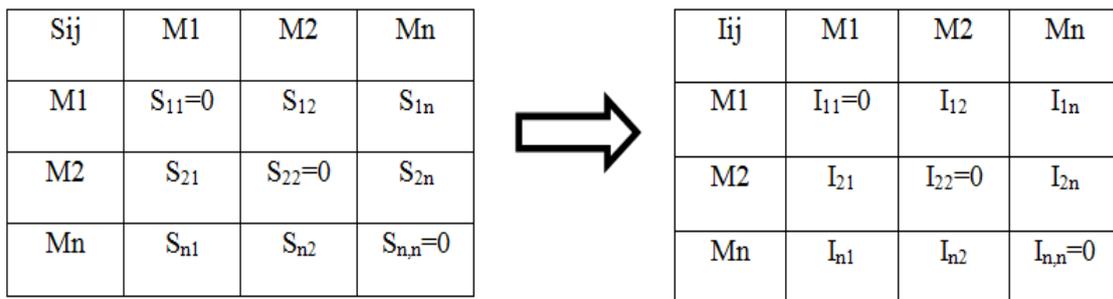


Figure 3.3. Génération de la matrice  $I_{ij}$  à partir de  $S_{ij}$

### III.5 Evaluation de performance des trois heuristiques

Pour évaluer les performances des trois heuristiques, on génère aléatoirement à chaque fois une matrice de similitude  $S_{ij}$  sur laquelle on applique un seuil de binarisation pour (le plus faible) et on évalue après, pour chaque heuristique, le nombre de violation de la contrainte d'adjacence, c'est-à-dire le nombre de médicaments incompatibles placés côte à côte. On applique les trois heuristiques d'affectations sur plusieurs configurations différentes.

#### III.5.1 Première configuration : 18 médicaments

On considère une armoire contenant 2 tiroirs de 9 emplacements chacun (capacité =  $3*3*2=18$ )

La matrice  $S_{ij}$  sera attribuée par le programme de la génération des matrices aléatoires:

Sij	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0.26	0.01	0.90	0.30	0.86	0.92	0.86	0.59	0.39	0.77	0.03	0.07	0.99	0.69	0.26	0.35	0.59
2	0.26	0	0.97	0.29	0.81	0.42	0.23	0.87	0.70	0.30	0.42	0.38	0.53	0.51	0.68	0.68	0.15	0.45
3	0.01	0.97	0	0.84	0.03	0.46	0.30	0.39	0.63	0.31	0.20	0.61	0.16	0.23	0.43	0.16	0.76	0.14
4	0.90	0.29	0.84	0	0.91	0.08	0.35	0.55	0.85	0.28	0.60	0.38	0.73	0.53	0.17	0.27	0.93	0.79
5	0.30	0.81	0.03	0.91	0	0.47	0.19	0.80	0.18	0.37	0.41	0.33	0.03	0.61	0.70	0.20	0.94	0.84
6	0.86	0.42	0.46	0.08	0.47	0	0.67	0.34	0.46	0.09	0.24	0.21	0.65	0.66	0.12	0.42	0.91	0.23
7	0.92	0.23	0.30	0.35	0.19	0.67	0	0.71	0.61	0.22	0.50	0.57	0.78	0.50	0.37	0.48	0.01	0.78
8	0.86	0.87	0.39	0.55	0.80	0.34	0.71	0	0.64	0.36	0.70	0.51	0.15	0.98	0.64	0.77	0.72	0.87
9	0.59	0.70	0.63	0.85	0.18	0.46	0.61	0.64	0	0.67	0.37	0.95	0.30	0.54	0.29	0.18	0.58	0.14
10	0.39	0.30	0.31	0.28	0.37	0.09	0.22	0.36	0.67	0	0.36	0.63	0.10	0.13	0.62	0.21	0.72	0.33
11	0.77	0.42	0.20	0.60	0.41	0.24	0.50	0.70	0.37	0.36	0	0.84	0.71	0.82	0.35	0.39	0.31	0.74
12	0.03	0.38	0.61	0.38	0.33	0.21	0.57	0.51	0.95	0.63	0.84	0	0.62	0.74	0.43	0.58	0.56	1.00
13	0.07	0.53	0.16	0.73	0.03	0.65	0.78	0.15	0.30	0.10	0.71	0.62	0	0.52	0.93	0.48	0.54	0.75
14	0.99	0.51	0.23	0.53	0.61	0.66	0.50	0.98	0.54	0.13	0.82	0.74	0.52	0	0.70	0.04	0.85	0.49
15	0.69	0.68	0.43	0.17	0.70	0.12	0.37	0.64	0.29	0.62	0.35	0.43	0.93	0.70	0	0.35	0.92	0.01
16	0.26	0.68	0.16	0.27	0.20	0.42	0.48	0.77	0.18	0.21	0.39	0.58	0.48	0.04	0.35	0	0.98	0.44
17	0.35	0.15	0.76	0.93	0.94	0.91	0.01	0.72	0.58	0.72	0.31	0.56	0.54	0.85	0.92	0.98	0	0.42
18	0.59	0.45	0.14	0.79	0.84	0.23	0.78	0.87	0.14	0.33	0.74	1.00	0.75	0.49	0.01	0.44	0.42	0

Tableau 3.1. Matrice de similitudes  $S_{ij}$

- Après l'exécution du programme de comparaison des valeurs de la matrice des degrés de similitude  $S_{ij}$  (Tableau 3.1) avec un seuil de 0.25 on obtient la matrice d'incompatibilité  $I_{ij}$  (Tableau 3.3).
- La dernière colonne de la matrice  $I_{ij}$  représente le nombre des médicaments incompatibles avec le médicament de chaque ligne.
- Dans l'exemple suivant (tableau 3.2) on a M1 est incompatible avec M2 et M3

$I_{ij}$	M1	M2	M3	Somme
M1	0	1	1	$0+1+1=2$
M2	1	0	0	$1+0+0=1$
M3	1	0	0	$1+0+0=1$

Tableau 3.2 : Exemple de calcul du nombre de couples de médicaments incompatibles.

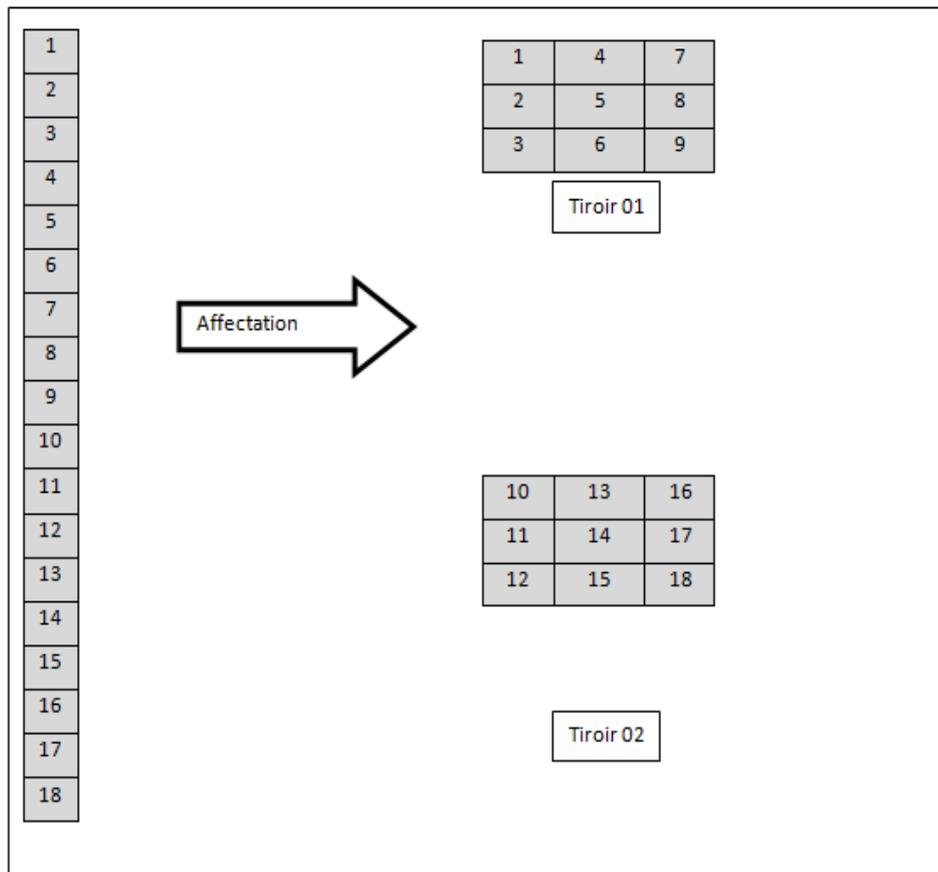
$I_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Somme
1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	14
2	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	15
3	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	10
4	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	15
5	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	12
6	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	11
7	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	13
8	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	16
9	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	14
10	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	12
11	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	15
12	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	15
13	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	12
14	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	14
15	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	14
16	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	12
17	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	15
18	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	13

Tableau 3.3. Matrice d'incompatibilité  $I_{ij}$

- Cette matrice sera utilisée uniquement par le programme d'affectation des heuristiques 02 et 03.
- Le programme de la 1<sup>er</sup> heuristique d'affectation n'utilise pas cette matrice Iij car elle effectuera une affectation directe, le premier médicament au premier compartiment et ainsi de suite, sans prendre en considération les incompatibilités de chaque médicament.

### III.5.1.1 Heuristique 01 : Affectation directe

Après l'exécution du programme de la 1<sup>ère</sup> heuristique d'affectation on obtient la configuration suivante (fig. 3.4.):



**Figure 3.4.** Résultat d'affectation par la 1<sup>ère</sup> heuristique pour la 1<sup>ère</sup> configuration

#### Résultats d'affectation :

Après l'exécution du programme de vérification, on obtient le nombre de couples incompatibles dans des emplacements voisins égal à 16.

### III.5.1.2 Heuristique 02 : affectation après le classement

Après l'exécution du programme on obtient la configuration des deux tiroirs suivants (fig. 3.5.):

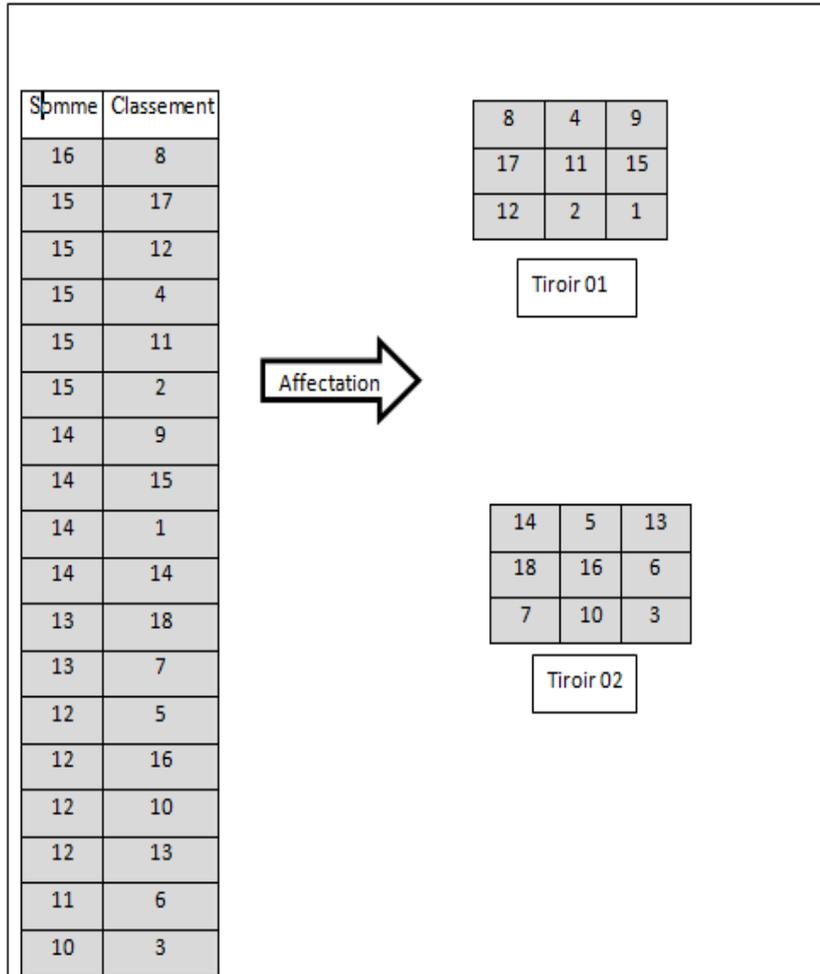


Figure 3.5. Résultat d'affectation par la 2<sup>ème</sup> heuristique pour la 1<sup>ère</sup> configuration

#### Résultats d'affectation :

Le nombre des couples incompatibles dans des emplacements voisins est: 18

### III.5.1.3 Heuristique 03 : affectation après classement et choix alterné

Après l'exécution du programme on obtient la configuration des deux tiroirs suivante (fig. 3.6.) :

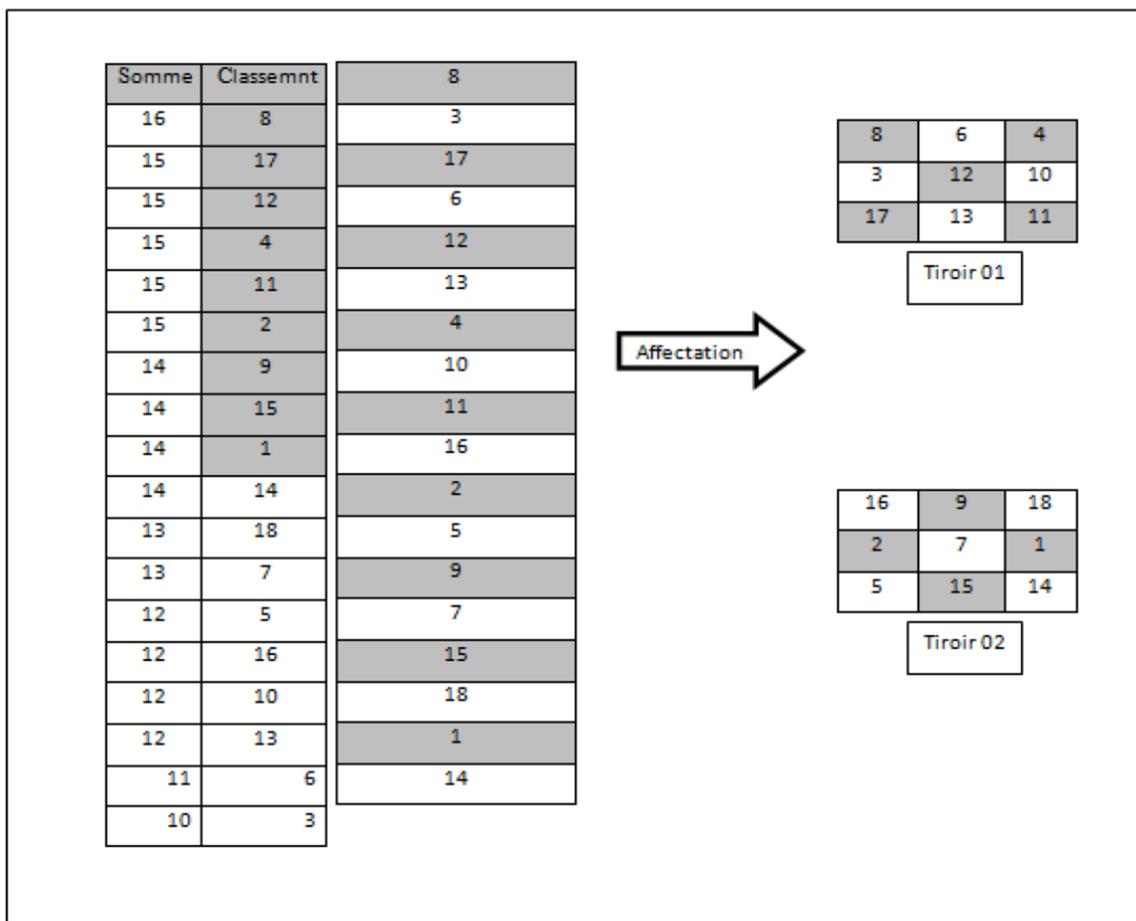


Figure 3.6. Résultat d'affectation par la 3<sup>ème</sup> heuristique pour la 1<sup>ère</sup> configuration.

#### Résultats d'affectation :

Le nombre des couples incompatibles dans des emplacements voisins est: 17

#### Résultats de 10 essais pour la 1<sup>er</sup> configuration 3\*3\*2 (18 médicaments) :

Heuristique	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Moyenne
01	16	14	18	15	18	16	18	15	17	18	16,5
02	18	18	19	19	17	19	17	18	17	17	17,9
03	17	16	17	18	19	14	18	18	16	19	17,2

Tableau 3.4 Résultats de 10 essais pour la 1<sup>ère</sup> configuration (18 médicaments)





### III.5.2.3 Heuristique 03 : affectation après classement et choix alterné :

Après l'exécution du programme d'affectation on obtient la configuration des 4 tiroirs suivante (fig. 3.9.):

117	111	76	57	91	55	51	85	101	25	47	62
4	87	53	14	68	63	97	67	61	15	43	100
20	93	109	16	72	92	40	94	42	36	116	54
106	12	105	96	3	98	73	113	46	108	60	64
83	41	44	28	107	45	74	89	7	22	8	65
tiroir 1						tiroir 2					
11	24	13	5	110	49	115	77	27	86	120	82
58	19	35	104	56	118	18	9	1	81	52	29
10	90	84	80	112	88	33	21	114	103	48	69
78	59	34	75	2	66	23	30	95	102	70	99
26	119	71	38	50	17	37	39	6	79	32	31
tiroir 3						tiroir 4					

Figure 3.9. Résultat d'affectation par la 3<sup>ème</sup> heuristique pour la 2<sup>ème</sup> configuration

#### Résultats d'affectation :

Le nombre des couples incompatibles dans des emplacements voisines est:145

#### Résultats de 10 essais pour la 2<sup>ème</sup> configuration 5\*6\*4 (120 médicaments) :

Heuristique \	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Moyenne
01	143	143	152	149	148	137	146	145	154	140	145,7
02	155	141	141	152	151	144	149	152	141	141	146,7
03	149	145	142	147	144	140	145	146	151	144	145,3

Tableau III.5. Résultats de 10 essais pour la 2<sup>ème</sup> configuration (120 médicaments)





### III.5.3.3 Heuristique 03 : affectation après classement et choix alterné

Après l'exécution du programme d'affectation on obtient la configuration des 4 tiroirs suivante (fig. 3.12.):

110	26	33	135	113	130	67	17	136	140	8	137
82	62	59	52	119	134	126	106	47	103	66	101
54	42	34	2	48	125	111	28	63	78	55	18
46	139	87	144	89	90	133	99	43	76	69	121
70	56	10	143	38	67	88	71	12	6	39	49
114	104	30	20	64	73	109	53	81	40	118	80
tiroir 1						tiroir 2					
22	29	83	128	60	100	131	122	117	11	31	79
138	4	112	85	25	102	74	5	68	91	92	127
77	93	95	129	84	86	23	115	41	24	97	1
50	3	61	7	44	14	96	19	98	36	57	94
108	16	123	124	65	58	116	105	15	27	21	35
37	132	13	45	142	120	107	51	32	75	72	141
tiroir 3						tiroir 4					

Figure 3.12. Résultat d'affectation par la 2ème heuristique pour la 3<sup>ème</sup> configuration

#### Résultats d'affectation :

Le nombre des couples incompatibles dans des emplacements voisins est: 172

#### Résultats de 10 essais pour la 3<sup>ème</sup> configuration 6\*6\*4 (144 médicaments) :

Le tableau suivant représente les résultats obtenus à partir de dix essais de matrices d'incompatibilités différents par les trois heuristiques. (Tableau 3.7)

N° d'essais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Moyenne
Méthode direct	173	192	183	188	186	170	177	188	187	178	182,2
Méthode de classement	177	181	182	186	185	183	176	186	183	182	182,1
Méthode d'inversion	186	180	186	175	183	184	174	188	180	176	181,2

Tableau 3.6. Résultats de 10 essais pour la 3<sup>ème</sup> configuration (144 médicaments)

### III.6 Résultats finales des trois heuristiques appliquées sur les trois configurations :

Le tableau 3.7 donne les moyennes de 100 essais des 3 heuristiques appliquées sur les trois configurations (18, 120,144).

Heuristique	directe	classement	classement alterné
Configuration 1	17.17	16.8	16.15
Configuration 2	145.7	146.7	145.3
Configuration 3	179.53	180.48	177.21

Tableau 3.7. Résultats finale pour les trois configurations

### III.7 Résultats et discussions :

Pour la discussion des heuristiques d'affectation on a développé un programme qui :

- 1- Génère aléatoirement une matrice de similitude entre 18 médicaments.
- 2- Calcule la matrice d'incompatibilité selon un seuil choisit.
- 3- Faire leurs affectations dans une armoire de dispensation composé deux tiroirs de 9 (3\*3) emplacements selon les trois méthodes précédentes (direct, par classement et l'affectation alterné)
- 4- Après la fin de l'affectation, ce programme va calculer le nombre des médicaments incompatibles situés dans des emplacements voisins dans les deux tiroirs.
- 5- Répète ces quatre étapes 100 fois pour chacune et stocke ce nombre dans un tableau.
- 6- Calcule les moyennes des 100 essais pour chaque heuristique.

Les résultats obtenus par ce programme sont représenté dans le tableau 3.8 :

seuil	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
heuristique 01	16,31	15,33	14,3	13,03	11,68	11,01	10,28	8,95	7,46	6,58	5,74
heuristique 02	16,34	16,35	15,55	13,86	13,13	11,92	10,9	9,77	9,17	7,86	6,94
heuristique 03	16,9	15,81	14,23	13,24	11,68	10,64	9,61	8,49	7,08	5,97	4,96

Tableau 3.8. Résultats de programme

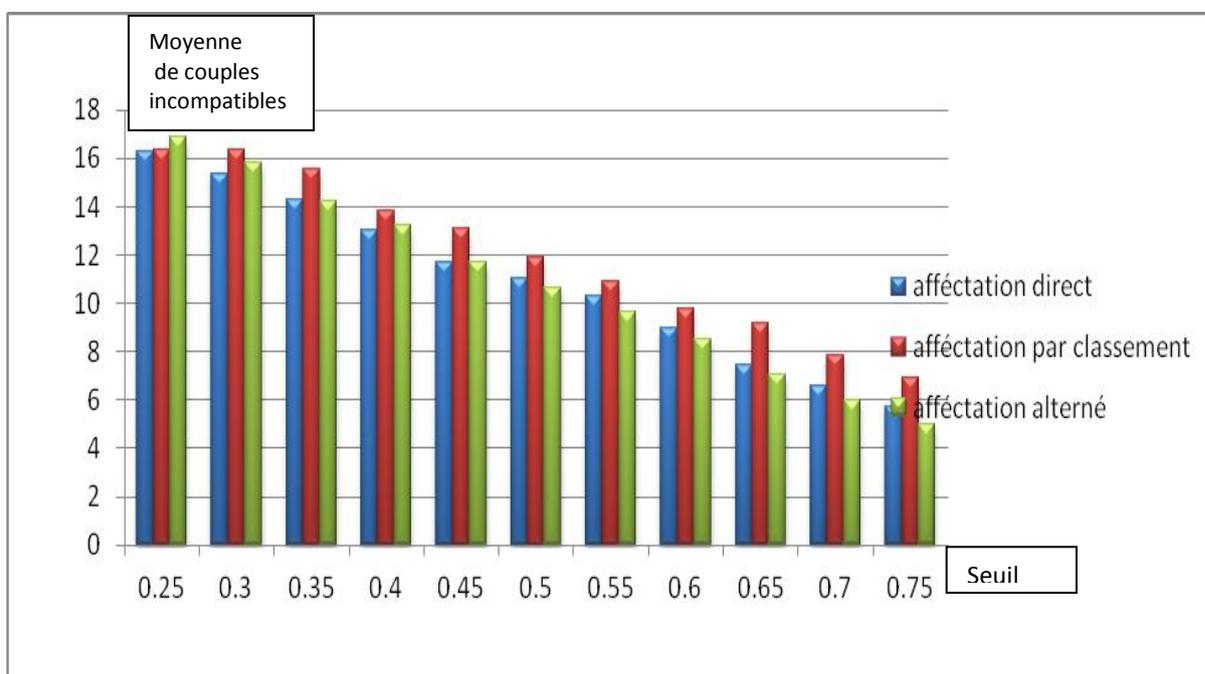


Figure 3.13 .Représentation graphique des résultats

D'après ce graphe on remarque que :

- L'efficacité des méthodes d'affectation s'améliore par l'augmentation du seuil de similitude qui conduit à la diminution des couples de médicaments incompatibles.
- L'affectation de la troisième heuristique (alternée) donne légèrement de meilleurs résultats en termes de nombre de couples incompatibles qui est inférieur à celui de la deuxième heuristique (affectation après classement).

### **III.8 Conclusion**

Dans ce chapitre on conclut que les résultats des méthodes d'affectation des médicaments dans une armoire automatisée de dispensation sont influencés par :

- La configuration de l'armoire c'est-à-dire les dimensions et le nombre des emplacements de chaque tiroir.
- Le seuil choisi pour définir l'incompatibilité entre les médicaments.

On peut augmenter le seuil pour optimiser l'affectation, mais pas trop pour ne pas négliger l'incompatibilité entre les médicaments.

## **Conclusion générale**

La dispensation des médicaments joue un rôle très important dans le milieu hospitalier, elle fait partie intégrante du circuit du médicament, de sa fabrication jusqu'à son acheminement et à son administration au patient. Une automatisation de ce procédé a été faite par l'introduction des armoires automatisées de dispensation causant une amélioration du gain de temps et d'argent et même une diminution des erreurs de distribution des médicaments.

Parmi les problèmes rencontrés la similitude qu'il y'a entre certains médicaments et le haut risque de confusion entre eux pouvant entraîner ainsi une administration du mauvais médicament au patient. Une méthodologie d'affectation a été introduite, celle d'affecter les différents médicaments existants aux compartiments de chaque tiroir mais en sachant qu'il existe des médicaments qu'il ne faut pas placer dans des compartiments voisins (c'est-à-dire partageant un coté) à cause du risque de confusion pouvant induire des erreurs de dispensation. Une liste de médicaments présentant des similitudes est donnée par une matrice de similitude (par couple de médicaments) ou d'incompatibilité dont les éléments valent de 0 à 1, ces valeurs signifient respectivement que les deux médicaments ne sont pas similaires ou ils le sont.

Les erreurs de dispensation des médicaments peuvent provoquer à cause de la similitude entre les médicaments, parmi ces erreurs c'est l'administration du mauvais médicament au patient.

Dans notre travail, nous avons développé une méthode efficace pour traiter le problème d'affectation de médicament aux différents compartiments d'un tiroir d'une armoire automatisée de dispensation. Pour ce faire nous avons formulé la méthode d'affectation sous forme d'un programme exécutable sur le logiciel EXCEL qui permet d'évaluer les performances de trois heuristiques en ayant comme indicateur le nombre de couples incompatibles placés dans des emplacements voisins ; la meilleure heuristique c'est celle qui donne le minimum de couples incompatibles placés côte à côte. Une investigation par simulation a montré que la troisième heuristique donne les meilleurs résultats. Néanmoins, l'écart par rapport aux deux autres heuristiques reste relativement faible, d'où la nécessité de rechercher d'autres heuristiques avec la prise en compte d'autres indicateurs de performances.

# LES ANNEXES

## ANNEXE 1: programme de la génération du Sij et Iij

```
Option Explicit

Sub medi18()
Dim i As Byte, j As Byte
Cells(1, 1) = "Sij"
For i = 1 To 1
  For j = 2 To 19
    Cells(i, j) = j - 1
  Next
Next
For j = 1 To 1
  For i = 2 To 19
    Cells(i, j) = i - 1
  Next
Next
Cells(25, 1) = "Iij"
For i = 25 To 25
  For j = 2 To 19
    Cells(i, j) = j - 1
  Next
Next
For j = 1 To 1
  For i = 26 To 43
    Cells(i, j) = i - 25
  Next
Next
' color matrice = vert
  Next
'faire la symétrisation par rapport au diagonal
  For j = 2 To 19
    For i = 1 To 19
      Cells(j, i) = Cells(i, j)
    Next
  Next
'diagonal=0
  For i = 2 To 19
    For j = 2 To 19
      Cells(j, j) = 0
      'color diagonal jaune
      With Cells(j, j).Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .Color = 65535
        .TintAndShade = 0
        .PatternTintAndShade = 0
      End With
    Next
  Next
  ' compar avc seuil 0.25
  For i = 1 To 18
    For j = 1 To 18
      If Cells(i + 1, j + 1) >= 0.25 Then
        Cells(i + 25, j + 1) = 1
      Else
        Cells(i + 25, j + 1) = 0
      End If
    Next j
  Next i
End Sub

' color matrice = vert
For i = 1 To 19
  For j = 1 To 19
    With Cells(i, j).Interior
      .Pattern = xlSolid
      .PatternColorIndex = xlAutomatic
      .Color = 5296274
      .TintAndShade = 0
      .PatternTintAndShade = 0
    End With
  Next
Next
'largeur cell = 5
For j = 1 To 19
  Cells(j).ColumnWidth = 5
Next
' remplissage aliéatoire
For i = 2 To 19
  For j = 2 To 19
    Randomize
    Cells(i, j) = (1 * Rnd) + 0
  Next
Next
'faire la symétrisation par rapport au diagonal
For j = 2 To 19
  For i = 1 To 19
    Cells(j, i) = Cells(i, j)
  Next
Next
'diagonal=0
For i = 2 To 19
  For j = 2 To 19
    Cells(j, j) = 0
    'color diagonal jaune
    With Cells(j, j).Interior
```

## LISTE DES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

[1] ALLAIN H., POLARD E., LE DUFF F., et al. Le circuit du médicament à l'hôpital  
Thérapie, juillet-août 2002, vol. 57, n°4, p. 379-384

[2] SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHARMACIE CLINIQUE Dictionnaire français de  
l'erreur médicamenteuse 2005, 64p. ISBN 2-9526010-0-3

[3] GRITTON A.C. La dispensation individuelle et nominative au CHU de Tours : mythe  
ou réalité ? Mémoire de l'École Nationale de Santé Publique, 2006, 110p.

[4] Encyclopédie universalis :

:<http://www.universalis.fr/classification/techniquesgeneralites/automatique-et-robotique/automatique-et-automatisation/>).

[5] Recommandations du CEDIT (comité d'évaluation et diffusion des innovations  
technologiques française). Réf 02.15/ RE1/04.

[6] Faddis MO. Eliminating errors in medications. Am J Nursing. 1939,39,1217-1223.

[7] Chedhomme F. Apport des armoires robotisées dans la sécurisation et l'optimisation du  
circuit du médicament. Exemple de l'hôpital Robert-Bellanger d'Aulnay-sous-Bois. Thèse  
Pharmacie. DES Pharmacie Industrielle et Biologie Médicale 2005. Faculté des sciences  
pharmaceutiques et biologiques, université Paris-V.

[8] Bayliff CD. The Canadian Journal of Hospital.

[9] Pazour, J. A., & Meller, R. D. (2012). A multiple-drawer medication layout problem in  
automated dispensing cabinets. Health care management science, 15(4), 339-354.

[10] Hachemi, K., & Alla, H. (2013, Octobre). Affectation de médicaments dans un  
système automatisé de dispensation de médicaments : approche basée sur la synthèse de  
contrôleur par réseau de Petri. 8<sup>ème</sup> conférence Internationale Conception & Production  
Intégrées, Tlemcen 21-23 octobre 2013.

[11] Documentation publicitaire PlusInfo-PEEM, 2000-2001

[12] Documentation technique PlusInfo-PEEM, les principes de fonctionnement du  
Pharmamat, 2001

[13] Documentation technique Phi-CONCEPT - Notice d'implantation ApotéKa, 2001

[14] SAUREL V. Voici venu le temps des automates, Le Moniteur des Pharmacies et des  
Laboratoires, 2001,1, n02395, p 72-74

[15] COMTEP. Stock automatisé pour officine humanisée Th : Pharmacie: Montpellier I :  
2000, 94 f.

[16] Documentation publicitaire FAHRENBERGER TECHNOLOGIE - Automate

Ariana la liberté, 2001

[17] Site PEEM disponible sur Internet : <http://www.peem.com/>. juillet 2001

[18] Documentation publicitaire TECNY-FARMA- Pharmatrack S I036,2001

[19] PHARMAGORA (2001 ; Paris) 24, 25, 26 mars 2001 Paris-Expo, Parc des Expositions, Porte de Versailles, 75015 Paris, Hall 7 niveau 3

[20] Documentation publicitaire ARX - ROWA, 2001

[21] Bennani, I. « L'apport d'une solution automatisée dans l'optimisation et la rationalisation de la dispensation de produits pharmaceutiques en milieu hospitalier », *thèse de doctorat*, Université Mohammed V faculté de médecine et de pharmacie –Rabat, 2011.

[22] Hussein Abdelaziz Abdelatif, F., & Douaer, Z. « Conduite optimale d'une armoire automatisée de dispensation de médicaments », *Projet de fin d'étude*, Université d'Oran, 2013

[23] Rob Bovey, Stephen Bullen, John Green, Robert Rosenberg. *VBA pour Excel*

*2002 La référence du programmeur*. CampusPress, 2002.