



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 heuristique intelligente pour
l'arrangement de médicaments dans une armoire
automatisée de dispensation**

Présenté et soutenu publiquement par :

CHOUARFIA Djamel Eddine

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
METAHRI Dhiyaeddine	MCB	IMSI-Univ. D'Oran2	Président
HACHEMI Khalid	Prof.	IMSI-Univ. D'Oran2	Encadreur
GUETARNI Islam Hadj Mohamed	MCB	IMSI-Univ. D'Oran2	Examineur

Année 2020/2021

Remerciement

Je remercie tout d'abord ALLAH le tout puissant qui m'a guidé sur le bon chemin et m'a donné la force pour pouvoir dépasser toutes les difficultés.

J'exprime ma profonde reconnaissance à ma source d'amour et d'affection, mes très chers parents qui ont sacrifié leur vie pour mon éducation et mon instruction afin que je puisse arriver à mon but.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Monsieur HACHEMI Khalid mon encadrant, pour son encadrement, son aide et son soutien, notamment dans les moments difficiles.

J'adresse mes remerciements à Madame BELKHOUDJA Leila pour son aide durant ce travail et le réconfort moral qu'elle me donnait.

Je remercie les membres du jury d'avoir bien voulu juger ce travail.

A mes frères et ma sœur, pour leur aide et leur soutien moral.

A mon amour qui a su me supporter même dans les pires moments.

A toute ma famille pour leur soutien.

Un grand merci à tous ceux qui ont participé à l'élaboration de cette thèse.

Dédicace

Je dédie ce travail à

**Mes parents, merci à ma mère et mon père d'avoir été présents
toutes ces années et de m'avoir toujours soutenu.**

**Mes frères Toufik, Oussama, Yassine, et ma petite sœur Romaïssa,
merci pour votre présence, votre affection ...**

**Ma moitié et ma puissance Maroua Hidayet, merci d'être dans ma vie,
je t'aime ...**

**Mes amis et mes proches, Lakhal, Zouhir, Amine, Oussama, Houari,
Abdou , Abou Baker , Ali, Mohammed ...**

Mes cousins, Ilyes, Abdou, Abdallah, Salim, Djaloul, Fayçal ...

**Mes très chères proches qui m'ont beaucoup soutenu pendant toute
ma formation, ils trouveront ici ma profonde gratitude.**

Table des matières

Chapitre I : Généralité sur le circuit de médicaments

I.1	Introduction :	1
I.1	Circuit des médicaments :	1
I.2	L'organisation générale du circuit du médicament :	2
I.3	Rôle du pharmacien dans le circuit du médicament	3
I.4	Prescription :	3
I.4.1	Notions de prérequis :	3
I.4.2	Choix du médicament :	3
I.4.3	Formulation de l'ordonnance :	4
I.4.4	Traçabilité de la prescription :	4
I.5	La dispensation :	4
I.5.1	Analyse de l'ordonnance	5
I.5.2	La délivrance	5
I.5.3	La traçabilité de la délivrance :	8
I.5.4	Règles de transport des médicaments :	8
I.5.5	Evaluation de la dispensation :	8
I.6	L'administration :	9
I.6.1	Traçabilité de l'administration :	9
I.6.2	Le suivi, la surveillance et la réévaluation :	10
I.7	L'origine des erreurs :	10
I.7.1	Classification des erreurs :	10
I.7.2	Mécanisme de production des erreurs :	11
I.7.3	Mesure des erreurs de médications :	11

I.8	Qu'est ce que l'automatisation ?	15
I.9	Automatisation de la dispensation à délivrance nominative :	15
I.9.1	Automates de reconditionnement :	15
I.9.2	Automates de sur-conditionnement :	17
I.9.3	Les autres automates disponibles pour sécuriser la dispensation globale, complément indispensable à la DDN :	18
I.9.4	Existe-t-il une solution idéale d'automatisation pour la DDN :	23
I.9.5	Les avantages de l'automatisation :	26
I.9.6	Les inconvénients de l'automatisation :	28
Chapitre II : Les différents systèmes automatisés de dispensation		
II.1	Introduction	32
II.2	Principe de fonctionnement d'un automate :	32
II.2.1	Présentation globale du système :	32
II.2.2	Présentation générale d'un automate	33
II.3	Les systèmes décentralisés de dispensation de médicaments	34
II.3.1	Les différents types des systèmes décentralisés de dispensation de médicaments	34
II.3.2	Les inconvénients des systèmes décentralisés de dispensation de médicaments	45
II.4	Les systèmes centralisés de dispensation de médicaments	48
II.4.1	Les différents types des systèmes centralisés de dispensation de médicaments	48
II.4.2	Comparaison entre les trois systèmes centralisés :	60
II.4.3	Les avantages et les inconvénients des systèmes centralisés :	61
II.5	Une comparaison entre les systèmes centralisés et décentralisés de dispensation	63
II.6	Conclusion.....	64

Chapitre III : Développement d'une heuristique pour l'optimisations des erreurs de dispensation

III.1	Introduction	66
III.2	Problématique.....	66
III.3	Visuel Basic pour L'Application (Excel VBA).....	68
III.3.1	Présentation de Excel VBA.....	68
III.3.2	Pour quoi utiliser Excel VBA.....	68
III.3.3	Où coder Excel VBA ?.....	69
III.4	La résolution du problème d'affectation sous VBA.....	70
III.4.1	Présentation des heuristiques appliquées pour l'affectation.....	70
III.4.2	Les matrices des degrés similitude S_{ij} et d'incompatibilité I_{ij}	71
III.5	Evaluation de performance des trois heuristique.....	72
III.5.1	Première configuration : essai de 30 médicaments.....	72
III.5.2	Deuxième configuration (120 médicaments) :	77
III.5.3	Troisième configuration (180 médicaments) :	80
	Résultats finales des trois heuristiques appliquées sur les trois configurations :.....	83
	Résultats et discussions :	83
	Conclusion	85

Liste des figures

Figure I-1 Schéma du circuit du médicament	1
Figure I-2 La délivrance individuelle nominative journalière des médicaments	7
Figure I-3 La distribution globale des médicaments	8
Figure I-4 Automates de déconditionnement.....	17
Figure I-5 Automates surconditionneurs	18
Figure I-6 Stockeur rotatif.	19
Figure I-7 Stockeur rotatif vertical GIROPHARMA	20
Figure I-8 Les stockeurs automatisés	20
I-9 Système APOTEKA	21
Figure I-10 Préparation de formes orales sèches	22
Figure I-11 Armoire sécurisée informatisée.....	23
Figure II-1 Un système d'automatisation	33
Figure II-2 Un système de dispensation	34
Figure II-3 photo du Système ATHOS™ DOSY.....	35
Figure II-4 Exploitation du système	35
Figure II-5 Contrôle du système.....	36
Figure II-6 Photo des dimensions de produit	37
Figure II-7 Système PARATA MAX.....	38
Figure II-8 Espace total du système	39

Figure II-9 Photo de système PARATA MAX	40
Figure II-10 Photo du Système CONSYS B	41
Figure II-11 Photo de système CONSYS B	42
Figure II-12 Méthode de gestion et l'approvisionnement du système CONSYS B....	43
Figure II-13 Méthode de dispensation du systme CONSYS B	43
Figure II-14 Les différents types de CONSYS B	44
Figure II-15 : Canal d'organisation de l'automate PHARMAX	48
Figure II-16 Vue intérieure du système PHARMAX	49
Figure II-17 Système pneumatique Aeroacom	49
Figure II-18 Toboggan du pharmax	50
Figure II-19 Système d'aiguillage de PHARMAX	50
Figure II-20 Ascenseur du PHARMAX	51
Figure II-21 Système ARX ROWA V MAX	51
Figure II-22 Poste de commande de Rowa Vmax	52
Figure II-23 Armoires et des bras robotisés du Rowa Vmax	53
Figure II-24 Système TECNILAB DREAMTECH	55
Figure II-25 Vue d'intérieur du système DreamTech	56
Figure II-26 Première méthode de remplissage du DreamTech	57
Figure II-27 Deuxième méthode de remplissage du DreamTech	57
Figure II-34 Le rangement dans les armoires de la partie (fast) du DreamTech	58

Figure III-1 Problème d'affectation de deux médicaments incomptables.....	67
Figure III-2 Fenêtre de Code Excel VBA.....	69
Figure III-3 Heuristique 1- Première configuration	74
Figure III-4 Heuristique 2-Deuxième configuration	75
Figure III-5 Heuristique 3-Troisième configuration	76
Figure III-6 Heuristique 1-Deuxième configuration	77
Figure III-7 Heuristique 2- Deuxième configuration	78
Figure III-8 Heuristique 3- Troisième configuration.....	79
Figure III-9 Heuristique 1- Configuration 3	80
Figure III-10 Heuristique 2-Configuration 3	81
Figure III-11 Heuristique 3- Configuration 3	82
Figure III-12 Diagramme de configuration de seuil.....	85

Tableau II-1 Classefication des erreurs	10
Tableau II-2 Armoires automatisées et sécurisées	23
Tableau II-3 Comparaison des solutions d'automatisation avec ou sans déconditionnement	25
Tableau II-1 Récapitulatif des différents systèmes de robotisation	60
Tableau III-1 Génération de la matrice d'incompatibilité à partir de S_{ij}	72
Tableau III-2 Matricede similtudes S_{ij}	72
Tableau III-3 Calculer la somme.....	73
Tableau III-4 Exemple de calcul du nombre de couples de médicaments incompatibles	73
Tableau III-5 Résultats de configuration 1	77
Tableau III-6 Résultats de configuration 2	79
Tableau III-7 Résultats de configuration 3	83
Tableau III-8 Résultats de 100 essais	83
Tableau III-9 Configuration de seuil	84

Liste des abréviations

ADA : Armoire de Distribution Automatisé

SFPC : (Société Française de Pharmacie Clinique)

IDE : Infirmier Diplômé d'Etat

MDS: Médicaments Dérivés du Sang

DJIN: Dispensation Journalière Individuelle Nominative

PUI : Pharmacie à Usage Interne

VBA : Visuel Basic pour Applications

VBE : Visuel Basic Editeur

ISO : International Organisation for Standardisation

Introduction générale

Introduction générale

Le 24 décembre 2009, la mort d'Yliès, 3 ans, a frappé les esprits. L'enfant, admis à l'hôpital Saint-Vincent-de-Paul pour une petite angine, est mort à la suite d'une erreur survenue dans l'administration de l'un de ses médicaments ... Une simple erreur de flacon. Entre le B46, le médicament qui devait être administré à Yliès, et la poche de chlorure de magnésium qui a causé sa mort, des ressemblances ; même bouchon, même étiquette bleue mais surtout, le flacon de chlorure de magnésium n'était pas à sa place.

La sécurisation de la prise en charge médicamenteuse des patients hospitalisés est un enjeu important de santé publique. La finalité de tout circuit du médicament peut se résumer par l'expression : « le bon médicament, à la bonne dose, au bon moment, au bon malade ». A l'hôpital, ce circuit est complexe, transversal et multidisciplinaire et les nombreux acteurs, sont autant de sources potentielles d'erreurs.

L'encadrement réglementaire et notamment la démarche nationale de contractualisation et de certification incite chaque hôpital à définir la politique qu'il souhaite mettre en œuvre pour maîtriser les erreurs médicamenteuses. Les difficultés financières que connaissent les établissements de santé situent l'enjeu de la sécurisation du circuit du médicament également au niveau de la maîtrise des coûts par la qualité des soins. Le recours aux technologies d'automatisation dans le circuit du médicament est une des pistes de sécurisation et d'optimisation. Toutefois leur implémentation est complexe et nécessite un important investissement financier.

Le but de ce travail est de développer une heuristique intelligente 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 leurs avantages et leurs inconvénients.

Dans le troisième chapitre on va développer une heuristique d'affectation des médicaments vers les tiroirs d'une armoire automatisée de dispensation dans le but de minimiser les erreurs liés à la dispensation à l'aide de VBA Excel.

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

Chapitre I

Généralité sur le circuit de médicaments

I.1 Introduction :

Le circuit du médicament est le 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 est constitué par les étapes de prescription, de dispensation, d'administration et de suivi thérapeutique, et comprend le traitement de l'information

Les différents professionnels de santé (les médecins, les soignants et les préparateurs en pharmacie) intervenant dans le circuit du médicament ont un rôle majeur afin de fluidifier, fiabiliser et par conséquent, sécuriser le circuit du médicament

I.1 Circuit des médicaments :

Le circuit du médicament comporte 2 circuits (fig I-1) :

- Clinique: prescription – validation et dispensation – administration
- Logistique: achat des médicaments, délivrance dans l'unité de soins et retour vers l'administration [1].

Le circuit du médicament en établissement de santé est composé d'une série d'étapes successives, réalisées par des professionnels différents : la prescription est un acte médical, la dispensation, un acte pharmaceutique et l'administration, un acte infirmier ou médical. En outre, ce circuit est interfacé avec le système d'information hospitalier et la logistique. Chaque étape de ce circuit est source d'erreurs potentielles qui peuvent engendrer des risques pour la santé du patient. [2]

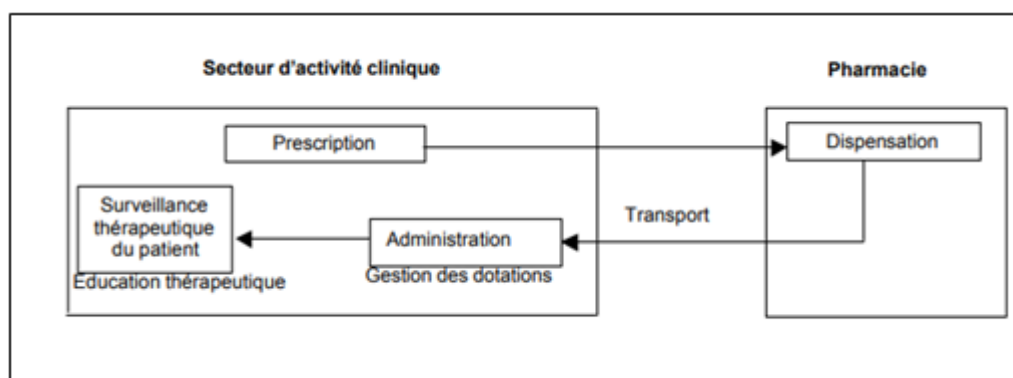


Figure I-1 Schéma du circuit du médicament

I.2 Organisation générale du circuit du médicament :

Dans la suite de ce chapitre, et pour une raison de disponibilité de la documentation, nous présenterons le circuit de médicaments dans le contexte de la réglementation Française. Le pilotage du circuit du médicament est réalisé, en France, par la Commission du médicament et des dispositifs médicaux stériles (COMEDIMS), qui en fixe les objectifs prioritaires, dont la prévention et la surveillance des événements indésirables évitables, susceptibles de survenir dans ce circuit. Ces objectifs prennent en compte la réglementation en vigueur, les résultats d'évaluations antérieures et les données de la veille technologique et scientifique. Ils sont validés par la direction et les instances et diffusés aux professionnels concernés.

L'organisation du circuit est établie selon des modalités déterminées en commun par les professionnels de la pharmacie et des secteurs d'activité clinique, avec la participation des instances concernées. Ces modalités d'organisation concernent :

- chaque étape du circuit du médicament, les responsabilités et délégations de responsabilité, les relations entre les acteurs ;
- éventuellement, les sous-circuits spécifiques à certains médicaments (stupéfiants ou spécialités soumises à tout ou partie de la réglementation des stupéfiants, fluides médicaux, anti-infectieux, anticancéreux, préparations magistrales ou hospitalières, autres médicaments à statut particulier), à des populations de patients (personnes âgées, enfants, etc.) ou à des situations d'urgence ;
- la permanence de la réponse aux besoins, dans des délais adaptés ;
- les activités sous-traitées en externe, le cas échéant ;
- le recueil et la déclaration de tous les événements indésirables évitables, y compris ceux n'ayant pas entraîné d'événements indésirables chez le patient (par exemple, le « presque-accident » d'administration lié au surmenage de l'infirmière) ;
- l'analyse a priori [par exemple, l'Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (Amdec)] ou a posteriori, en priorité, des événements indésirables graves (par exemple, dans le cadre des revues de mortalité-morbidité) en vue de leur prévention ou de leur correction ;
- la gestion documentaire relative au médicament (réglementation, protocoles, notes de service...)
- le recueil d'indicateurs de la qualité du circuit. Ces modalités d'organisation sont diffusées aux professionnels.

I.3 Rôle du pharmacien dans le circuit du médicament

Au sein du circuit du médicament, différentes activités sont gérées par le pharmacien hospitalier des activités d'achat, d'approvisionnement, de préparation, de contrôle, de stockage et de dispensation des médicaments. Il mène, de plus, toutes les actions d'information, de promotion et d'évaluation des médicaments et de leur bon usage nécessaire à l'optimisation de leurs utilisations. Le cadre réglementaire du rôle de la pharmacie à usage intérieur (PUI) vis-à-vis de la délivrance des médicaments est très précis, «La pharmacie à usage intérieur est notamment chargée»[3].

Le pharmacien hospitalier représente l'interface entre l'équipe de direction, les médecins et les soignants. Il est le garant de la qualité et de la sécurité du circuit du médicament. Ainsi l'évolution de ses responsabilités a fait passer la pharmacie hospitalière, d'une logique de gestion et de logistique de distribution à une logique de pharmacie clinique.

I.4 Prescription :

La prescription est assurée par un professionnel habilité (médecins, odontologistes, sages femmes, internes...)

I.4.1 Pré-requis :

- Une prescription médicale : la prescription doit être réalisée par des professionnels habilités (médecins, odontologistes, sages-femmes, internes...).
- Une prescription écrite, datée et signée : elle peut être informatisée sous réserve d'être authentifiée par une signature électronique. Elle doit comporter le nom et la qualification du prescripteur, ainsi que la dénomination du médicament, l'identité du patient et la durée et la posologie de traitement.
- Une prescription rédigée après examen du malade : le prescripteur doit évaluer la balance bénéfices/risques. Les traitements personnels du patient sont renouvelés en tant que de besoin : aucun médicament, en dehors de ceux prescrits dans l'établissement, ne peut être laissé à disposition du malade.
- Une prescription expliquée au patient : il doit être informé de l'utilité, du bénéfice et des effets indésirables des traitements prescrits.
- Une prescription mentionnée dans le dossier médical mais qui ne peut être retranscrite par le personnel paramédical. [3]

I.4.2 Choix du médicament :

Il est fait en fonction de « Evidence Based Medicine » (EBM ou médecine factuelle) qui se définit comme l'utilisation consciencieuse et judicieuse des meilleures données

(preuves) actuelles de la recherche clinique dans la prise en charge personnalisée de chaque patient, ces preuves proviennent d'études cliniques systématiques, telles que des essais contrôlés randomisés, des méta-analyses, éventuellement des études transversales ou de suivis bien construits. [6]

Les éléments suivants contribuent à la qualité de ce choix :

- l'utilisation d'outils d'aide à la décision : recommandations de bonnes pratiques, protocoles thérapeutiques, données pharmaco-économiques (par exemple, le choix de la voie d'administration la plus adaptée);

- le respect du Résumé des Caractéristiques du Produit (RCP) établi dans le cadre de l'AMM des spécialités pharmaceutiques ;

- utilisation du livret thérapeutique de l'établissement (ou document équivalent) et des listes de préparations officinales ou hospitalières pouvant être faites à la pharmacie.

I.4.3 Formulation de l'ordonnance :

Ça implique : le nom et le prénom du patient ; leur sexe et date de naissance ; le cas échéant, mention de grossesse ou d'allaitement ; la qualité, le nom et la signature du prescripteur ; identification de l'unité de soins ; le nom usuel du médicament, son dosage et sa forme pharmaceutique ; la voie d'administration ; la dose par prise et par 24 heures ; le rythme ou les heures d'administration.

I.4.4 Traçabilité de la prescription :

Les ordonnances forment un élément du dossier médical (et du dossier médical personnel ou DMP créé par la loi n° 2004-810 du 13 août 2004) accessible en permanence aux professionnels concernés, et font l'objet et d'un archivage permettant d'assurer une partie de la traçabilité des soins.

I.5 Dispensation :

La dispensation est définie dans le code de la santé publique (article R. 5015-48) comme l'acte pharmaceutique associant à la délivrance des médicaments ; Seul le pharmacien est habilité à dispenser les médicaments. [7]

- Elle relève des pharmaciens et préparateurs en pharmacie.
- Elle suppose une analyse pharmaceutique de la prescription et une possibilité pour le pharmacien de demander au médecin, le cas échéant, des précisions en cas de doute.
- La préparation des doses à administrer s'accompagne d'un enregistrement des numéros de lots.
- La délivrance est individuelle et nominative. Les informations et conseils nécessaires au bon usage des médicaments sont mis à disposition.

I.5.1 Analyse de l'ordonnance

Cette analyse s'applique à toutes les prescriptions avant leur délivrance et leur administration. Seules les situations d'extrême urgence peuvent déroger à cette obligation. L'analyse de l'ordonnance comporte deux étapes :

- L'analyse réglementaire
- L'analyse pharmaco thérapeutique.

I.5.2 Délivrance

C'est la mise à disposition des secteurs d'activité clinique, des médicaments prescrits dans un délai adapté à leur utilisation.

I.5.2.1 Modalités de délivrance [4] [5] :

Ce sont, par ordre de sécurité décroissante :

- **Délivrance individuelle nominative (DIN):**

Après analyse des prescriptions, les médicaments sont préparés pour chaque patient, selon une périodicité variable (journalière, hebdomadaire, etc.), et prise par prise dans des conteneurs individualisés et adéquats. La périodicité de délivrance est définie entre la PUI et le secteur de soins :

Dispensation à délivrance journalière individuelle nominative (DJIN) ou hebdomadaire (DHIN). La délivrance nominative est l'organisation privilégiée mise en œuvre aussi souvent que possible (fig.I.2). L'automatisation des opérations réalisées lors de la délivrance nominative doit pouvoir permettre l'extension de ce mode de délivrance. La dispensation nominative effectuée par la pharmacie est la méthode de choix qui garantit une délivrance de qualité des médicaments. Elle peut être centralisée à la pharmacie ou décentralisée dans les unités de soins : « antenne pharmaceutique ».

Recommandation relative à la dispensation nominative des médicaments [8]:

1- Mise à disposition de préparations individualisées :

Bien que non exigible au plan réglementaire, la préparation individualisée est souhaitable chaque fois que le dosage de la spécialité est incompatible avec la posologie prescrite. C'est le cas pour les malades de pédiatrie, de gériatrie et d'oncologie.

Si la délivrance des médicaments est faite selon le principe de la dispensation journalière nominative, la présentation des produits en mono-doses est nécessaire.

2- Conditionnement unitaire des médicaments :

Tout médicament utilisé en milieu hospitalier doit pouvoir être clairement et précisément identifié par tous les professionnels de santé qui sont amenés à le manipuler [9].

La présentation unitaire d'un médicament répond à cette exigence. Ce conditionnement, qui peut être industriel ou hospitalier, doit répondre aux caractéristiques suivantes :

- Etre imperméable à l'air et à l'eau,
- Protéger le médicament de la lumière si nécessaire,
- Avoir des dimensions compatibles avec les conteneurs de distribution,
- Disposer des mentions suivantes sur la monodose : nom du produit, forme, dosage, numéro de lot, date de péremption, date de conditionnement pour les monodoses hospitalières. Il peut aussi comporter le numéro de code C.I.P. en clair et en barres.

La présentation unitaire des médicaments, nécessaire pour le mode de dispensation journalière individuelle nominative (DJIN), entraîne moins de risques pour le malade et est souvent plus performante pour l'établissement par (voir la fig I-2) :

- Diminution de la fréquence des erreurs de traitements,
- Diminution du coût total de la médication,
- Augmentation du contrôle et de la surveillance de l'usage du médicament,
- Adaptation facile aux procédures d'informatisation et d'automatisation,
- Optimisation de la gestion des flux de médicaments

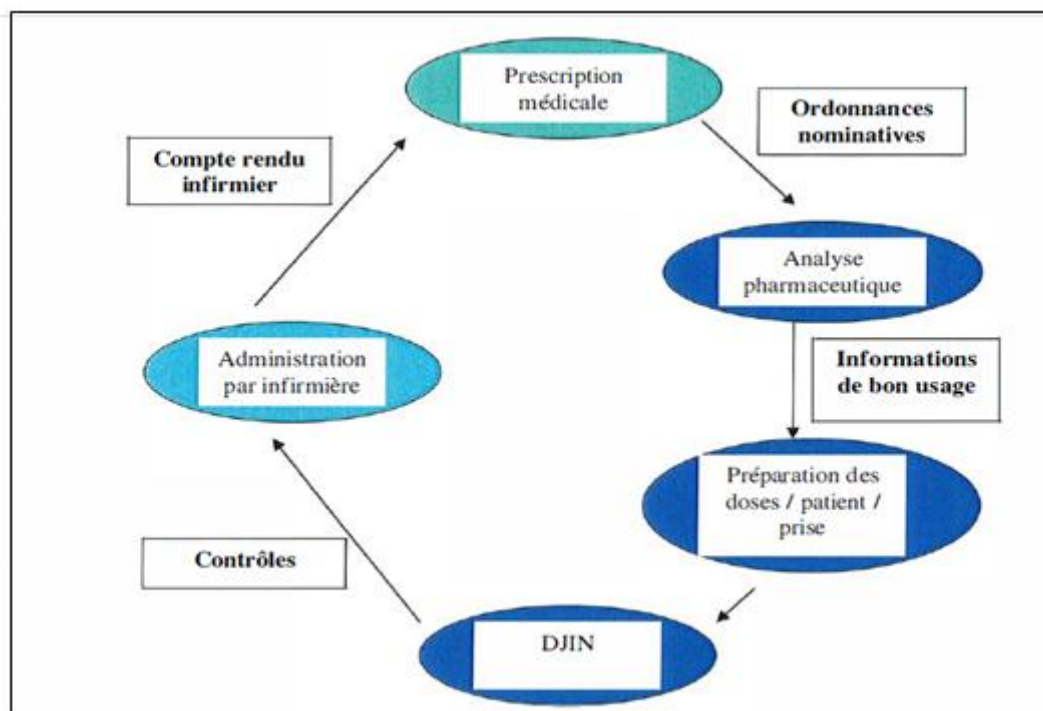


Figure I-2 La délivrance individuelle nominative journalière des médicaments

- **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.

- **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 (fig.I.3). 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.

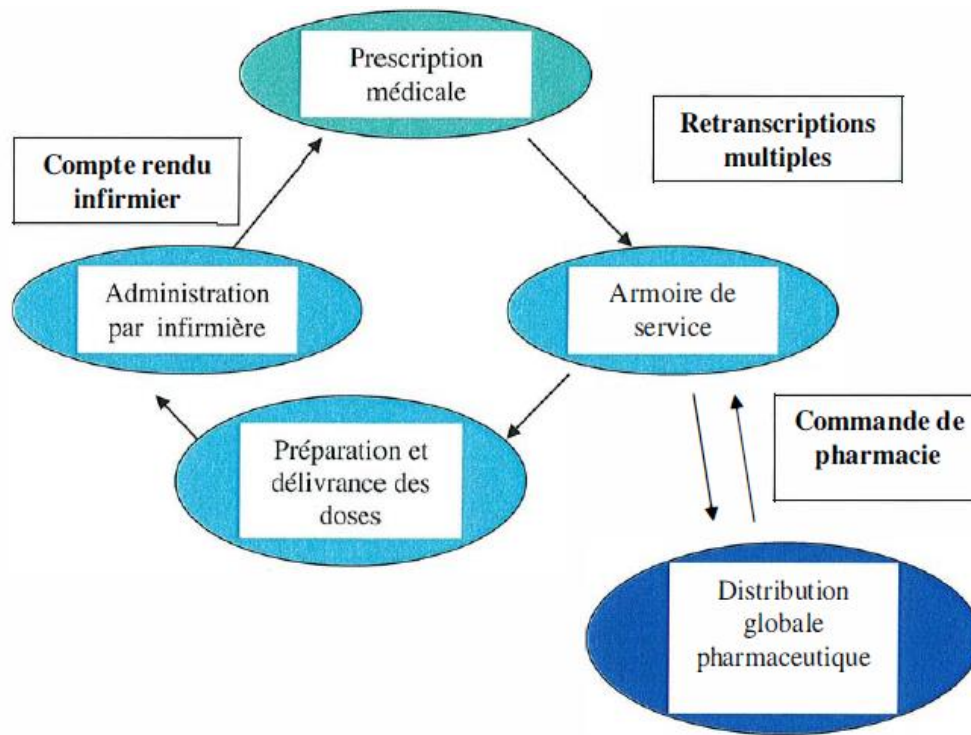


Figure I-3 La distribution globale des médicaments

I.5.3 Traçabilité de la délivrance :

La délivrance des médicaments est enregistrée et la traçabilité est assurée selon la réglementation (par exemple, la traçabilité des lots pour les médicaments dérivés du sang ou contenant des produits biologiques).

I.5.4 Règles de transport des médicaments :

- Sécurité: armoire à pharmacie ambulante et fermée à clef
- Froid: une personne du service se déplace à la pharmacie de l'hôpital
- Stupéfiants: un cadre médical nominatif se déplace à la pharmacie

I.5.5 Evaluation de la dispensation :

Le pharmacien doit évaluer les systèmes de dispensation et/ou de délivrance et utiliser des indicateurs mesurant son activité aux plans qualitatifs et quantitatifs. Une évaluation correcte de l'efficacité d'un système de dispensation doit être basée sur la comptabilisation des erreurs médicamenteuses au cours des différentes étapes de la dispensation afin de vérifier la concordance entre les médicaments prescrits, les médicaments préparés et les médicaments administrés au patient.

I.6 Administration :

L'acte d'administration est réalisé le plus souvent par l'infirmière ou plus rarement par le médecin.

- Elle relève des infirmiers, le cas échéant des aides-soignants, des étudiants infirmiers ou en médecine, ou encore du patient lui-même.
- Elle suppose un contrôle préalable de l'adéquation entre la prescription, les produits à administrer et l'identité et l'état de santé du patient, ainsi qu'une vérification de l'aspect des médicaments (intégrité des emballages, dates de péremption, etc.).
- La reconstitution des doses ou la préparation de l'administration supposent une identification, une répartition et un étiquetage individuels.
- Pour l'administration proprement dite, il faut vérifier préalablement l'identité du patient et veiller à ne pas déconditionner les doses. Une information sur les éventuels effets du traitement doit être dispensée.
- Toute administration de médicament doit être enregistrée au dossier du patient

I.6.1 Traçabilité de l'administration :

Elle est assurée par l'enregistrement des conditions d'exécution. Il convient d'enregistrer en temps réel toute administration de médicaments en utilisant les logiciels

Informatiques ou à défaut, le support de prescription. Les retranscriptions sont à proscrire, ainsi que la présence dans la chambre des patients, de documents décrivant les conditions d'exécution de l'administration de médicaments. L'enregistrement est signé par l'infirmier et intégré au dossier du patient mais également au dossier infirmier. Ce document peut être communiqué à tout moment au pharmacien sur sa demande. Les enregistrements informatisés faisant appel au portable ou à une lecture par code barre sont privilégiés car ils facilitent la traçabilité.

L'enregistrement concerne :

- tous les médicaments administrés y compris ceux ayant fait l'objet d'une prescription Conditionnelle, dans le cadre de l'urgence ou de protocole thérapeutique préétabli. Les items enregistrés sont :
 - la DC du médicament,
 - la dose, les modalités de reconstitution et de dilution,
 - la date et l'heure d'administration,
 - les sites d'injection,
 - le numéro de lot pour certains médicaments
- la mention de tout incident lors de l'administration de tous les médicaments Non administrés ; dans ce cas, l'enregistrement comporte la cause de la non prise du médicament : patient absent, refus . . . Dans ce dernier cas, les raisons du refus sont mentionnées dans le dossier des patients et transmises oralement au médecin prescripteur dans les meilleurs délais.

I.6.2 Suivi, surveillance et réévaluation :

- Les effets du traitement doivent être surveillés.
- Le traitement doit régulièrement être réévalué au cours du séjour en hospitalisation.
- L'observance du traitement par le patient doit être vérifiée. [3]

I.7 Origine des erreurs :

L'accident thérapeutique médicamenteux prévisible peut avoir cinq origines:

- L'erreur de prescription,
- L'erreur de préparation,
- L'erreur de dispensation,
- L'erreur d'administration,
- L'erreur d'utilisation, conséquence le plus souvent d'un défaut d'organisation des services hospitaliers.

I.7.1 Classification des erreurs :

La classification du tableau suivant répartit les erreurs relatives à la médication en neuf catégories, en fonction des conséquences pour le patient. Elle a été établie en 1998 par un organisme américain, le National Coordinating Council for Medication Error Reporting and Preventing (NCCMERP), et elle a été adoptée notamment par la fédération internationale Pharmaceutique (FIP).

Tableau I-1

TYPE D'ERREUR	CATEGORIE	COMMENTAIRE
Absence d'erreur	A	Circonstances ou événements susceptibles de provoquer une erreur
Erreur sans conséquence (préjudice) pour le patient	B	Erreur survenue, mais le médicament n'a pas été administré au patient
	C	Médicament administré au patient mais aucun dommage
	D	Médicament administré au patient et qui a provoqué une surveillance accrue pour le patient mais aucun dommage
Erreur avec conséquence (préjudice) pour le patient	E	Traitement ou intervention requis ; dommage temporaire au patient
	F	Hospitalisation requise ; dommage temporaire au patient
	G	Dommage permanent au patient
	H	Mise en jeu du pronostic vital du patient : urgence médicale (arrêt cardiaque ; choc anaphylactique)
	I	Décès du patient

I.7.2 Mécanisme de production des erreurs (REASON 1995, LEAPE 1994) :

La plupart des erreurs sont le résultat d'aberrations dans le fonctionnement mental. Pour comprendre comment les erreurs surviennent, il faut d'abord comprendre les mécanismes cognitifs. La majeure partie du fonctionnement mental est automatique, rapide et sans efforts. Les activités cognitives peuvent également être conscientes et contrôlées. Un modèle basé sur les performances de ce concept cognitif peut être adapté à l'analyse des erreurs. On peut classer les erreurs en fonction des mécanismes cognitifs qui les entraînent.

I.7.2.1 Erreur d'attention "slips" et "lapses" :

Les erreurs d'attention surviennent lorsque la routine est interrompue et que l'attention est divertie. Ce sont des actes non intentionnels.

Le plan est adéquat, mais les actions associées ne se passent pas comme prévu, ce sont des erreurs d'attention ("slips") ou des défaillances de mémoire ("lapses").

I.7.2.2 Erreur de raisonnement "mistake" :

Les erreurs de raisonnement sont liées aux règles. Elles surviennent généralement dans la résolution d'un problème lorsque la mauvaise règle est choisie, soit par mauvaise interprétation de la situation et l'application de la mauvaise règle, soit par la mauvaise application d'une bonne règle. Elles peuvent également être liées aux connaissances et surviennent par manque de connaissance ou par mauvaise interprétation du problème dans des nouvelles situations.

I.7.3 Mesure des erreurs de médicaments :

I.7.3.1 Erreur de prescription (49%),

Par définition, l'erreur de prescription d'un médicament est une erreur médicamenteuse survenant au niveau de la prescription d'un médicament, qu'il s'agisse de la rédaction de l'ordonnance ou de la décision thérapeutique

Un médecin peut commettre 2 types d'erreurs :

- a) Erreur de prescription scientifique : il s'agit d'une non-conformité aux connaissances Scientifiques et médicales actuelles :

- ✓ Erreur de diagnostic,
- ✓ Inadéquation de la prescription au diagnostic posé,
- ✓ Non-respect des antécédents du patient,
- ✓ Non-respect des contre-indications des médicaments.

b) Erreur de prescription technique : elle reste la conséquence la plus souvent d'une erreur de formulation écrite. La prescription écrite de la main du médecin constitue le point de départ et reste le fondement même de l'assurance qualité : "écrire ce que l'on va faire".

Pour la prescription écrite, les erreurs peuvent porter sur : le nom et fou le prénom du malade, son âge, son poids... [11]

I.7.3.2 Erreurs au niveau de la préparation des médicaments (14%) :

L'erreur de préparation d'un médicament est une erreur médicamenteuse survenant au niveau de la préparation d'une dose de médicament, qu'il s'agisse de sa formulation, de sa préparation galénique, de son conditionnement ou de son étiquetage, quel qu'en soit l'auteur y compris le patient lui-même.

- **Type d'erreur**

Erreur de préparation du médicament; mauvaise préparation qui engendre une mauvaise formulation ou une mauvaise manipulation avant administration:

- Erreur de reconstitution et de dilution
- Erreur de calcul, ce type d'erreur implique que le patient reçoit souvent une quantité 10 fois supérieure à la dose prescrite. Approximativement 80% des infirmières rencontrent des difficultés à réaliser des calculs médicaux (BRADBURY 1993);
- Erreur d'étiquetage;
- Erreur de combinaison de deux produits incompatibles du point de vue physico-chimique
- Erreur entraînant une contamination microbienne
- Erreur de sélection du produit;
- Erreur de stockage (au frigo, à l'abri de la lumière etc.);

I.7.3.3 Erreurs au niveau de la dispensation des médicaments :

Par définition, l'erreur de dispensation d'un médicament est une erreur médicamenteuse commise par l'équipe pharmaceutique lors de la dispensation, c'est-à-dire lors de l'analyse de l'ordonnance, de la communication d'information, de la préparation galénique et de la délivrance des médicaments aux unités de soins ou directement aux patients ambulatoires.

C'est une étape de survenue de l'erreur médicamenteuse. L'erreur de dispensation d'un médicament peut s'avérer secondaire à une erreur survenue lors d'une étape antérieure du circuit du médicament.

Les erreurs au niveau de la dispensation des médicaments devraient donc concerner plus spécifiquement le pharmacien mais, en milieu hospitalier, c'est l'infirmier (ou l'infirmière) qui la plupart du temps distribue les médicaments, ce qui pose un problème en terme de compétence si la validation de l'ordonnance par un pharmacien n'a pas lieu.

On distingue :

- L'erreur d'approvisionnement non conforme à la commande (système de distribution globale ou semi-globale),
- Les erreurs liées au conditionnement concernant :
 - soit la présentation industrielle et l'étiquetage (erreur sur le nom commercial (consonance voisine), la Dénomination Commune Internationale (DCI), le nom d'expérimentation (essai clinique), le dosage, la forme galénique, le nombre d'unités, la lisibilité du texte, la date de péremption, le numéro de lot, l'appartenance à une liste (pour les substances vénéneuses).
 - soit concernant les présentations hospitalières (déconditionnement et perte d'identité du médicament),
- Les erreurs liées au transport : non respect des conditions de conservation au cours du transport (lumière, température, pression, humidité ...),
- Les erreurs liées à une mauvaise conservation : date de péremption, mode de stockage, étiquetage, température, pression, humidité, lumière,

- Les erreurs liées à la distribution : retranscription des commandes, sélection des spécialités,
- Les erreurs concernant l'exécution de la pré-requis dans le cadre d'une dispensation journalière individuelle et nominative.

Nous retrouvons à ce niveau les erreurs repérées précédemment à la condition que le pharmacien soit fortement impliqué dans la dispensation des médicaments :

- Erreur par omission,
- Erreur de posologie,
- Erreur de fréquence d'administration,
- Erreur de forme galénique.

I.7.3.4 Erreurs au niveau de l'administration des médicaments (26%).

Les erreurs d'administration sont définies comme toute déviation dans l'administration des médicaments par rapport à la prescription par le médecin, telle qu'elle est inscrite sur le dossier du patient [12]

Elles ont fait l'objet d'une classification par la société américaine des pharmaciens hospitaliers qui propose le classement suivant :

- Erreur par omission
- Erreur par administration d'un médicament non autorisé,
- Erreur d'administration au patient d'une dose supérieure ou inférieure à celle prescrite,
- Erreur de voie d'administration d'un médicament
- Erreur de fréquence d'administration,
- Erreur de forme galénique,
- Erreur dans l'horaire d'administration,
- Erreur de préparation d'un incorrecte, incompatibilités
- Erreur de technique d'administration

I.8 Définition d'automatisation ?

L'automatisation peut être définie comme l'exécution et le contrôle de tâches techniques par une machine sans intervention active humaine. Elle permet d'intégrer des tâches répétitives et fastidieuses à un processus automatisé pour libérer du personnel pour des tâches à plus forte valeur ajoutée.

L'automatisation de la dispensation est un véritable outil d'aide à la réorganisation du circuit du médicament. Elle permet l'amélioration des pratiques professionnelles par la séparation claire des métiers en évitant le glissement de tâches. Elle s'intègre dans un processus où le médecin prescrit, le pharmacien dispense et l'infirmière administre. Elle permet d'éviter les erreurs et de mieux les détecter. L'automate est interfacé avec le logiciel de prescription et évite les étapes de retranscription et d'interprétation humaine, qui sont sources d'erreurs. L'automatisation tend à limiter les erreurs liées aux confusions possibles entre les dosages, les formes pharmaceutiques. Elle permet également de répondre aux exigences de traçabilité et contribue à une meilleure gestion des stocks en diminuant le surplus dans les services, les produits périmés et le coulage.

I.9 Automatisation de la dispensation à délivrance nominative :

Les automates de DDN ont pour objectif de mettre à disposition des médicaments sous une forme unitaire permettant jusqu'au chevet du patient l'identification du médicament (nom, dosage, lot et péremption) et l'identification du patient (nom prénom, localisation, heure de prise selon la prescription). La présentation en sachet unitaire permet l'utilisation de codes-barres ou data matrix, identifiant le patient et le médicament, ce qui, à terme, peut permettre l'automatisation de l'administration, ultime étape du circuit de la prise en charge médicamenteuse.

Ces automates situés au sein de la PUI peuvent être couplés au logiciel de prescription, ce qui facilite l'étape de validation pharmaceutique. Il existe des automates de reconditionnement et des automates de sur-conditionnement.

I.9.1 Automates de reconditionnement :

Ces automates préparent de manière rapide un grand nombre d'unités de formes sèches en quelques heures. Ces automates présentent un réel intérêt en raison de la rapidité de

préparation des doses et en termes de traçabilité. Leur fonctionnement est simple permettant une formation rapide des préparateurs à leur maniement et à leur dépannage. Ces appareils, compacts, ne nécessitent pas d'aménagement particulier des locaux. L'investissement et les frais de maintenance sont estimés de 50 000 € à 200 000 €.

Ces automates se limitent à la gestion des formes sèches et ajoutent une étape supplémentaire de déconditionnement dont les incidences en termes de temps préparateur et de risque d'erreur sont encore méconnues. Cette solution n'est pas adaptée aux contextes de prescriptions urgentes (services de réanimation, unités de soins intensifs, services des urgences...). Elle n'est pas adaptée à l'ensemble des formes de médicaments.

Les automates de préparation nominative de forme orale sèche permettent couvrent toutefois une grande partie des médicaments dispensés, ce qui permet de libérer du temps pour la dispensation des autres formes pharmaceutiques.

- Les risques liés au déconditionnement des spécialités pharmaceutiques

L'étape préalable de déconditionnement primaire (déblisterisation) réalisée à la PUI afin de permettre la dispensation individuelle nominative, est une activité à risque qui nécessite aujourd'hui un encadrement législatif plus clair. Le problème de la destruction du conditionnement primaire tel que prévu dans l'AMM génère des incertitudes en termes de stabilité du produit déconditionné. La responsabilité du pharmacien hospitalier est engagée. Il devient le garant de l'identité, de la qualité et de la péremption du médicament.

En effet, pour apposer la Date Limite d'Utilisation (DLU) ou date de péremption sur le conditionnement du médicament, l'industrie pharmaceutique doit au préalable réaliser des études de stabilité, notamment pour évaluer la compatibilité contenu-contenant. Or, le déconditionnement consiste à sortir la spécialité pharmaceutique de son conditionnement primaire. Dans ce contexte, la DLU apposée par l'industriel n'est plus opposable et la stabilité du produit en dehors de son conditionnement primaire n'est plus garantie. Une des solutions envisagées pour répondre à cette problématique serait que les industriels fournissent les données de stabilité de leurs spécialités en dehors de leur conditionnement commercial. Ces études étant coûteuses et très réglementées, les données industrielles ne sont que très rarement communiquées. [14]

Une revue de la littérature réalisée par Lagrange et al. Fait état des connaissances actuelles en matière de déconditionnement des formes orales sèches Cet article a pour objectif d’aboutir à une aide à la décision du pharmacien considérant les bénéfices et les risques de reconditionner ou non certains médicaments. Il fait état notamment des pratiques de la Food and Drug Administration (FDA) qui recommande une date de péremption ne pouvant excéder 6 mois ou la date de péremption du fabricant pour tout médicament reconditionné. Enfin, il établit la listes des principaux médicaments ne pouvant être déconditionnés tels que ceux ayant une stabilité réduite après reconditionnement ceux ayant un effet cytotoxique ou encore l’ensemble des antibiotiques.

Un autre risque porte sur une contamination croisée possible résultant du frottement du médicament sur le matériel de reconditionnement, notamment lorsque le comprimé n’est pas enrobé. Ce risque de type allergie ou sensibilisation peut être critique pour le patient et est associé à certains médicaments tels que les hormones ou les antibiotiques

- Les différents modèles : Le tableau I-4 présente quelques modèles d’automates de déconditionnement.

Automates de déconditionnement -	Etablissement de santé
HD medi : automate JVM - EURAF	29 PUI équipées
Mach 4	11 PUI équipées
KLS	5 PUI équipées
Robotik technology	7 PUI équipées
Baxter – automate FDS II proud	5 PUI équipées

Figure I-4Automates de déconditionnement

I.9.2 Automates de surconditionnement :

Ces appareils utilisent plusieurs modules combinés qui se partagent les différentes étapes de la préparation de la dispensation nominative. Pour les formes orales sèches, ils

peuvent découper en série des blisters en unités individualisées ou utiliser des médicaments en vrac comme précédemment. Cette étape est suivie d'une étape de sur-conditionnement des unités de prise en sachet-unidose. Ils stockent de manière automatisée toutes les formes de médicaments y compris les sachets, les injectables et les pommades. La taille du sachet est modulable et permet de sur-conditionner des ampoules, des seringues ou des flacons par exemple. La dernière étape consiste au prélèvement et à la répartition des sachets dans des tiroirs étiquetés au nom des patients et/ou rassemblés par un lien. Au-delà de leur coût d'investissement très élevé, de l'ordre de 1 500 000€ et l'aménagement nécessaire des locaux, leurs limites reposent sur leur complexité de fonctionnement (présence d'un technicien dédié dans la PUI) et la cadence faible (cadence de l'ordre de 800 sachets/heures).

Un autre inconvénient est lié au geste infirmier qui devra à la fois ouvrir le sachet nominatif puis déblisteriser la forme orale. Le tableau I-5 présente quelques modèles d'automates de sur conditionnement et les établissements qui y sont équipés.

Automates surconditionneurs	Etablissements de santé
Fabricant	
Pillpick - SWISSLOG	3 PUI équipées : CH de Meaux, Hospices civiles de Lyon CH de Valenciennes)
calypso et Pegasus - SINTECO -	3 PUI : équipées CH de Toulouse, CH d'Annecy CH de Cambray
Acced, AIDE - ECODEX	7 PUI équipées Ex : CH de THUIR (10 ES, 3 PUI)

Tableau I-5 Automates sur-conditionneurs

I.9.3 Automates disponibles pour sécuriser la dispensation globale, complément indispensable à la DDN :

La DDN n'est généralement pas mise en œuvre pour l'ensemble des services et une autre modalité de distribution doit souvent la compléter (distribution globale ou nominative globalisée). Il existe deux types d'automates, centralisés à la pharmacie et décentralisés dans les unités de soins [15].

I.9.3.1 Systèmes centralisés :

A. Automates de cueillette : les stockeurs rotatifs

Les stockeurs rotatifs sont situés à la pharmacie. Ces appareils facilitent la cueillette en limitant les déplacements du personnel. Le stockage des produits se fait en hauteur et l'encombrement au sol est donc réduit. Le système peut être réfrigéré en partie ou en totalité. Leur technologie permet de prélever une référence précise à la demande effectuée manuellement par un opérateur. Ils peuvent être également couplés à un logiciel de prescription et/ou un logiciel de gestion.

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 (fig I-6).



Figure I-6 Stockeur rotatif.

Exemple :

Le stockeur rotatif vertical GIROPHARMA est le système automatisé particulièrement efficace pour le stockage et la sécurisation de vos références de médicaments pour lesquelles les temps d'accès doivent être courts.

Le fonctionnement du stockeur automatisé GIROPHARMA est relativement simple : des plateaux tournent autour de deux évolutions grâce à une simple ou double motorisation. Les variateurs de fréquence permettent un défilement souple et progressif des plateaux.

Le magasin de stockage automatisé GIROPHARMA permet (fig I-7) :

- d'optimiser votre espace de stockage (jusqu'à 90% de surface occupée en moins)
- de sécuriser vos médicaments
- de simplifier et fiabiliser la gestion de votre stock [20]



Figure I-7 Stockeur rotatif vertical GIROPHARMA

B. Automates de collecte : les stockeurs automatisés

A la différence des stockeurs rotatifs, les stockeurs automatisés (fig I-8) réalisent des prélèvements simultanés et peuvent alimenter plusieurs postes de distribution simultanément. La gestion informatique de l'espace de stockage est prise en charge par l'automate qui saura identifier le médicament avec la date de péremption la plus courte qu'il distribuera en premier. Leur mise en place nécessite un aménagement des locaux car ils sont volumineux.



Figure I-8 Les stockeurs automatisés

Néanmoins, initialement conçus pour être utilisés à l'officine, ils ne peuvent manipuler que des conditionnements possédant un format standard et un poids limité (250g maximum). Mais tous les formats ne sont pas standardisés. Ce paramètre peut être en inadéquation avec la pratique hospitalière (fig I-9).



I-9 Système APOTEKA

C. Automates de préparation de forme unitaire 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.

Ces automates préparent des formes unitaires pour les formes orales sèches ou des formes liquides (fig I-10). Ce dernier cas est plutôt réservé aux hôpitaux psychiatriques où les prescriptions comportent une majorité de médicaments en gouttes buvables. [16]



Figure I-10 Préparation de formes orales sèches : Automates SYGIPH (EURAF)[22]

I.9.3.2 Systèmes décentralisés :

Il s'agit d'armoires sécurisées (voir le tableau I-2) et informatisées (fig I-11), en interface avec un logiciel de prescription. Elles 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. Elles sont pilotées par un serveur informatique à la pharmacie autorisant des habilitations particulières pour le réapprovisionnement et la dispensation. Certains systèmes limitent l'ouverture à la cellule ou au tiroir avec la cellule. Ces appareils permettent une traçabilité de toutes les opérations de prélèvements et d'approvisionnements. La gestion des stocks est optimisée (suivi des stocks et des péremptions à distance et réduction des phénomènes de coulage).

Ces systèmes sont adaptés aux services avec besoins urgents et diversifiés tels que les blocs opératoires et les services de réanimation. Leur mise en place est facile avec une bonne acceptation par le personnel. Leur déploiement peut être progressif sur plusieurs services, ce qui permet d'étaler les coûts d'investissement (de l'ordre de 20 000 à 40 000 € par service). Ces armoires ne peuvent répondre à tous les besoins en médicaments (gros volumes, solutés massifs ...). Le réapprovisionnement et la cueillette sont consommateurs de temps pharmaceutique et infirmier.

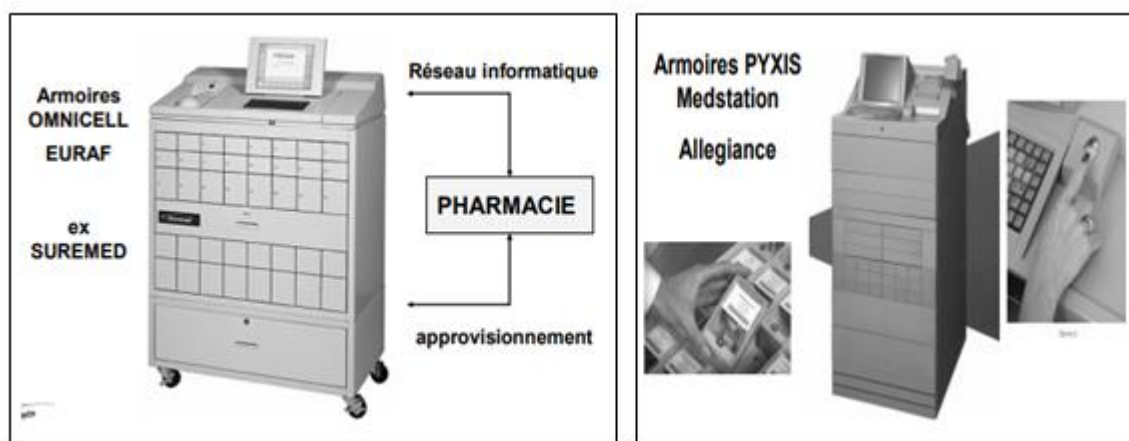


Figure I-11 Armoire sécurisée informatisée

Tableau I-2 Armoires automatisées et sécurisées

Type armoire et Fabricant	Exemple d'Établissement de santé
Emnicell, EURAF	Hôpital Européen Georges Pompidou (APHP) CHU Nantes
Medstation , PYXIS	CH Valenciennes, CH Aulnay sous-bois, CH Pitié Salpêtrière (APHP)
Carefusion HDS, MACH4	CHU Strasbourg, CH Montreuil, Institut Paoli Calmette Marseille

I.9.4 Existe-t-il une solution idéale d'automatisation pour la DDN :

Il n'existe pas de solution idéale correspondant aux besoins de l'ensemble des établissements de santé. Les automates sont de complexité variée et les technologies doivent s'intégrer à la structure hospitalière qui est complexe et hétérogène. [17]

Les résultats des études françaises convergent tous vers une contribution significative de la délivrance nominative à la sécurisation de la prise en charge médicamenteuse et à une meilleure maîtrise médicalisée des dépenses pharmaceutiques. Il n'a que peu d'études sur le bénéfice en termes de réduction de la iatrogénie médicamenteuse, des dépenses en médicaments et de gain de temps infirmier en lien exclusif avec l'implantation d'un automate.[18] Ceci s'explique en particulier par la grande diversité des situations et du mode d'organisation des établissements de santé. C'est également dû à la

difficulté d'évaluer la performance liée uniquement à la délivrance nominative sans prendre en compte l'impact bénéfique de l'analyse pharmaceutique. Dans ce contexte, le positionnement de l'automatisation doit être intégré dans la démarche globale de sécurisation du circuit du médicament afin d'identifier clairement les objectifs attendus par la PUI et les services de soins. Le choix de l'automate doit tenir compte du mode de fonctionnement de l'établissement, et notamment du système informatique déployé au sein des services. Tous les services ne peuvent bénéficier des mêmes outils et des mêmes gains en termes de sécurité. Le choix d'une organisation ne peut se faire qu'en tenant compte du contexte médical comme notamment la durée de séjour, le pourcentage de formes orales sèches et le nombre de patients par unités. Parmi les critères de faisabilité, on considérera :

- l'aspect financier, en tenant compte des coûts d'acquisition de l'automate, de sa maintenance et des consommables ;

- les contraintes liées aux locaux ;

- l'aspect humain. En effet, la mise en place d'une solution d'automatisation nécessite une réorganisation totale du service pharmaceutique et peut nécessiter une réorganisation des services de soins.

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.9.4.1 Comparaison des automates de DDN :

Tableau I-3 Comparaison des solutions d'automatisation avec ou sans déconditionnement

	Automates de reconditionnement	Automates de surconditionnement
Médicaments automatisables	Uniquement pour les formes orales sèches (comprimés et gélules) non friables non allergisantes	Alimentation possible de toutes formes de médicaments (vrac, blister découpé, pommades, injectables, ...)
Présentation des médicaments	Phase préalable de déconditionnement (risque d'erreur du fait de cette étape) Pas de données disponibles notamment des industriels concernant la conservation de leurs spécialités en dehors du conditionnement primaire	Fonctionnement entièrement automatisé pour la préparation des doses (pas de découpage manuel) Système permettant de conserver le conditionnement primaire du médicament
Mode de fonctionnement	Médicaments conditionnés directement sous forme de sachets-doses nominatifs, à partir de médicaments déconditionnés. Sur chaque sachet doses, apparaissent des informations relatives à l'identité du patient et relatives à la traçabilité du médicament	Médicaments surconditionnés sous forme de sachets individuels non nominatifs reprenant les informations nécessaires à la traçabilité du médicament. Ces sachets sont stockés dans un module de stockage. Les sachets sont répartis soit dans des piluliers soit reliés par un lien avec une étiquette reprenant le nom du patient et les médicaments prescrits.
Réutilisation des médicaments non utilisés	Pas de réutilisation possible des traitements non administrés car conditionnés en sachets nominatifs	Réintégration possible et facile des traitements non administrés car non nominatifs
Autre inconvénient		Bruit
Choix de présentations des médicaments	Choix préférentiel vers présentations vrac néanmoins nécessité d'avoir également les formes blisters idéalement unitaires pour les dotations pour besoins urgents	Choix préférentiel vers blisters unitaires

	automates de reconditionnement	automates de surconditionnement
Cadence	Rapide Débit de production des doses très élevé pouvant atteindre plusieurs milliers de doses par heures : 30 à 60 sachets par minutes soit jusqu'à 1800 sachets par heure (3500 sachets /h pour SYGIPH)	Limitée 700 à 1000 unités par heures Vitesse de production moindre qui nécessite une planification des activités et une anticipation qui n'est pas toujours possible selon l'activité des services Non adapté au changement fréquent de prescription
Services concernés	Plus adapté pour SLD, EHPAD, UCSA, psychiatrie et SSR	Pour tout type d'activité : MCO, SSR, SLD, EHPAD, psychiatrie et UCSA
Coût	Investissement moins important Fonctionnement relativement simple qui permet une prise en main assez facile de l'appareil 50 – 200 K€ (coût de l'automate) 2 – 5K€ (coût de la maintenance)	Cout d'investissement très important, et coût de la maintenance qui nécessite parfois un salarié permanent de l'entreprise sur place 800 – 1000K€ (coût de l'automate) 50 K€ (coût de la maintenance)
Evolution possible	Possible contrôle optique en fin de chaîne	Possible module complémentaire prenant en charge la découpe de blisters complexes
Nombre de lits pris en charge par 1 ETP préparateur	172	124

I.9.4.2 But d'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.9.5 Avantages de l'automatisation :

De nombreuses études montrent que l'automatisation, en particulier, de préparation de formes unitaires orales, améliore la distribution du médicament. Les objectifs sont, dans toutes les études, de diminuer les erreurs liées aux autres modes de dispensation et de fournir au patient un médicament dans les meilleures conditions possibles. Les avantages de l'automatisation se résument en termes de sécurité pour le patient, de gain de temps infirmier, d'économie réalisée et d'amélioration de l'Assurance Qualité.

- **Sécurité pour le patient :**

L'informatisation de la prescription, la suppression de l'étape de retranscription et surtout un support de travail unique pour les médecins, infirmiers et pharmaciens ont permis d'obtenir une diminution des erreurs de traitement. Le travail sur un seul document permet d'obtenir une diminution des erreurs de retranscriptions de l'ordre de 47 % [23]. D'autre part, la possibilité de pouvoir identifier le médicament jusqu'à son administration et les meilleures conditions d'hygiène pour les spécialités déconditionnées garantissent l'exactitude de l'administration.

- **Analyse pharmaceutique des prescriptions :**

L'analyse des prescriptions permet au pharmacien d'exercer pleinement son rôle dans le système de santé. Elle améliore également la communication entre tous les acteurs du circuit. Elle s'inscrit pleinement dans le cadre juridique tel qu'il est défini dans les arrêtés du 9 août 1991 [24] et du 31 mars 1999.

- **Gain de temps infirmier :**

La simplification du circuit du médicament et la prise en charge de la préparation des unités thérapeutiques permettent une forte diminution de la charge de travail pour les équipes soignantes. Ce gain de temps, dû à la suppression de la retranscription, permet aux équipes infirmières de se consacrer plus longuement aux soins des patients.

- **Economie réalisée :**

L'automatisation permet d'éviter les gaspillages. L'économie réalisée peut également être quantifiée en terme de santé. En diminuant le taux d'effets indésirables des médicaments, on peut observer une réduction de la durée de séjour à l'hôpital. Selon certains auteurs [24] l'individualisation du circuit du médicament permet de réduire de 30 % la durée moyenne d'hospitalisation.

- **Amélioration de l'assurance qualité :**

La préparation centralisée permet d'obtenir une qualité de préparation optimale : traçabilité, identification des matières premières, stabilité et compatibilité connues et validées. La fiabilité liée au mode de préparation dépend du bon fonctionnement de l'automate et des logiciels associés. La mise en place de procédures de production, contrôles et maintenance doivent garantir une qualité de préparation irréprochable [25].

I.9.6 Inconvénients de l'automatisation :

Les contraintes sont de plusieurs ordres :

- **Augmentation du temps pharmacien :**

Cette augmentation est due à l'analyse des prescriptions, à la production et à la maintenance de l'automate.

Cependant, même si cette activité requiert du temps, elle s'inscrit dans une stratégie de respect de la réglementation et d'amélioration de la qualité de l'acte pharmaceutique. Le temps consacré par la pharmacie à la dispensation des médicaments ne doit pas être un frein au développement du système.[26]

- **Exclusion de certaines spécialités :**

Cette exclusion est fonction du choix de l'automate. Pour l'automate ATC 212, toutes les spécialités qui ne présentent pas des stabilités satisfaisantes sont d'emblée exclues. C'est le cas des médicaments thermosensibles, hygroscopiques, des capsules molles ...

- **Mode de présentation des spécialités :**

La présentation des spécialités peut générer quelques inconvénients lors de l'utilisation (absence de boîtage industriel approprié). Le principe de base de l'automatisation engendre la notion de déconditionnement des spécialités d'où la nécessité d'un contrôle plus ou moins automatisé pour garantir une sécurité optimale. Cette notion de déconditionnement a deux conséquences qui sont que les conditions idéales de conservation validées par l'Autorisation de Mise sur le Marché (AMM) deviennent caduques et que la responsabilité du pharmacien hospitalier est donc engagée. Il devient donc le garant de l'identité, de la qualité et de la péremption du médicament.

- **Pré-requis à l'automatisation :**

L'automatisation doit s'adapter au contexte ; il faut définir les besoins, les conditions et réaliser un état des lieux afin d'optimiser le choix d'un automate.

- **Contexte :**

L'automate doit s'adapter au contexte de la pharmacie hospitalière, c'est-à-dire :

- respecter la législation,
- assurer une prestation de qualité à effectifs réduits,
- prendre en compte l'absence de conditionnement tout unitaire ou du tout envrac,
- diminuer les risques d'erreurs (iatrogénie nosocomiale).

- **Besoins :**

Les besoins sont les suivants :

- préparation individuelle et nominative des médicaments,
- gestion des flux d'approvisionnement au plus juste,
- nécessité d'assurer la traçabilité c'est-à-dire savoir ce que le malade a réellement reçu et tracer les médicaments dits sensibles (stupéfiants, médicaments dérivés du sang).

- **Conditions requises :**

L'automatisation oblige à repenser la répartition des rôles et des responsabilités. Elle doit être humaine. Il n'existe pas de machines ou d'organisation fiable à 100 %. Il faut donc rester vigilant et mettre en place un système d'assurance qualité. Enfin, le rapport coût/bénéfice doit être positif.

- **Etat des lieux :**

Avant tout choix et toute installation, il importe :

- d'étudier la répartition des consommations selon les formes de l'hôpital,
- de connaître la répartition des formes de médicaments de l'hôpital,
- d'établir la typologie des services en fonction des formes utilisées,
- d'analyser les facteurs d'économie et de coût afin d'évaluer le rapport coût/bénéfice pour l'hôpital.

Conclusion

Le circuit du médicament doit apporter au malade la qualité et la sécurité médicamenteuses. L'organisation du circuit du médicament doit réduire au maximum le risque d'erreurs médicamenteuses, préjudiciable pour le patient et majorant le coût de l'hospitalisation. Garantir la mise en place d'un circuit du médicament sécurisé et de qualité est une des missions centrales du pharmacien hospitalier.

L'automatisation permet la sécurisation de la dispensation pharmaceutique et le respect des impératifs réglementaires de traçabilité des médicaments. L'automatisation se révèle être la solution aux enjeux organisationnels, sécuritaires et de productivité nécessaires à la réorganisation du circuit du médicament.

Chapitre II

Les différents systèmes automatisés de dispensation

II.1 Introduction

Le circuit du médicament est une des composantes essentielles de la prise en charge d'un patient au sein d'un établissement de santé et il est possible, à l'heure actuelle, d'optimiser son fonctionnement grâce à l'automatisation, dans les Pharmacies à Usage Intérieur comme dans les unités de soins. Les Pharmaciens ont choisi d'implanter un système automatisé pour optimiser l'activité de dispensation de médicaments, auparavant effectuée de manière manuelle par les opérateurs. Le but de ce travail est d'analyser les moyens actuels, ainsi que l'organisation à adopter en vue de l'installation de l'automate choisi. Dans un premier temps, nous examinerons l'environnement général actuel autour du circuit du médicament d'un point de vue réglementaire et organisationnel. Les différentes solutions techniques dont disposent les hôpitaux pour automatiser leur circuit du médicament seront aussi abordées.

II.2 Principe de fonctionnement d'un automate :

II.2.1 Présentation globale du système :

Le système pour fonctionner requiert différents éléments :

- un système de convoyage : tapis roulant, ascenseur, toboggan, système pneumatique.
- des gares : ce sont les points de réception.
- un système informatique gérant l'automate et connecté avec le logiciel utilisé au comptoir dans l'espace de vente.

Il existe 2 types de robots : les robots à canaux ou à étagères.

Ils se caractérisent par une ou plusieurs unités de préhension qui se déplacent dans les trois dimensions pour aller chercher un produit et le déposer dans un collecteur.

De par leur mode de fonctionnement (généralement une pince), les robots ont un spectre de conditionnement moins large que l'automate : ils ne gèrent pas les gros conditionnements, les formes souples voire cylindriques ou les tous petits conditionnements.

La dispensation des produits est plus lente, le robot ne délivrant qu'une boîte après l'autre (MONOPICKING) ou une référence après l'autre (MULTIPICKING mono-référence). Pour pallier cet inconvénient, les fournisseurs ont mis en place soit des systèmes multi-bras, soit des robots « MULTIPICKING » (prise de plusieurs boîtes d'un ou de plusieurs produits sur un même trajet) avec parfois des caractéristiques de préhension différentes au chargement et à la délivrance (fig II-1).



Figure II-1 Un système MULTIPICKING

II.2.2 Présentation générale d'un automate

L'automate a une plus grande facilité que le robot à gérer n'importe quel type de conditionnement. Il n'y a pas de manipulation de la boîte mais seulement une éjection et pas (ou peu) de limites en taille et en poids unitaire.

Il est constitué de plusieurs « armoires », chaque armoire est appelée module, et un module renferme plusieurs étagères ou plateaux divisés en « goulottes » appelées canaux inclinés (rayonnage dynamique).

La largeur du canal est variable et correspond à celle d'un médicament.

Les boîtes de médicaments sont placées dans le module et glissent le long du canal par gravité vers le tapis central. Une butée retient les boîtes dans l'automate (fig II-2).



Figure II-2 Un canal de dispensation

II.3 Systèmes décentralisés de dispensation de médicaments

II.3.1 Différents types des systèmes décentralisés de dispensation de médicaments

II.3.1.1 Système ATHOS™ DOSYS

- **Description du système**

ATHOS™ DOSYS répond à la nécessité des institutions médicales qui voulaient la sécurité et la disponibilité offertes par les systèmes de distribution automatisée de médicaments sans les détails et les ajouts qui augmentent le coût et la complexité (fig II-3).

Le personnel infirmier peut accéder aux médicaments des patients en tout temps (même s'il n'y a pas de pharmacien de service), ce qui protège les médicaments et les fournitures contre les accès non autorisés.

Le processus de lecture de codes à barres intégré dans les armoires augmente la fiabilité du processus de distribution. Les systèmes de distribution automatisés ATHOS DOSYS développés par APD sont intégrés par des armoires à commande électronique et un logiciel de gestion central.[27]



Figure II-3 photo du Système ATHOS™ DOSY

- **Caractéristiques principales**

- Configuration flexible : Variété de tiroirs à plusieurs degrés de sécurité (fig II-4).
- Logiciel convivial : La combinaison parfaite d'un logiciel intuitif dans un écran tactile.
- Entièrement intégré avec les autres systèmes d'information hospitaliers, systèmes de prescription et de stock en pharmacie.



Figure II-4 Exploitation du système

- **Principaux avantages**

- A réduit les erreurs de médication liées à la fois à la distribution et à la gestion des médicaments.
- Réduction des niveaux de stocks dans les unités de soins infirmiers.
- Amélioration du temps de travail pour maintenir les niveaux de stocks de médicaments.
- Contrôle accru des dates de péremption des médicaments (fig II-5).
- A réduit les coûts nets des médicaments (entre 20 % et 40 % Y).
- Amélioration de la qualité des soins de santé en assurant la délivrance de la bonne dose au bon moment au bon patient.



Figure II-5 Contrôle du système

- **Cabinet principal**

L'armoire principale est l'armoire de distribution automatisée pour le stockage et le contrôle des médicaments et des fournitures de pharmacie.

Ses configurations très flexibles permettent d'utiliser jusqu'à 14 sous-cadres avec une grande variété de degrés de sécurité et de tailles de bacs.

II.3.1.2 Système PARATA MAX FLEX

A. Description du système

C'est un système de distribution automatisé à grande vitesse, passez moins de temps à étiqueter, compter, trier et plafonner et plus de temps à fournir le type de soins aux patients.

Les leaders de la pharmacie, des indépendants aux cinq premières chaînes nationales, font confiance à la technologie de distribution de PARATA MAX FLEX pour la plus grande précision, la plus grande vitesse et le meilleur rendement disponibles au plus bas coût par ordonnance (fig II-6).

PARATA MAX FLEX étiquette, remplit, bouche et trie les flacons de prescription, ce qui vous permet de vous concentrer sur le développement de votre activité et sur les soins à apporter aux patients. [28]

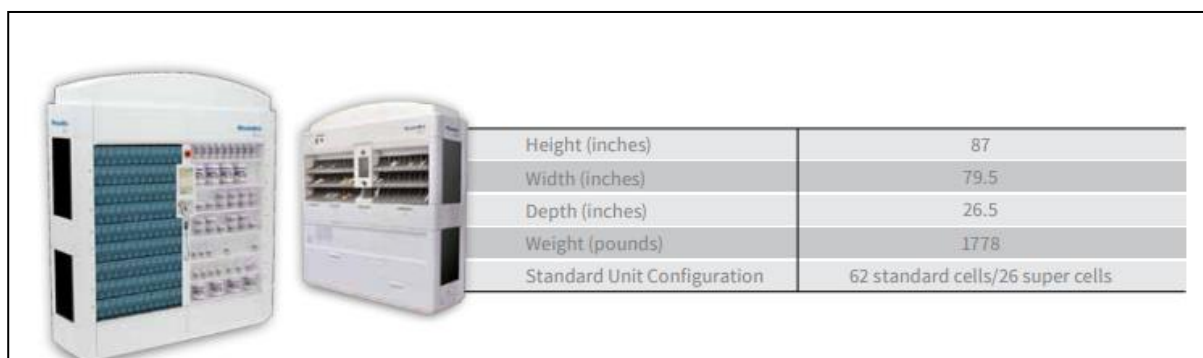


Figure II-6 Photo des dimensions de produit

B. Les avantages du système

- **Maximisez l'efficacité :**

PARATA MAX FLEX établit de nouvelles références en matière de vitesse, prend en charge 88 NDC et automatise jusqu'à 40 % de volume total de prescriptions.



Figure II-7 Système PARATA MAX

- **La sécurité avant tout :**

Lorsque les processus appropriés sont suivis, PARATA MAX FLEX est précis à 100 % en ce qui concerne le médicament et la dose.

Chaque cellule contient un code-barres unique, qui est scanné lors du réapprovisionnement pour garantir une correspondance avec le flacon de stock

Le code-barres permet également à PARATA MAX FLEX d'identifier une cellule et son contenu depuis n'importe quel endroit de l'unité, de sorte que le robot distribue toujours le bon médicament.

Conçues pour maximiser la sécurité et empêcher les détournements, les cellules optionnelles brevetées se verrouillent automatiquement lorsqu'elles sont fermées et restent verrouillées si elles sont retirées de PARATA MAX FLEX.

Les cellules sont réapprovisionnées dans l'unité, une par une, et ne s'ouvrent que lorsqu'un utilisateur autorisé vérifie la correspondance du code-barres entre un flacon de stock et une cellule.

- **Utilisation de l'espace à bon escient :**

Pour les pharmacies qui manquent d'espace, PARATA MAX est la solution idéale, il offre la valeur de l'automatisation complète de la distribution avec des étagères intégrées, en gardant les bouteilles de stock de médicaments automatisés à portée de main pour un réapprovisionnement rapide et en maximisant l'espace de stockage (fig II-8).

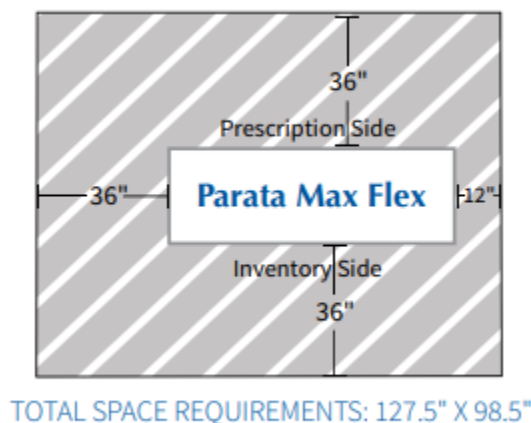


Figure II-8 Espace total du système

- **Minimisation du temps de contact.**

PARATA MAX FLEX est conçu pour fonctionner en douceur avec peu d'entretien et automatisez facilement les nouveaux médicaments.

Les flacons et les capsules sont chargés en vrac pas besoin de les empiler ou de les aligner.

Le gestionnaire de réapprovisionnement guide le stockage des prescriptions, réduisant ainsi le temps de réapprovisionnement et les interruptions quotidiennes.

PARATA MAX FLEX peut stocker 232 ordonnances complétées avant de nécessiter une présence.

La conception intelligente de l'unité, sur deux côtés, sépare l'inventaire de la distribution nous pouvons donc réapprovisionner les flacons, les bouchons et les médicaments pendant que PARATA MAX FLEX continue à remplir les ordonnances.

Si une ordonnance nécessite l'attention du pharmacien, PARATA MAX FLEX la met de côté pour que le pharmacien la traite lorsqu'il aura le temps et continue à remplir les autres ordonnances.

Pour ajouter de nouveaux médicaments à PARATA MAX FLEX, le personnel de pharmacie peut facilement calibrer les cellules sur place, évitant ainsi les coûts et les délais des échanges de cellules (fig II-9).



Figure II-9 Photo de système PARATA MAX

II.3.1.3 Système CONSIG B

A. Description du système

Le modèle de solution décrit ici est basé sur le 80/20 et est particulièrement adapté aux concepts pharmaceutiques pour lesquels le rapport optimal entre coûts et bénéfices est le plus important.

Le distributeur robotisé Consig B peut s'intégrer dans le flux de travail de la pharmacie sans problème et sans difficulté. Il utilise très peu d'espace tout en offrant un maximum de flexibilité et des performances maximales. [2]



Figure II-10 Photo du Système CONISIS B

La première étape consiste à analyser clairement le processus de dispensation dans la pharmacie et le résultat sera une amélioration de l'efficacité, y compris des flux de travail plus fluides et des clients satisfaits (fig II-10).

Le cœur du concept de pharmacie décrit ici est le distributeur robotisé CONISIS B, qui stocke les emballages de médicaments à rotation rapide qui représentent, environ 80 % des paquets distribués quotidiennement.



Figure II-11 Photo de système CONISIS B

Pour les 20% restants de la gamme de produits le plus important est la répartition appropriée du stock, réparti en fonction de la fréquence de la demande (fig II-11).

En outre, il doit être facilement accessible, sans que le pharmacien ait à sortir de la zone de vente, il ne doit disparaître de la vue du client.

Enfin, la combinaison de 80% et 20% permet de créer 100% de satisfaction du client.

B. Avantages du système

➤ **Economiser le temps et l'effort**

Saisie des médicaments dans le système de gestion des stocks et l'approvisionnement du CONISIS se font simultanément à partir du même endroit, cela permet d'économiser beaucoup de déplacement et de temps. Figure (II-12)

Stockage rapide et sans erreur grâce à l'aide du système de positionnement optique (OPS). Figure (II-12)

Un clapet s'ouvre et le rayon laser indique précisément l'espace de stockage, une fois inséré, le nombre de paquets stockés est confirmé par le scanner manuel. Figure (II-11)



Figure II-12 Méthode de gestion et l'approvisionnement du système CONSYS B

Emballages de distribution :

Les médicaments sont demandés à l'aide le logiciel de la pharmacie, le manipulateur retire les emballages et les amène vers l'un des huit points de distribution possibles. Figure (II-13)

Les paquets sont livrés sur un plateau de distribution directement au comptoir de consultation. Figure (II-13)

Le personnel reste avec le client et peut utiliser le temps de manière plus rentable pour conseils et la vente. Figure (II-13)



Figure II-13 Méthode de dispensation du système CONSYS B

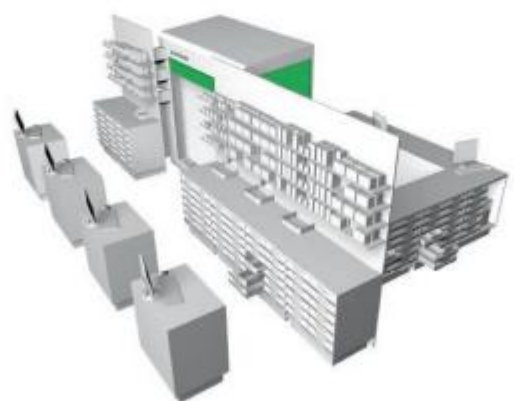
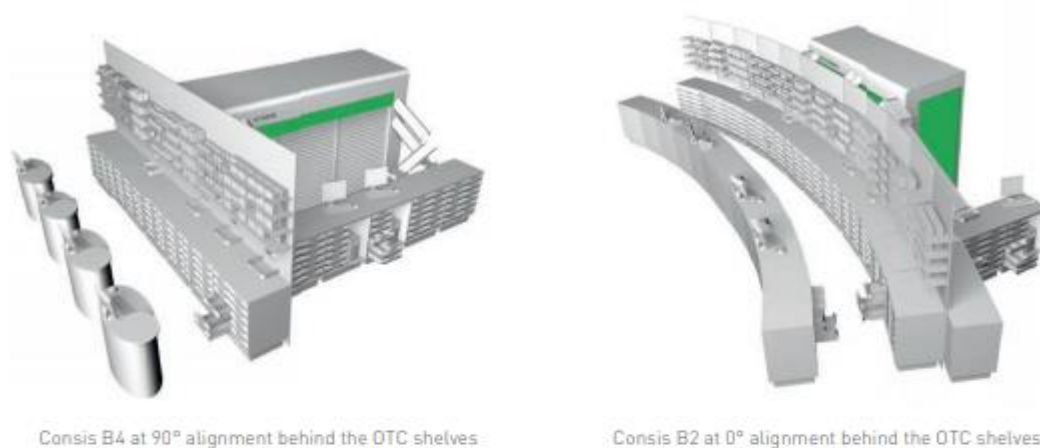
➤ **Minimisez l'espace :**

Consis Best le système qui s'adapte précisément à vos exigences dans un espace minimal.

Le design compact de Consis B, avec son faible encombrement, permet de positionner le distributeur robotisé directement derrière la pharmacie, il permet de positionner le distributeur robotisé directement derrière les étagères OTC (fig II-14).

Cela garantit des trajets de distribution courts et une distribution très rapide des emballages.

Les points de distribution situés au-dessus de la hauteur de la tête envoient les emballages des paquets, le long d'une simple glissière par gravité directement au bureau.



Consis B3 integrated into the OTC shelves at 0° alignment

Figure II-14 Les différents types de CONSYS B

II.3.2 Inconvénients des systèmes décentralisés de dispensation de médicaments

A. Réapprovisionnement de médicaments dans les CAD

➤ **Erreur de dénombrement :**

Dénombrement visuel inexact du nombre d'unités d'un médicament présent dans la pochette par rapport à la quantité réelle.

➤ **Erreur de saisie :**

Saisie inexacte du nombre d'unités d'un médicament par rapport au dénombrement ou à l'ajout au CAD.

➤ **Erreur de remplissage :**

Ajout d'une quantité inexacte d'un médicament par rapport à la quantité saisie au CAD ou ajout d'un autre médicament que celui saisi au CAD.

➤ **Erreur de gestion d'un retour :**

Remise d'un médicament dans la mauvaise pochette d'un CAD après la gestion du retour.

➤ **Détournement après sortie du stock de la pharmacie :**

Conservation du médicament après la sortie de la pharmacie et avant le réapprovisionnement du CAD.

➤ **Détournement malgré la lecture par code-barres :**

En dépit d'une lecture de code-barres d'un médicament à ajouter, conservation du médicament.

➤ **Détournement dans le chariot de transport :**

Vol d'un médicament dans le chariot de transport laissé sans surveillance avant le réapprovisionnement du CAD.

➤ **Détournement dans le bac de retours :**

Vol d'un médicament dans le bac des retours du CAD.

➤ **Détournement par substitution du médicament par un autre médicament :**

Remplacement du contenu d'un médicament par une autre substance (p. ex. retrait d'un opiacé d'une fiole et remplacement par un soluté) avant le réapprovisionnement du CAD et conservation du médicament.

B. Sortie de médicaments dans les CAD

➤ **Retrait de médicament sans administration au patient :**

L'intervenant retire un médicament du CAD sans l'administrer au patient et le conserve.

L'intervenant peut également décrire l'administration du médicament sur une feuille d'administration papier ou électronique des médicaments, même si la dose n'est pas administrée.

➤ **Opération faite avec l'identifiant d'une tierce personne :**

Un usager peut faire des opérations dans le CAD au nom d'une autre personne dans les situations suivantes : vol d'identifiant, partage d'identifiant, session de l'utilisateur précédent restée ouverte.

➤ **Retrait d'une quantité de médicament supérieure à ce qui est nécessaire :**

L'intervenant retire du CAD une quantité de médicament supérieure à ce qui est nécessaire pour l'administration au patient et conserve l'excédent.

➤ **Retrait d'un médicament pour le patient d'un autre intervenant :**

L'intervenant A sort le médicament pour un patient de l'intervenant B et conserve le médicament.

➤ **Substitution d'un médicament par une autre substance :**

L'intervenant remplace le médicament par une autre substance avant l'administration au patient et le conserve.

➤ **Sortie d'un médicament en mode hors profil :**

L'intervenant sort le médicament en mode hors profil sans que le médicament soit prescrit pour un patient donné et le conserve.

➤ **Sortie d'un médicament à l'avance :**

L'intervenant sort un médicament du CAD avant l'heure d'administration pour gagner du temps.

➤ **Confusion entre les unités de mesure lors des mouvements :**

L'intervenant saisit l'information en ml au lieu de mg ou de quantité. Cette confusion peut engendrer un écart d'inventaire et contribuer au risque de vol s'il reste irrésolu.

C. Utilisation de patients fictifs

➤ **Opération effectuée au nom de patients « fictifs » :**

Il est possible de faire des opérations au nom de patients « fictifs » afin d'accéder rapidement au CAD.

➤ **Admission d'un faux patient :**

Il est possible d'admettre un patient qui n'est pas actuellement hospitalisé dans le CAD et de faire des sorties de médicament à son nom.[30]

II.4 Systèmes centralisés de dispensation de médicaments

II.4.1 Différents types des systèmes centralisés de dispensation de médicaments

II.4.1.1 Système PHARMAX

➤ **Présentation de système :**

La société PHARMAX a été créée il y a 28 ans, en 1986, et a débuté son activité en commercialisant des colonnes tiroirs destinées au milieu officinal.[31]

C'est en 2002 que le groupe PHARMAX lance son automate distributeur de médicaments.[32]

➤ **Organisation dans le système PHARMAX :**

L'automate est constitué de modules (ou armoires) dans lesquels nous trouverons des canaux amovibles, qui permettent de s'adapter en fonction de la taille des boîtes (fig II-15).

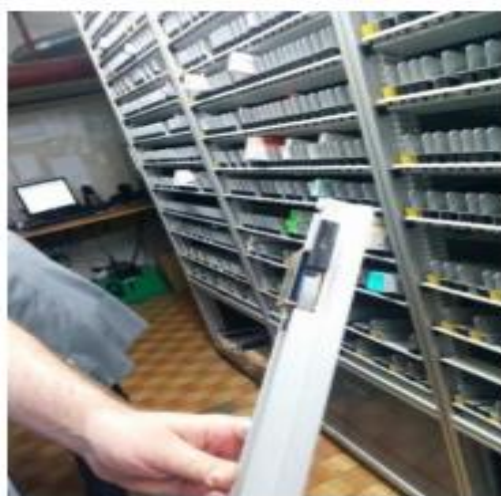


Figure II-15: Canal d'organisation de l'automate PHARMAX

Comme tous les automates, le remplissage est totalement manuel. Il est réalisé par un employé. Lorsque ce dernier range la commande, il se met en réception de commande dans le logiciel informatique. Ensuite, il scanne le produit et le logiciel lui indique les coordonnées du canal où doit être rangé le médicament. Une lumière s'allume également au niveau du canal de rangement afin de faciliter la recherche du canal. Il n'y a alors plus qu'à glisser la boîte dans l'emplacement.

Pour une question de sécurité, les grosses boîtes et les médicaments fragiles sont rangés dans les canaux du bas de l'automate, le rangement d'une commande peut être très rapide mais reste tributaire de sa taille.[33]

➤ **Acheminement des médicaments de système au comptoir :**

Les médicaments sortent de l'automate grâce à un éjecteur par canal qui a la capacité de délivrer 10 boîtes en 3 secondes. Il s'agit d'un système d'éjection par électroaimants (pourvu d'un brevet européen). Ils tombent ensuite sur le tapis roulant qui va les acheminer à l'un des systèmes de convoyage (fig II-16).



Figure II-16 Vue intérieure du système PHARMAX

Les médicaments sont acheminés au rez-de-chaussée par le biais d'un système pneumatique Aerocom qui propulse les médicaments à l'étage (fig II-17).



Figure II-17 Système pneumatique Aerocom

Ce système pneumatique a été acheté dans une autre entreprise que PHARMAX, ce dernier arrive directement au sommet du toboggan qui va permettre de ralentir la chute des différents médicaments (fig II-18).



Figure II-18 Toboggan du pharmax

Les tapis roulants et le système d'aiguillage permettent de desservir les différentes gares (fig II-19).



Figure II-19 Système d'aiguillage de PHARMAX

Ce système d'acheminement des médicaments est épaulé par un ascenseur qui remonte les boîtes les plus lourdes (fig II-20).



Figure II-20 Ascenseur du PHARMAX

Il faut compter en moyenne 10 à 15 secondes entre le passage de la commande et l'arrivée des médicaments à la gare. L'automate est épaulé par le logiciel de dispensation INFOSOFT.

II.4.1.2 Système ARX ROWA V MAX :

➤ **Présentation du système :**

ARX a été fondé en Angleterre en 1995 (fig II-21). C'est d'ailleurs dans ce même pays qu'à été installé le premier robot Rowa. Plusieurs milliers d'officines ont déjà été séduites par les différents systèmes de robotisation proposés par le groupe ARX.[34]



Figure II-21 Système ARX ROWA V MAX



➤ **Organisation dans le ROWA VMAX :**

Le rangement se fait en scannant le médicament et en le posant sur le tapis roulant.

Ensuite, le robot se charge de le ranger, il est cependant nécessaire de rentrer la date de péremption manuellement dans le logiciel du robot.

En effet, les médicaments au Luxembourg peuvent provenir de différents pays, or tous les pays n'ont pas instauré, comme la France, les codes data MATRIX dans lesquels on retrouve justement cette date de péremption. [35]

Le fait de rentrer les dates de péremption des médicaments offre plusieurs avantages : le robot sort les médicaments qui possèdent la date de péremption la plus proche, le stock contient moins de périmés et, de ce fait, une perte d'argent est évitée (fig II-20).

L'autre avantage d'enregistrer manuellement ces dates de péremption concerne l'inventaire des périmés.

En effet, on peut demander au robot de sortir toutes les boîtes dont la date de péremption est inférieure à une date précise.

Par exemple, si on veut que le robot sorte tous les médicaments dont la date de péremption est inférieure à mars 2015, il sortira tous les médicaments concernés (comme, un médicament dont la date de péremption est de février 2015).

L'inventaire s'en trouve facilité, après avoir scanné le médicament et rentré sa date de péremption, on pose ce dernier sur le tapis roulant.

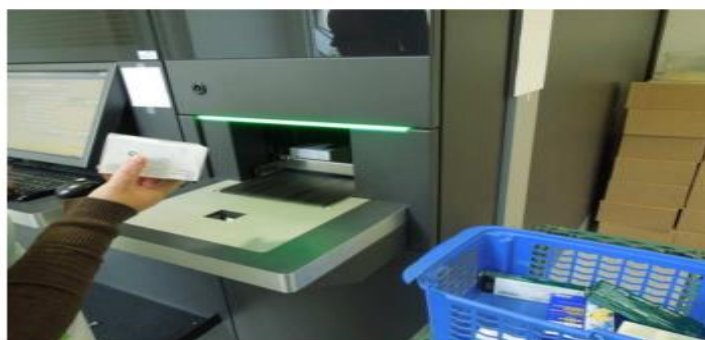


Figure II-22 Poste de commande de Rowa Vmax

Le tapis roulant avance, et les bras mécaniques peuvent alors s'occuper de ranger les médicaments (fig II-21).

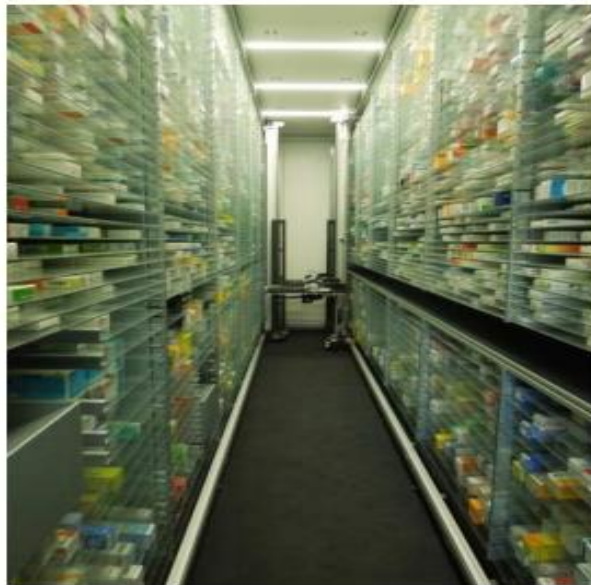


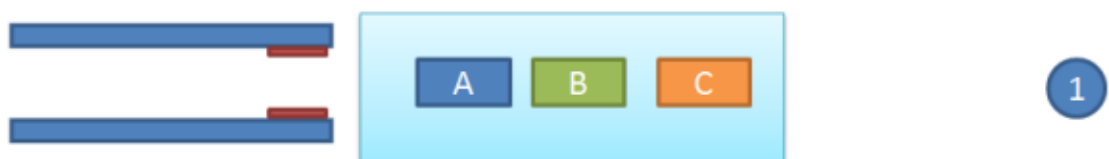
Figure II-23 Armoires et des bras robotisés du Rowa Vmax

➤ **Acheminement des médicaments du système au comptoir :**

Le système ROWA peut attraper, si nécessaire, plusieurs boîtes de médicaments en une fois, grâce à son bras en carbone breveté (HD-Multi-PICKING). Il est capable de prendre une à plusieurs boîtes identiques ou de références différentes en une seule fois, que ce soit pour les ranger ou pour les délivrer. Dans cette pharmacie, le ROWA VMAX est le modèle sur mesure de chez ARX et possède deux bras.

Pour expliquer le fonctionnement du robot lors du prélèvement de médicaments, on va imaginer qu'un opérateur passe une commande pour la boîte B :

1. Cette boîte B est celle qui a la date de péremption la plus proche. La pince du robot vient se présenter devant l'étagère où se trouve la boîte B.



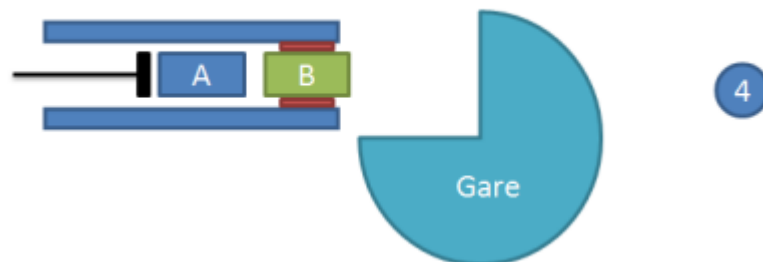
2. La pince du robot vient prélever, grâce à son bras Multi Picking, toutes les boîtes de l'étagère jusqu'à la boîte B. En réalité, seule la boîte B sera en contact direct avec la pince par le biais d'une surface adhérente sur cette dernière (matérialisé en rouge sur le schéma).



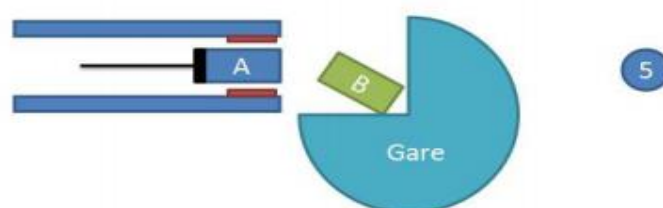
3. La boîte B est maintenant prélevée



4. Le bras du robot se dirige maintenant vers la gare donnant sur le tapis roulant qui alimente la gare de l'opérateur.



5. La pince du robot va alors se desserrer et un piston va venir pousser la boîte A afin que la boîte B tombe dans la gare.



6. La boîte B maintenant délivrée, le robot va se charger de ranger la boîte A à son emplacement initial.



7. La boîte B est véhiculée par le tapis roulant jusqu'au toboggan qui dessert la gare de l'opérateur qui a passé commande.



II.4.1.3 Système TECNILAB DREAMTECH :

➤ **Présentation du système :**

TECNILAB est une entreprise italienne localisée à Cunéo et s'est lancée dans la fabrication des automates et des robots en 1999 (fig II-24). Depuis cette date, elle fait partie des entreprises les plus innovantes dans ce domaine de l'automatisation des officines.[36]

Le DREAMTECH est un hybride qui allie à la fois la technologie des automates et des robots. Cet hybride est très intéressant car il permet d'associer la rapidité des automates à l'entière autonomie des robots.[37]



Figure II-24 Système TECNILAB DREAMTECH

Le système est divisé en 2 parties :

- Fast (ou rapide) : haute rotation de stock
- Slow (ou lent) : faible rotation de stock

La partie fast est gérée par l'automate, on peut considérer cette partie comme un automate classique avec des armoires munies de rangées en pente (plateaux) avec des tapis roulants, ce système est extrêmement rapide et efficace.

La partie slow est gérée par un robot, il s'agit d'un bras qui va ranger de manière aléatoire les boîtes en fonction de leur taille, il permet également la délivrance de ces médicaments à faible rotation.

Cependant, pour délivrer, le bras vient prendre toutes les boîtes d'une même rangée et ensuite une ventouse sélectionnera seulement après la boîte souhaitée (fig II-25).



Figure II-25 Vue d'intérieur du système DreamTech

Le système gère également la loi du "first in first out" (= "premier arrivé, premier sorti"), ce qui permet de gérer les dates de péremption indirectement, par exemple comme les boîtes sont rangées de manière aléatoire, pour prendre deux mêmes boîtes, le bras du robot doit aller les chercher dans 2 emplacements différents.

➤ **Organisation dans le DREAMTECH :**

Le DREAMTECH possède deux types de remplissage :

- Soit en scannant un à un les médicaments (fig II-26)



Figure II-26 Première méthode de remplissage du DreamTech

Soit en vidant le bac dans le ROBOMATE (fig II-27)



Figure II-27 Deuxième méthode de remplissage du DreamTech

La 1ère solution est beaucoup plus rapide car lorsque les médicaments sont scannés, le robot range 300 boîtes en 1 heure, alors qu'il n'en range que 100 par heure en vidant le bac directement dans le bac du robot. [37]

De plus, une personne doit être constamment présente lorsqu'il y a un éventuel problème, comme une boîte bloquée, une boîte non aspirée par le système pneumatique transportant la commande vers la gare, etc...

En scannant les boîtes, le système de rangement est identique à celui du ROWA VMAX. En vidant le bac directement dans le robot, les boîtes tombent une à une avant d'atterrir sur une plateforme circulaire qui tourne afin d'orienter la boîte vers

l'un des lecteurs de code barres. La boîte est ensuite acheminée vers un tapis roulant qui l'emmène soit vers la haute rotation, soit vers la faible rotation de stock. Dans la partie "slow", le rangement se fait comme pour le ROWA VMAX, c'est-à-dire grâce à un bras muni d'une pince. En haute rotation de stock, le rangement est réalisé par un deuxième bras muni d'une petite plateforme capable de se pencher afin de ranger la boîte dans l'armoire de la partie automate du ROBOMATE (voir la figure II-34).

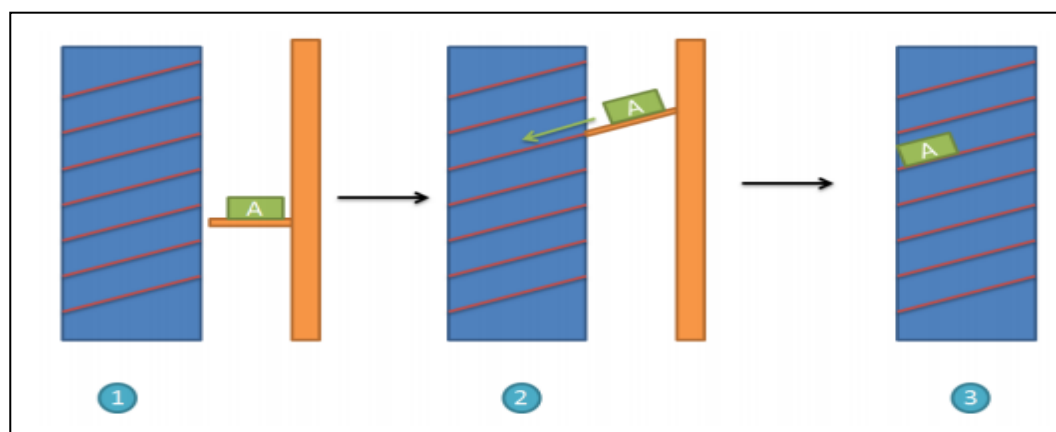


Figure II-28 Le rangement dans les armoires de la partie (fast) du DreamTech

➤ **L'acheminement des médicaments du système au comptoir**

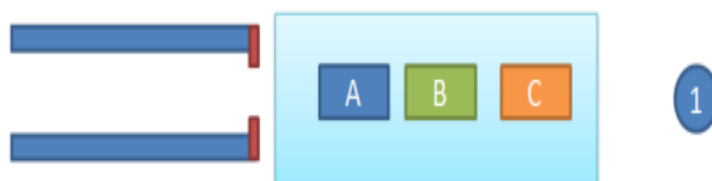
Comme précédemment, l'opérateur passe la commande, suivant la position du médicament dans le système (rangé en Fast ou en Slow), le fonctionnement sera différent.

Le fonctionnement de la partie Fast du système fonctionne comme un automate classique, les boîtes, rangées dans des étagères penchées, tombent sur un tapis roulant.

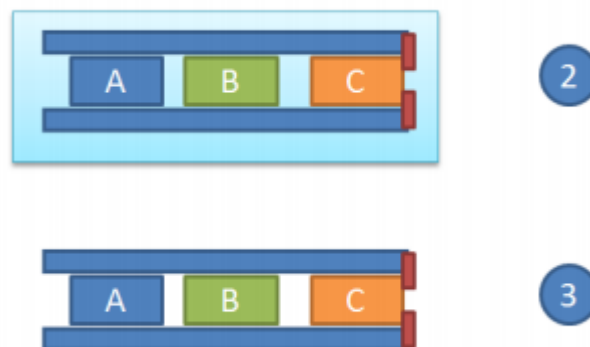
Ce dernier les emmène alors jusqu'au système de convoyage (ici un système pneumatique).

Le fonctionnement de la partie slow se fait par un bras mécanique.

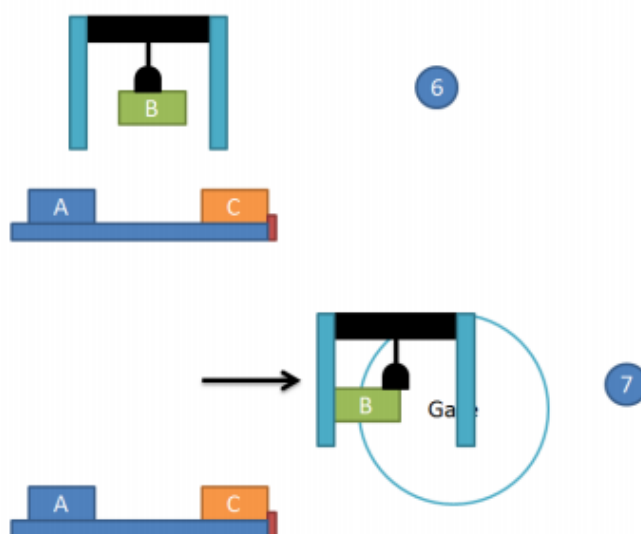
Cette pince est munie de petits crochets



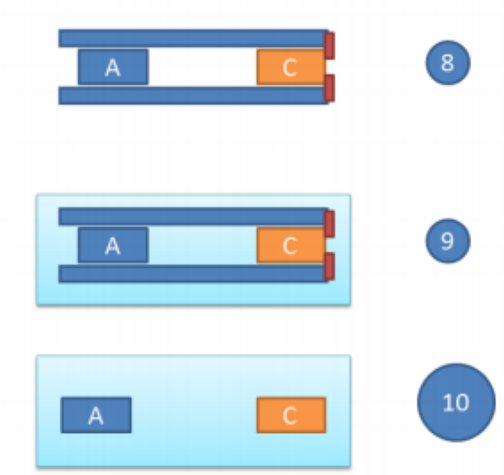
La pince va venir récupérer tous les médicaments de la rangée où se trouve le médicament qu'elle veut récupérer.



Une fois le médicament attrapé grâce à la ventouse, il va ensuite pousser ce dernier grâce à ses parois dans un trou qui constitue une gare acheminant le médicament par le biais de tapis roulant jusqu'au système de convoyage (le système pneumatique).



La partie de la pince qui s'est baissée pour donner l'accès à la ventouse va alors se relever et rapporter les médicaments restants à leur emplacement d'origine.



Ensuite, les tapis roulants acheminent les médicaments jusqu'au système pneumatique qui va se charger de desservir directement les différentes gares de la pharmacie. Dans la pharmacie des vignes, il y a deux systèmes pneumatiques qui alimentent 4 gares. L'intérêt d'un tel système est que, si l'un d'eux tombe en panne, il est possible de réorienter toutes les livraisons sur un seul qui desservira alors ces deux gares. Un système pneumatique était déjà livré avec le robomate, l'autre a été acheté ensuite chez TECNILAB.

II.4.2 Comparaison entre les trois systèmes centralisés :

Tableau II-1 Récapitulatif des différents systèmes de robotisation

	Rapidité	Fiabilité	Encombrement	Coût	Rangement automatique	Confort back office
Pharmax	+++	++	+	-	--	--
Rowa Vmax	+	+	+	++	++	++
DreamTech	+++	--	++	+++	++	++

II.4.3 Avantages et les inconvénients des systèmes centralisés :

II.4.3.1 Système PHARMAX

- **Avantages :**
- L'automate permet de délivrer une ou plusieurs ordonnances beaucoup plus rapidement qu'un robot.
- Selon les officines, le trajet automate/comptoir pour les boîtes de médicaments varie entre cinq et dix secondes.
- Pour les renouvellements d'ordonnances, la saisie sur le clavier étant plus rapide, le gain de temps est encore optimisé.
- L'automate permet d'éjecter des canaux une dizaine de boîtes en moins de trois secondes.
- Les pharmacies qui rechercheront le meilleur retour sur investissement se dirigeront vers les automates.
- Les pharmacies équipées déclarent un ratio chiffre d'affaires/employé supérieur à la moyenne.
- **Inconvénients :**
- L'inconvénient principal de l'automate est le rangement manuel, celui-ci peut s'avérer long et fastidieux.
- Selon les automates, il faut remplir tous les canaux jusqu'à plusieurs centaines.

II.4.3.2 Système ARX ROWA V MAX :

- **Avantages :**
- Avec un robot, le rangement des commandes dans les armoires peut également être robotisé.
- Cela limite alors les erreurs de stock et permet un gain de temps par rapport au rangement manuel.
- Un robot est capable de gérer son stock de manière plus précise qu'un automate.
- Il peut également gérer les dates de péremption.
- Le robot donne un confort important au niveau du back office.

- **Inconvénients :**
- Le robot est technologiquement plus évolué que l'automate mais son principal défaut est sa lenteur.
- A l'exception des robots munis de pinces MULTIPICKING, un robot ne délivre qu'une boîte à la fois, il faut compter environ 12 à 15 secondes pour une boîte.
- Quand il y a plusieurs postes de vente travaillant en même temps, le temps d'attente pour réceptionner la commande augmente.
- Le robot possède une technologie plus complexe que celle de l'automate et demande un suivi plus important, un remplacement plus fréquent des pièces d'usure et donc une maintenance plus coûteuse.

II.4.3.3 Système TECNILAB DREAMTECH :

- **Avantages :**
- 1. Le robomate identifie, sépare et range les boîtes de médicaments.
- 2. Il est également capable de remplir automatiquement les canaux, mais aussi d'optimiser et de sécuriser le chargement.
- 3. Il sépare les médicaments à faible et haute rotation de stock.
- 4. Il est capable d'en réaliser un inventaire et d'assurer la gestion des réserves.
- 5. Le robomate permet d'automatiser la quasi-intégralité du stock grâce au robot qui s'occupe des produits à faible rotation, tout en conservant la vitesse de l'automate.
- 6. La productivité est encore augmentée par rapport à celle d'un automate.

- **Inconvénients :**

Son prix et son coût de maintenance sont généralement plus importants que celui des automates et des robots.

II.5 Comparaison entre les systèmes centralisés et décentralisés de dispensation

	Les systèmes centralisés de dispensation	Les systèmes décentralisés de dispensation
Principes de fonctionnement	1. Préparation automatisée individualisée des traitements par un robot localisé à la pharmacie: les médicaments sont prélevés par le robot et déposés dans des cassettes individualisées. 2. Transport des cassettes aux unités de soins et échange avec celles de la veille 3. Administration des médicaments par le personnel infirmier à partir des cassettes.	1. Préparation automatisée individualisée des traitements dans les unités de soins (armoires sécurisées). 2. Administration des médicaments par le personnel infirmier. 3. Réapprovisionnement des armoires réalisé régulièrement par des préparateurs en pharmacie.
Imputation du médicament au patient	L'association automatique entre les patients et le produit	L'association automatique entre les patients et le produit
Traçabilité des médicaments	Oui pour ce qui se trouve dans le robot (sinon BEDSIDE SCANNING)	Dans le cas où le système comprend un code barre
Prévention des erreurs médicamenteuses	Le système contribue à prévenir les erreurs de médication.	Minimisation du risque d'erreurs médicamenteuses.
Contient toutes formes médicamenteuses	Non	Oui
Flexibilité du système de distribution	Pas d'adaptation aux éventuels changements (armoire urgence + retours)	Adaptation possible aux éventuels changements

II.6 Conclusion

L'automatisation de la dispensation Journalière des médicaments est sans aucun doute un excellent moyen de sécuriser le circuit du médicament à l'hôpital, elle permet d'améliorer la qualité de la dispensation.

Elle permet d'optimiser la gestion des stocks en supprimant les armoires à pharmacie dans les services (à l'exception des dotations en médicaments pour besoins urgents), cela permet de réduire considérablement le gaspillage des médicaments et ainsi de faire des économies, elle permet également aux infirmiers de consacrer plus de temps à leurs patients et par conséquent de promouvoir la qualité des soins.

Nous nous sommes donc intéressés à différents types d'automates potentiels : les systèmes centralisés et les systèmes décentralisés de dispensation de médicaments.

L'automatisation est une démarche collective qui doit s'inscrire dans un processus de qualité de la dispensation du médicament, rappelons que le simple fait que les laboratoires pharmaceutiques acceptent de produire des doses unitaires améliorerait considérablement la qualité du circuit du médicament à l'hôpital.

Chapitre III

**Développement d'une heuristique
d'optimisation des erreurs de
dispensation**

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous traitons le problème d'affectation de médicaments dans une armoire automatisée de dispensation.

L'armoire est composée de plusieurs tiroirs où chaque tiroir est subdivisé en compartiments pouvant recevoir chacun un type de médicament.

Le problème consiste à affecter les compartiments aux différents médicaments existants, sachant qu'il existe des médicaments qu'il ne faut pas placer dans des compartiments voisins à cause du risque de confusion pouvant induire des erreurs de dispensation.

La confusion provient de la similitude qu'il peut y avoir entre deux médicaments. (1)

III.2 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. (1)

Dans ce travail ont traité le problème d'affectation des médicaments dans les tiroirs d'une armoire à pharmacie subdivisés en compartiments de même dimension (forme matricielle), en évitant de placer les paires qui ont un grand taux de similarité entre eux côte à côte. Deux compartiments sont considérés voisins lorsqu'ils partagent un coté en commun.

Le problème d'affectation que nous considérons ici, consiste à déterminer les compartiments qui vont recevoir les médicaments en connaissant la matrice de similitude des médicaments et en évitant de placer deux médicaments similaires dans deux compartiments voisins, ce problème est considéré comme un FLP " Facility Layout Problem" dont la formulation mathématique est donnée sous forme de QAP « Quadratic Assignment Problem ». (1)

Pazour et Meller [39] ont essayé de résoudre ce problème, en utilisant le CEPLEX 10.1, mais ils n'ont pas pu trouver de solution en raison des limitations de mémoire du PC.

Ensuite ils ont proposé de travailler par une approche heuristique. Ils ont développé une approche heuristique appelée en anglais (a steepest-descent-pairwise-exchange algorithm).

L'efficacité de l'approche utilisée par Pazour et Meller a été testée sur des données réelles issues de l'utilisation des ADC. (1)

Pazour et Meller 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. (1)

La figure III-1 représente le problème d'affectation de deux médicaments incompatibles (médicament 1 et médicament 2).

Sur la figure III-1 , on voit que le fait de placer le médicament 2 dans un compartiment, interdit de placer le médicament 1 dans les 4 compartiments voisins.

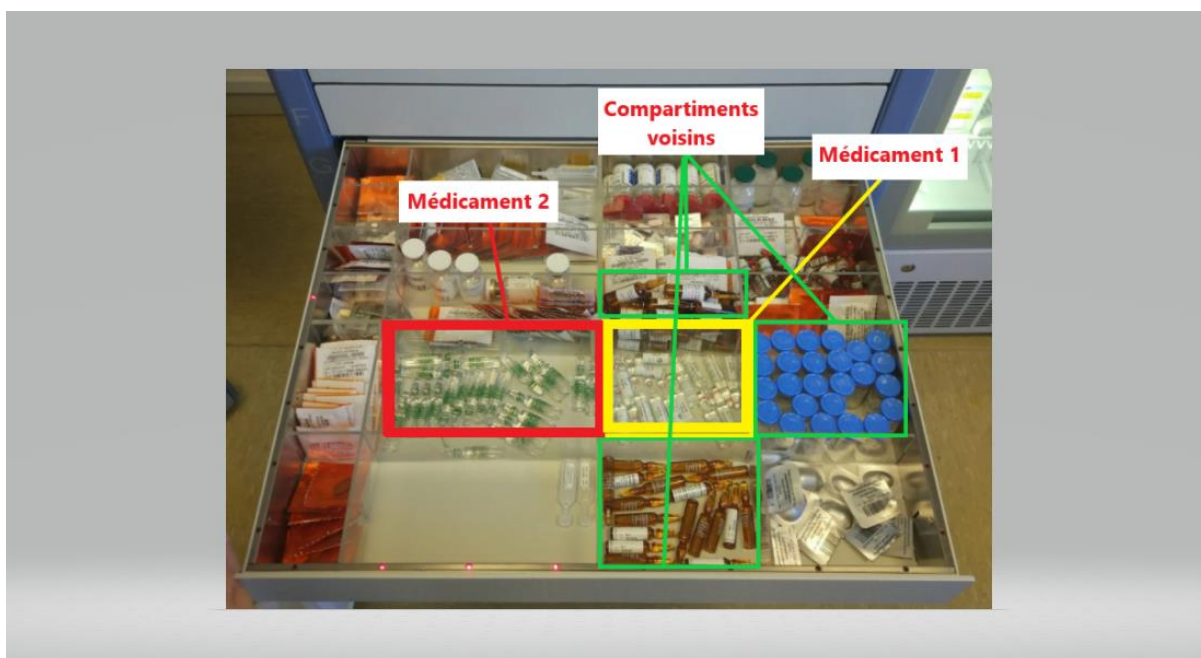


Figure III-1 Problème d'affectation de deux médicaments incompatibles

III.3 Visuel Basic pour L'Application (Excel VBA)

III.3.1 Présentation de Excel VBA

VBA est l'abréviation de Visual Basic for Applications. Excel VBA est le langage de programmation de Microsoft pour Excel et tous les autres programmes Microsoft Office, comme Word et PowerPoint. Les programmes de la suite Office partagent tous un langage de programmation commun.

III.3.2 Pour quoi utiliser Excel VBA

Si les utilisateurs ne peuvent pas manipuler directement le logiciel principal d'Excel par le biais de VBA, ils peuvent toutefois maîtriser l'art de créer des macros pour optimiser leur temps dans Excel, il existe deux façons de créer des macros Excel.

La première méthode consiste à utiliser l'enregistreur de macros. Après avoir activé l'enregistreur, Excel enregistre toutes les étapes effectuées par l'utilisateur et les sauvegarde sous la forme d'un "processus" appelé "macro". Lorsque l'utilisateur met fin à l'enregistreur, cette macro est sauvegardée et peut être affectée à un bouton qui exécutera à nouveau exactement le même processus lorsqu'il sera cliqué. Cette méthode est relativement simple et ne nécessite aucune connaissance inhérente du code VBA. Cette méthode fonctionnera pour les processus simples.

Toutefois, son inconvénient est qu'elle n'est pas très personnalisable et que la macro imitera exactement la saisie de l'utilisateur. Par défaut, les macros de l'enregistreur utilisent également le référencement absolu au lieu du référencement relatif. Cela signifie que les macros réalisées de cette manière sont très difficiles à utiliser avec des variables et des processus "intelligents".

La deuxième méthode, plus puissante, pour créer une macro Excel consiste à encoder une à l'aide de VBA.

III.3.3 Où coder Excel VBA ?

Pour accéder à la fenêtre VBA, appuyez sur Alt + F11 dans n'importe quel programme Office. Si vous procédez correctement, vous ouvrirez une fenêtre comportant un arbre de structure de fichier en haut à gauche, les propriétés en bas à gauche, un volet de débogage en bas au centre et en bas à droite, et la section de codage qui occupe la majeure partie de l'écran au centre et en haut à droite, cela peut sembler écrasant au premier abord, mais en réalité, c'est plus simple qu'il n'y paraît (fig III-2).

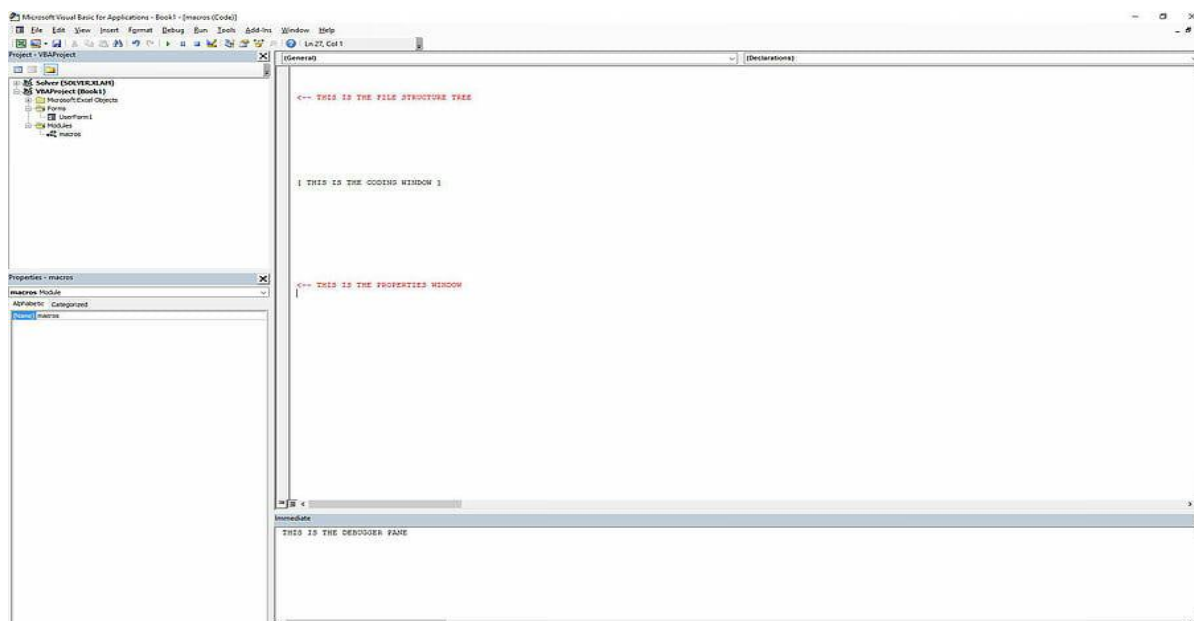


Figure III-2 Fenêtre de Code Excel VBA

La plupart du temps, l'utilisateur travaillera dans la section de codage.

La section structure du fichier est uniquement utilisée pour créer un nouveau fichier macro, la section des propriétés, en bas à gauche, ne sera utilisée que pour les macros plus avancées qui utilisent UserForms pour créer des interfaces graphiques pour la macro.

La section de codage est l'endroit où la plupart, sinon la totalité, du codage se fait. C'est ici que l'utilisateur crée, code et enregistre les macros. Une fois le code de la macro écrit et enregistré, il peut être attaché à certains déclencheurs dans le modèle Excel.

La macro peut être activée en appuyant sur un bouton spécifique de la feuille de calcul, ou lorsque certaines cellules sont modifiées, par exemple, la façon la plus simple d'implémenter une macro est de l'attacher à un bouton.

III.4 Résolution du problème d'affectation sous VBA

III.4.1 Présentation des heuristiques appliquées pour l'affectation

Pour simuler ce programme on va commencer par la création d'une matrice de similitude de dimension $[n*n]$, cette matrice sera remplie par des valeurs au hasard entre 0 et 1.

Ensuite, on applique un seuil de binarisation à la matrice de similitude pour obtenir une matrice d'incompatibilité.

$$\text{Valeur} < \text{Seuil} \rightarrow \text{valeur}=0$$

$$\text{Valeur} > =\text{Seuil} \rightarrow \text{valeur}=1$$

Les deux premières heuristiques suivantes ont été développées dans [38].

- **Première heuristique:**

On va classer au hasard les médicaments dans les compartiments du tiroir sans prendre en considération l'incompatibilité entre les médicaments.

- **Deuxième heuristique:**

Consiste en l'affectation des médicaments après le classement décroissant des médicaments selon le nombre des incompatibles de chaque médicament (le médicament plus fort jusqu'à le plus faible).

- 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.

- **Troisième heuristique:**

Consiste en l'affectation des médicaments après le classement décroissant selon le nombre des incompatibles de chaque médicament, le remplissage se fait en 3 étapes différentes.

Tout d'abord on va commencer par le remplissage des coins de chaque tiroir (le remplissage se fait par le choix des quatre premiers médicaments qu'ont le plus nombre des incompatibles).

Ensuite on va remplir les médicaments suivants qu'ont moins d'incompatibilité dans les bordures (entre les coins).

Enfin, on continue le remplissage des médicaments restants au milieu du tiroir.

Dans notre travail on a développé trois programmes exécutables :

1. Programme de génération des matrices S_{ij} et I_{ij} avec la dimension $[n*n]$.
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 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, cette matrice sera remplie automatiquement par des valeurs aléatoires entre le 0 et 1 générés par le programme Excel VBA.

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, pour obtenir cette matrice on doit appliquer un seuil de binarisation choisis (entre le 0 et 1).

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, le tableau III-1 :

Tableau III-1 Génération de la matrice d'incompatibilité 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 (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 : essai de 30 médicaments

On considère une armoire contenant 1 tiroir de 30 emplacements, la matrice S_{ij} sera attribuée par le programme de la génération des matrices aléatoires le tableau III-2 :

Tableau III-2 Matrice de similitudes S_{ij}

S_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0	0.602	0.029	0.856	0.009	0.245	0.057	0.935	0.342	0.957	0.006	0.217	0.737	0.856	0.966	0.29	0.579	0.561	0.994	0.821	0.974	0.21	0.022	0.9	0.307	0.94	0.926	0.324	0.969	0.025
2	0.602	0	0.509	0.277	0.319	0.128	0.196	0.279	0.31	0.232	0.803	0.954	0.363	0.789	0.483	0.685	0.598	0.153	0.107	0.875	0.917	0.46	0.528	0.611	0.908	0.848	0.356	0.694	0.228	0.591
3	0.029	0.509	0	0.562	0.39	0.48	0.513	0.512	0.406	0.876	0.412	0.477	0.751	0.458	0.383	0.499	0.01	0.847	0.032	0.714	0.355	0.445	0.744	0.742	0.371	0.858	0.598	0.585	0.982	0.627
4	0.856	0.277	0.562	0	0.443	0.157	0.029	0.283	0.118	0.211	0.585	0.907	0.855	0.717	0.949	0.322	0.038	0.764	0.257	0.195	0.775	0.755	0.627	0.881	0.716	0.826	0.873	0.382	0.719	0.253
5	0.009	0.319	0.39	0.443	0	0.595	0.014	0.234	0.983	0.94	0.596	0.883	0.011	0.205	0.985	0.589	0.22	0.544	0.318	0.487	0.248	0.826	0.979	0.199	0.948	0.922	0.516	0.99	0.243	0.641
6	0.245	0.128	0.48	0.157	0.595	0	0.324	0.117	0.122	0.019	0.564	0.486	0.808	0.208	0.612	0.788	0.675	0.939	0.603	0.345	0.096	0.879	0.656	0.714	0.72	0.634	0.852	0.164	0.673	0.745
7	0.057	0.196	0.513	0.029	0.014	0.324	0	0.469	0.705	0.517	0.66	0.13	0.417	0.731	0.733	0.457	0.309	0.754	0.015	0.039	0.021	0.719	0.094	0.7	0.67	0.499	0.58	0.175	0.649	0.901
8	0.935	0.279	0.512	0.283	0.234	0.117	0.469	0	0.283	0.288	0.372	0.465	0.59	0.896	0.103	0.45	0.876	0.576	0.043	0.69	0.245	0.2	0.78	0.009	0.553	0.638	0.659	0.143	0.189	0.698
9	0.342	0.31	0.406	0.118	0.983	0.122	0.705	0.283	0	0.239	0.237	0.194	0.601	0.137	0.259	0.204	0.177	0.843	0.225	0.549	0.572	0.492	0.987	0.814	0.968	0.221	0.157	0.239	0.833	0.307
10	0.957	0.232	0.876	0.211	0.94	0.019	0.517	0.288	0.239	0	0.376	0.273	0.569	0.678	0.056	0.207	0.616	0.042	0.414	0.944	0.857	0.349	0.101	0.868	0.91	0.737	0.929	0.95	0.168	0.48
11	0.006	0.803	0.412	0.585	0.596	0.564	0.66	0.372	0.237	0.376	0	0.771	0.665	0.056	0.665	0.73	0.738	0.711	0.314	0.493	0.269	0.044	0.026	0.708	0.348	0.456	0.88	0.815	0.897	0.491
12	0.217	0.954	0.477	0.907	0.883	0.486	0.13	0.465	0.194	0.273	0.771	0	0.111	0.657	0.573	0.895	0.108	0.704	0.88	0.581	0.032	0.695	0.25	0.188	0.034	0.766	0.762	0.954	0.976	0.459
13	0.737	0.363	0.751	0.855	0.011	0.808	0.417	0.59	0.601	0.569	0.665	0.111	0	0.927	0.584	0.136	0.264	0.458	0.182	0.848	0.213	0.74	0.577	0.746	0.241	0.837	0.115	0.538	0.474	0.555
14	0.856	0.789	0.458	0.717	0.205	0.208	0.731	0.896	0.137	0.678	0.056	0.657	0.927	0	0.552	0.677	0.061	0.195	0.543	0.047	0.668	0.198	0.862	0.338	0.355	0.89	0.057	0.787	0.98	0.001
15	0.966	0.483	0.383	0.949	0.985	0.612	0.733	0.103	0.259	0.056	0.665	0.573	0.584	0.552	0	0.055	0.67	0.719	0.93	0.45	0.568	0.747	0.008	0.298	0.28	0.73	0.495	0.773	0.196	0.132
16	0.29	0.685	0.499	0.322	0.589	0.788	0.457	0.45	0.204	0.207	0.73	0.895	0.136	0.677	0.055	0	0.578	0.149	0.3	0.709	0.134	0.835	0.036	0.949	0.504	0.211	0.916	0.082	0.078	0.271
17	0.579	0.598	0.01	0.038	0.22	0.675	0.309	0.876	0.177	0.616	0.738	0.108	0.264	0.061	0.67	0.578	0	0.39	0.19	0.463	0.171	0.102	0.218	0.542	0.831	0.769	0.388	0.153	0.431	0.854
18	0.561	0.153	0.847	0.764	0.544	0.939	0.754	0.576	0.843	0.042	0.711	0.704	0.458	0.195	0.719	0.149	0.39	0	0.049	0.2	0.797	0.035	0.673	0.937	0.85	0.36	0.502	0.207	0.373	0.104
19	0.994	0.107	0.032	0.257	0.318	0.603	0.015	0.043	0.225	0.414	0.314	0.88	0.182	0.543	0.93	0.3	0.19	0.049	0	0.724	0.184	0.704	0.573	0.752	0.263	0.055	0.427	0.046	0.811	0.089
20	0.821	0.974	0.032	0.257	0.318	0.603	0.015	0.043	0.225	0.414	0.314	0.88	0.182	0.543	0.93	0.3	0.19	0.049	0	0.724	0.184	0.704	0.573	0.752	0.263	0.055	0.427	0.046	0.811	0.089
21	0.974	0.917	0.355	0.775	0.248	0.096	0.021	0.245	0.572	0.857	0.269	0.032	0.213	0.668	0.568	0.134	0.171	0.797	0.184	0.288	0	0.452	0.175	0.841	0.472	0.751	0.713	0.82	0.705	0.47
22	0.21	0.46	0.445	0.755	0.826	0.879	0.719	0.2	0.492	0.349	0.044	0.695	0.74	0.198	0.747	0.835	0.102	0.035	0.704	0.963	0.452	0	0.801	0.04	0.927	0.147	0.997	0.677	0.552	0.523
23	0.022	0.528	0.744	0.627	0.979	0.656	0.094	0.78	0.987	0.101	0.026	0.25	0.577	0.862	0.008	0.036	0.218	0.673	0.573	0.139	0.175	0.801	0	0.709	0.562	0.961	0.41	0.371	0.478	0.363
24	0.9	0.611	0.742	0.881	0.199	0.714	0.7	0.009	0.814	0.868	0.708	0.188	0.746	0.338	0.298	0.949	0.542	0.937	0.752	0.574	0.841	0.04	0.709	0	0.128	0.783	0.438	0.022	0.702	0.843
25	0.307	0.908	0.371	0.716	0.948	0.72	0.67	0.553	0.968	0.91	0.348	0.034	0.241	0.355	0.28	0.504	0.831	0.85	0.263	0.291	0.472	0.927	0.562	0.128	0	0.05	0.619	0.068	0.029	0.136
26	0.94	0.848	0.858	0.826	0.922	0.634	0.499	0.638	0.221	0.737	0.456	0.766	0.837	0.89	0.73	0.211	0.769	0.36	0.055	0.972	0.751	0.147	0.961	0.783	0.05	0	0.809	0.463	0.313	0.993
27	0.926	0.356	0.598	0.873	0.516	0.852	0.58	0.659	0.157	0.929	0.88	0.762	0.115	0.057	0.495	0.916	0.388	0.502	0.427	0.651	0.713	0.997	0.41	0.438	0.619	0.809	0	0.012	0.726	0.687
28	0.324	0.694	0.585	0.832	0.99	0.164	0.175	0.143	0.239	0.95	0.815	0.954	0.538	0.787	0.773	0.082	0.153	0.207	0.046	0.527	0.82	0.677	0.371	0.022	0.068	0.463	0.012	0	0.488	0.339
29	0.969	0.228	0.982	0.719	0.243	0.673	0.649	0.189	0.833	0.168	0.897	0.976	0.474	0.98	0.196	0.078	0.431	0.373	0.811	0.232	0.705	0.552	0.478	0.702	0.029	0.313	0.726	0.488	0	0.384
30	0.025	0.591	0.627	0.253	0.641	0.745	0.901	0.698	0.307	0.48	0.491	0.459	0.555	0.001	0.132	0.271	0.854	0.104	0.089	0.399	0.47	0.523	0.363	0.843	0.136	0.993	0.687	0.339	0.384	0

Après l'exécution du programme de comparaison des valeurs de la matrice des degrés de similitude S_{ij} (Tableau) avec un seuil de 0,3 on obtient la matrice d'incompatibilité I_{ij} (Tableau).

- 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 III-3) on a M3 est incompatible avec M1, M2 et M4.

Tableau III-3 Calculer la somme

Iij	M1	M2	M3	M4	Somme
M1	0	0	1	1	0+0+1+1=2
M2	0	0	1	0	0+0+1+0=1
M3	1	1	0	1	1+1+0+1=3
M4	1	0	1	0	1+0+1+0=2

- Cette matrice sera utilisée uniquement par le programme d'affectation des heuristiques 02 et 03 (le tableau III-4).

Tableau III-4 Exemple de calcul du nombre de couples de médicaments incompatibles

ij	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Somme		
1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	19		
2	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	21		
3	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	26		
4	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	19		
5	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	20	
6	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	20	
7	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	19	
8	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	16
9	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	15	
10	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	18	
11	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	23	
12	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	19
13	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	21	
14	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	19
15	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	20	
16	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	16
17	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	17
18	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	20
19	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	14	
20	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	21	
21	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	17
22	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	21
23	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	19
24	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	22
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	19
26	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	24
27	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	25
28	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	18
29	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	21
30	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	21

- Le programme de la 1er 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 :

Après l'exécution du programme de la 1ère heuristique d'affectation on obtient la configuration suivante (fig III-3):

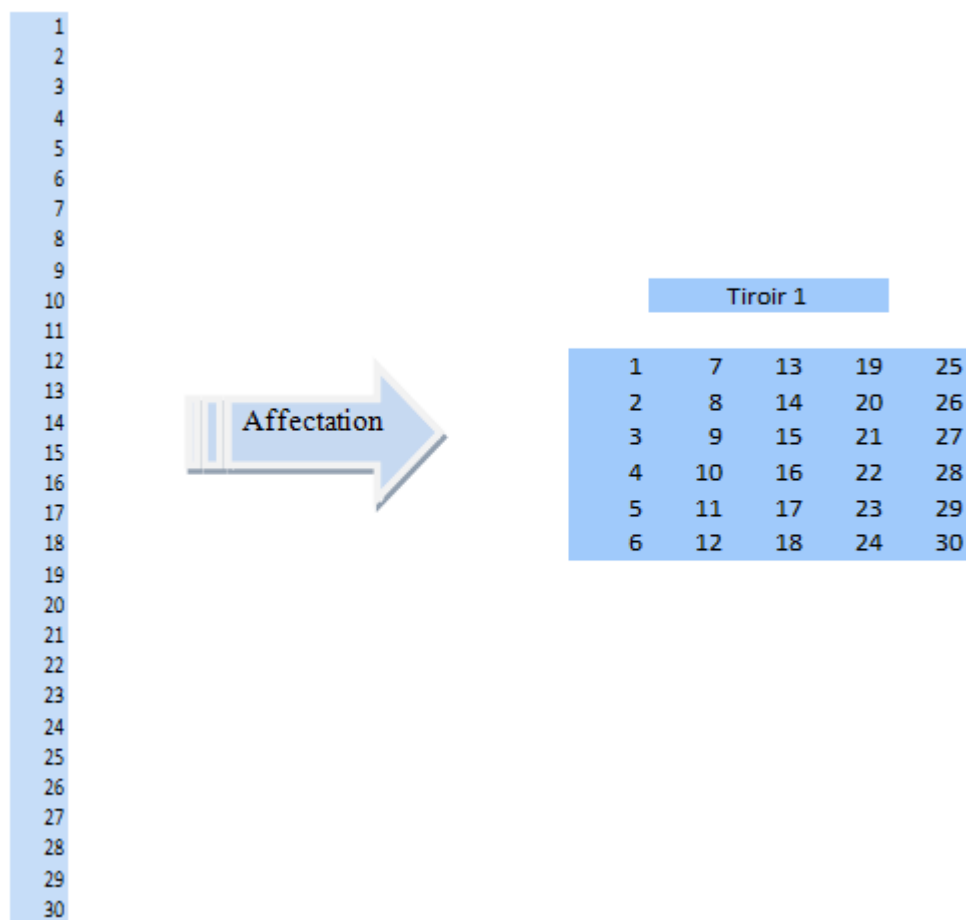


Figure III-3 Heuristique 1- Première configuration

Résultats d'affectation :

Après l'exécution du programme de vérification, on obtient le nombre de couples incompatibles dans des emplacements voisins égal à 34 couples.

III.5.1.2 Heuristique 02 :

Après l'exécution du programme de la 1ère heuristique d'affectation on obtient la configuration suivante (fig III-4) :

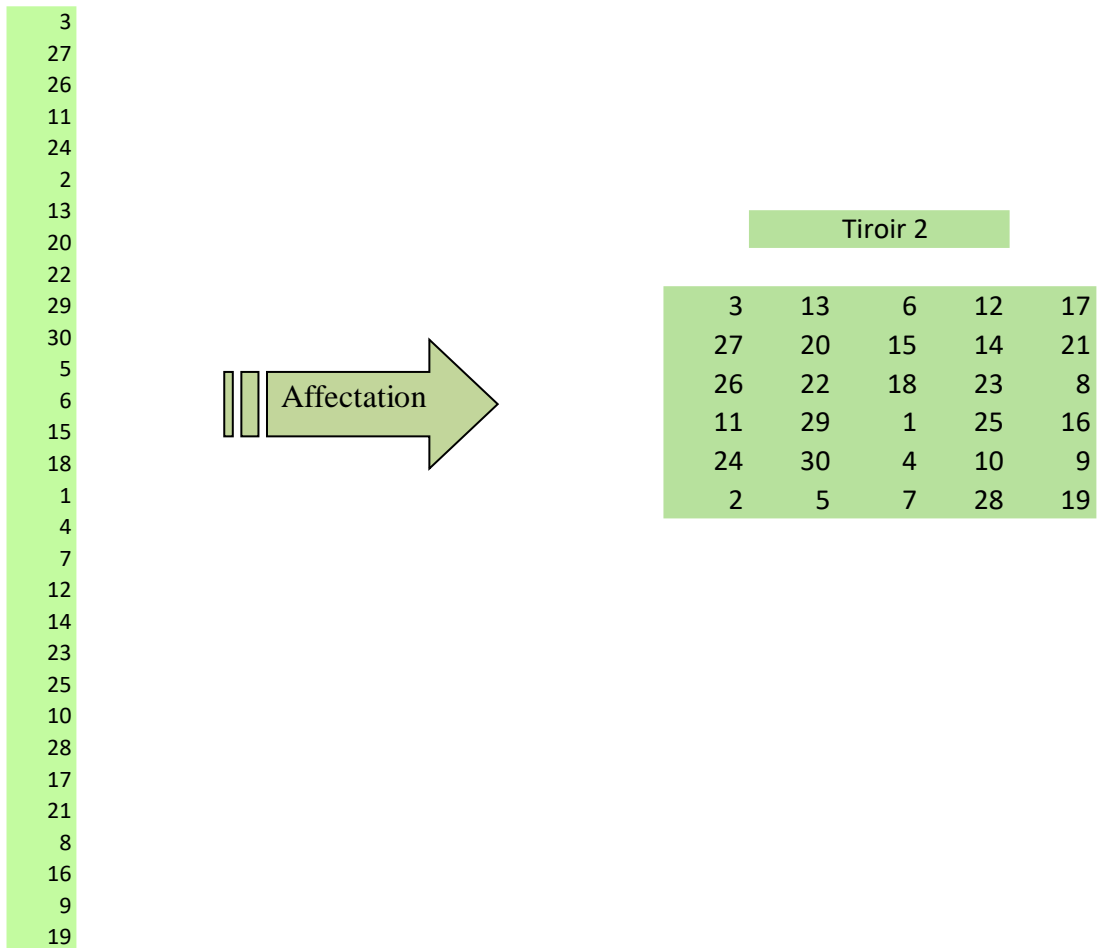


Figure III-4 Heuristique 2-Deuxième configuration

Résultats d'affectation :

Le nombre des couples incompatibles dans des emplacements voisins est: 35 couples.

III.5.1.3 Heuristique 03 :

Après l'exécution du programme on obtient la configuration des deux tiroirs suivante (fig III-5) :

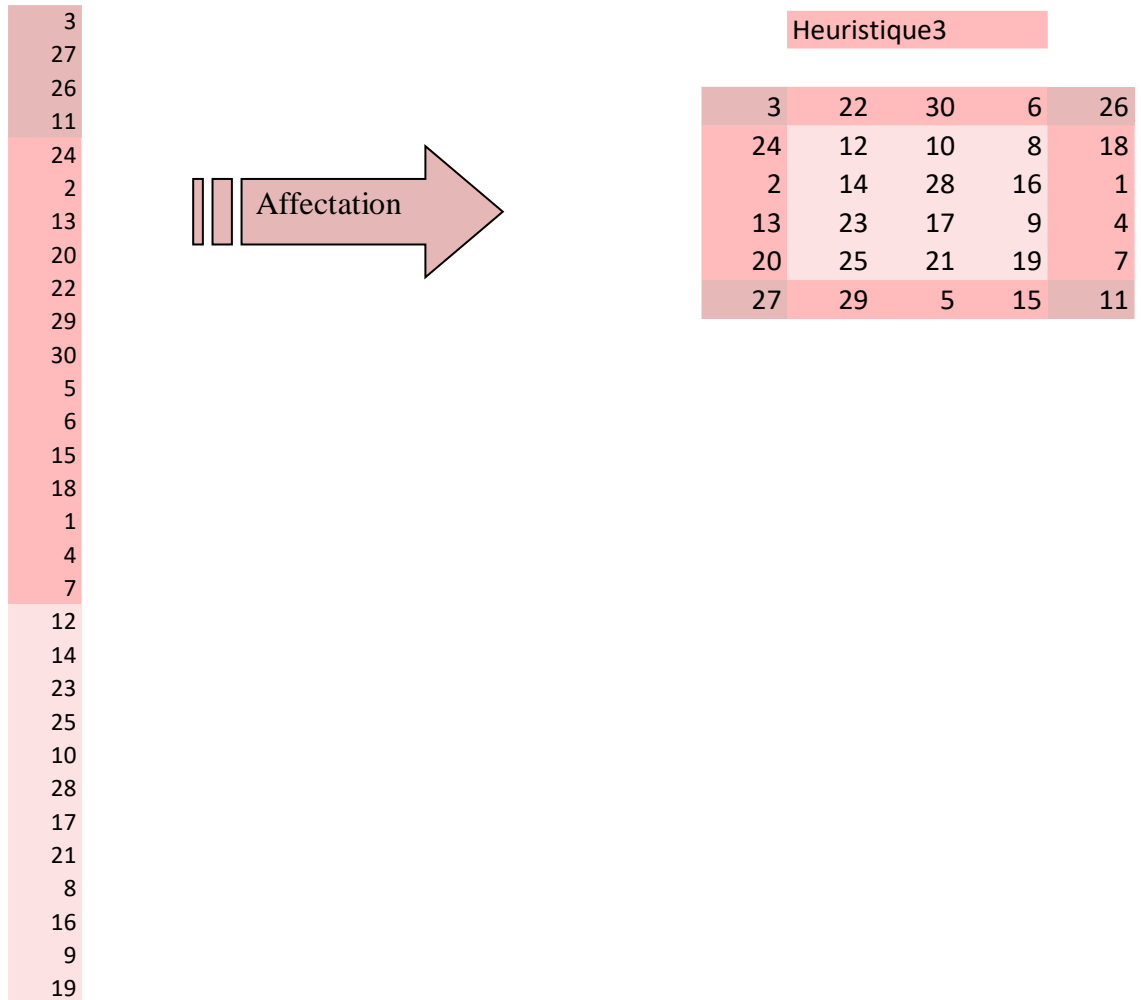


Figure III-5 Heuristique 3-Troisième configuration

Résultats d'affectation :

Le nombre des couples incompatibles dans des emplacements voisins est : 30 couples.

Résultats de 10 essais pour la 1er configuration (30 médicaments):

Tableau III-5 Résultats de configuration 1

Essais \ Heuristique	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Moyenne
1	27	42	26	38	35	34	35	35	37	34	34.4
2	31	38	30	42	26	32	36	34	34	37	34
3	34	38	29	33	36	29	35	33	37	30	33.4

III.5.2 Deuxième configuration (120 médicaments) :

On considère une armoire contenant 04 tiroirs de 30 emplacements chacun (6*5), de capacité de 120 médicaments, et on applique un seuil 0,3.

III.5.2.1 Heuristique 01 : affectation directe

Après l'exécution du programme on obtient la configuration des 4 tiroirs suivante (fig III-6):

Heuristique1										
Tiroir 1					Tiroir 2					
1	7	13	19	25	31	37	43	49	55	
2	8	14	20	26	32	38	44	50	56	
3	9	15	21	27	33	39	45	51	57	
4	10	16	22	28	34	40	46	52	58	
5	11	17	23	29	35	41	47	53	59	
6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	
Tiroir 3					Tiroir 4					
61	67	73	79	85	91	97	103	109	115	
62	68	74	80	86	92	98	104	110	116	
63	69	75	81	87	93	99	105	111	117	
64	70	76	82	88	94	100	106	112	118	
65	71	77	83	89	95	101	107	113	119	
66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	

Figure III-6 Heuristique 1-Deuxième configuration

Résultats d'affectation :

Le nombre des couples incompatibles dans des emplacements voisins est: 134 couples.

III.5.2.2 Heuristique 02 : affectation après classement en ordre décroissant

Après l'exécution du programme d'affectation on obtient la configuration des 4 tiroirs suivante (fig III-7):

Heuristique2									
Tiroir 1							Tiroir 2		
70	86	48	101	105	42	3	73	63	22
23	32	87	12	110	60	8	26	71	25
66	62	118	16	14	67	44	37	77	30
96	92	65	21	33	89	47	39	109	51
81	102	69	45	35	114	49	46	10	52
36	6	82	83	41	2	58	53	17	54
Tiroir 3					Tiroir 4				
61	97	28	18	99	80	31	100	75	107
68	115	29	24	112	88	64	111	79	120
72	117	78	34	19	104	93	1	94	38
74	4	106	55	40	113	108	15	116	76
85	13	119	57	56	5	43	20	11	98
90	27	9	91	59	7	95	50	103	84

Figure III-7 Heuristique 2- Deuxième configuration

Résultats d'affectation :

Le nombre des couples incompatibles dans des emplacements voisins est : 147 couples .

III.5.2.3 Heuristique 03 :

Après l'exécution du programme d'affectation on obtient la configuration des 4 tiroirs suivante (fig III-8) :

Heuristique3				
Tiroir 1		Tiroir 2		
70	16	45	105	66
69	28	119	34	14
82	29	9	55	33
101	78	18	57	35
12	106	24	91	41
23	21	83	110	96
Tiroir 3		Tiroir 4		
62	63	77	10	102
37	31	43	1	22
39	64	95	15	25
46	93	100	20	30
53	108	111	50	51
92	71	109	17	6
81	114	3	44	86
42	99	56	104	49
60	112	59	113	58
67	19	80	5	73
89	40	88	7	26
36	2	8	47	32
48	72	85	97	118
52	75	11	38	117
54	79	103	76	4
61	94	107	98	13
68	116	120	84	27
87	74	90	115	65

Figure III-8 Heuristique 3- Troisième configuration

Résultats d'affectation :

Le nombre des couples incompatibles dans des emplacements voisins est : 138 couples.

Résultats de 10 essais pour la 2^{ème} configuration (120 médicaments) :

Tableau III-6 Résultats de configuration 2

Essais Heuristique	Essais										Moyenne
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	140	144	144	135	131	141	134	143	141	145	139.8
2	140	140	142	133	147	143	142	152	152	136	142.7
3	135	134	138	130	143	132	133	143	146	131	136.5

III.5.3 Troisième configuration (180 médicaments) :

On considère une armoire contenant 06 tiroirs de 30 emplacements chacun (6*5), de capacité de 180 médicaments, et on applique un seuil 0,3.

III.5.3.1 Heuristique 01 : affectation directe

Après l'exécution du programme d'affectation on obtient la configuration des 6 tiroirs suivante (fig III-9):

Heuristique1									
Tiroir 1					Tiroir 2				
1	7	13	19	25	31	37	43	49	55
2	8	14	20	26	32	38	44	50	56
3	9	15	21	27	33	39	45	51	57
4	10	16	22	28	34	40	46	52	58
5	11	17	23	29	35	41	47	53	59
6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
Tiroir 3					Tiroir 4				
61	67	73	79	85	91	97	103	109	115
62	68	74	80	86	92	98	104	110	116
63	69	75	81	87	93	99	105	111	117
64	70	76	82	88	94	100	106	112	118
65	71	77	83	89	95	101	107	113	119
66	72	78	84	90	96	102	108	114	120
Tiroir 5					Tiroir 6				
121	127	133	139	145	151	157	163	169	175
122	128	134	140	146	152	158	164	170	176
123	129	135	141	147	153	159	165	171	177
124	130	136	142	148	154	160	166	172	178
125	131	137	143	149	155	161	201	173	179
126	132	138	144	150	156	162	168	174	180

Figure III-9 Heuristique 1- Configuration 3

Résultats d'affectation :

Le nombre des couples incompatibles dans des emplacements voisins est : 194 couples.

III.5.3.2 Heuristique 02 : affectation après classement en ordre décroissant

Après l'exécution du programme d'affectation on obtient la configuration des 6 tiroirs suivante (fig III-10) :

Heuristique1									
Tiroir 1					Tiroir 2				
170	102	150	147	55	153	166	3	95	34
173	41	168	159	72	175	30	16	106	46
1	54	45	28	74	11	40	19	113	69
65	85	99	39	89	21	44	27	138	70
83	120	118	10	110	76	58	47	172	92
25	143	122	17	127	125	114	50	2	117
Tiroir 3					Tiroir 4				
132	80	12	101	129	26	111	24	91	104
164	109	35	103	158	36	148	43	155	108
165	124	84	105	162	63	151	53	177	116
169	140	90	112	163	81	180	62	4	157
178	144	94	115	176	100	18	73	23	179
32	149	98	121	6	107	20	79	52	48
Tiroir 5					Tiroir 6				
51	135	139	15	126	31	123	97	82	33
64	14	141	22	128	42	145	119	57	86
75	29	174	37	133	61	154	134	146	156
88	60	5	78	152	66	7	59	171	56
130	67	9	87	161	49	8	68	71	160
131	136	13	93	167	96	38	77	142	137

Figure III-10 Heuristique 2-Configuration 3

Résultats d'affectation :

Le nombre des couples incompatibles dans des emplacements voisins est : 199 couples.

III.5.3.3 Heuristique 03 :

Après l'exécution du programme d'affectation on obtient la configuration des 6 tiroirs suivante (fig III-11) :

Heuristique1									
Tiroir 1					Tiroir 2				
170	110	153	11	1	83	3	19	47	102
55	91	23	116	76	40	51	130	29	95
72	155	52	157	125	44	64	131	60	106
74	177	104	179	166	58	75	135	67	113
89	4	108	48	30	114	88	14	136	138
173	127	175	21	65	25	16	27	50	41
Tiroir 3					Tiroir 4				
54	69	92	132	120	150	144	12	84	45
172	139	9	37	165	80	126	161	61	94
2	141	13	78	169	109	128	167	66	98
34	174	15	87	178	124	133	31	49	101
46	5	22	93	32	140	152	42	96	103
85	70	117	164	143	168	149	35	90	99
Tiroir 5					Tiroir 6				
118	129	162	176	147	28	151	18	24	10
105	123	8	134	26	100	82	71	156	53
112	145	38	59	36	107	57	142	56	62
115	154	97	68	63	111	146	33	160	73
121	7	119	77	81	148	171	86	137	79
122	158	163	6	159	39	180	20	43	17

Figure III-11 Heuristique 3- Configuration 3

Résultats d'affectation :

Le nombre des couples incompatibles dans des emplacements voisins est : 199 couples.

Résultats de 10 essais pour la 3ème configuration (180 médicaments) :

Tableau III-7 Résultats de configuration 3

Essais Heuristique	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Moyenne
1	212	205	225	204	212	203	216	190	203	223	209.3
2	201	203	197	206	216	198	209	209	222	203	206.4
3	199	200	193	194	200	214	215	188	209	211	202.3

Résultats finales des trois heuristiques appliquées sur les trois configurations :

Le tableau III-8 donne les moyennes de 100 essais des 3 heuristiques appliquées sur les trois configurations (30, 120,180).

Tableau III-8 Résultats de 100 essais

Heuristique Configuration	Heuristique 1	Heuristique 2	Heuristique 3
1	29,7	29,9	28,8
2	134.2	135.6	130.7
3	205.4	207.4	200.8

Résultats et discussions :

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

- 1- Génère aléatoirement une matrice de similitude entre n (30, 60, 90, 120, 150,180,...) médicaments.
- 2- Calcule la matrice d'incompatibilité selon un seuil choisit. (le seuil choisit entre le 0 et 1).

3- Faire leurs affectations dans une armoire de dispensation composé de plusieurs tiroirs (à savoir le nombre de médicaments : nombre de tiroir = nombre de médicaments / 30) selon les trois méthodes précédentes : directe, par classement en ordre décroissant et l'heuristique 3 (remplissage des coins ensuite le remplissage entre les coins, après le remplissage au centre).

4- Après la fin de l'affectation, ce programme va calculer le nombre des médicaments incompatibles situés dans des emplacements voisins.

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.

On considère $n = 30$:

Alors le nombre de tiroir = 1 ($30 / 30 = 1$).

Les résultats obtenus par ce programme sont représenté dans le tableau III-9 :

Tableau III-9 Configuration de seuil

Seuil / Heuristique	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	Moyenne
Heuristique 1	34	32	36	27	20	25	17	18	17	14	24
Heuristique 2	39	31	35	30	21	23	17	16	20	15	24.7
Heuristique 3	33	26	30	28	20	21	17	14	19	16	22.4

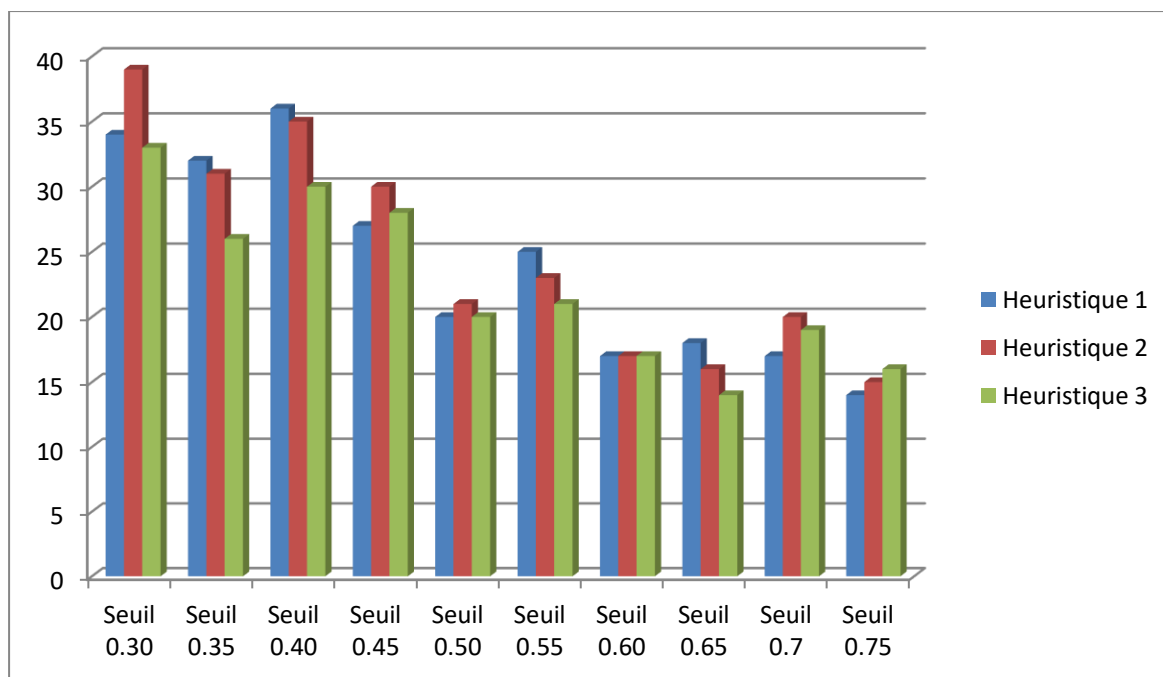


Figure III-12 Diagramme de configuration de seuil

D'après ce graphe (fig III-12) 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 donne légèrement de meilleurs résultats en termes de nombre de couples incompatibles qui est inférieur à celui de la deuxième heuristique (affectation après classement en ordre décroissant) et la première heuristique (affectation directe).

Conclusion

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

- La configuration de l'armoire c'est-à-dire les dimensions et le nombre des emplacements de chaque tiroir.
- Le seuil choisit 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

Conclusion générale

Depuis plusieurs années, la sécurisation du circuit du médicament est devenue une priorité majeure des autorités de santé publique.

Le projet d'implantation d'armoires automatisées dans les services de soins s'est inscrit dans la continuité de l'amélioration du circuit de médicaments.

De plus, la réduction des risques liés à l'utilisation des médicaments est maintenant une prérogative des établissements de santé.

Ce travail a permis de montrer de façon concrète les différents intérêts des armoires automatisées dans la sécurisation du circuit du médicament, celles-ci permettent également une gestion optimisée et en temps réel des stocks des services de soins sans augmentation conséquente du personnel pharmaceutique.

Selon les difficultés rencontrés dans la dispensation de médicaments est 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.

L'affectation des différents médicaments existants aux compartiments de chaque tiroir doit respecter la contrainte d'incompatibilité entre les couples de médicaments, sachant qu'il existe des médicaments qu'il ne faut pas placer dans des cellules 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.

Dans ce travail, on a développé une heuristique efficace pour traiter le problème d'affectation de médicament aux différents compartiments du tiroir d'une armoire automatisée de dispensation.

Pour ce faire, on a développé un programme VBA 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 étude par simulation a montré que la troisième heuristique donne les meilleurs résultats par rapport aux deux premières heuristiques.

Malgré cela, 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.

Bibliographie

- [1] Pharmacologie thérapeutiques/le circuit du médicament Disponible sur <https://www.fiches-ide.fr/cours/ue-2-sciences-biologiques-medicales/ue-2-11-pharmacologie-therapeutiques/le-circuit-du-medicament/> (Consulté le 10/04/2021)
- [2] Fiche thématique-Organisation du circuit du médicament en établissement de santé (2005). [En ligne]. Disponible sur le site Web :https://www.infirmiers.com/pdf/circuit_medicament_fiche.pdf (Consulté le 06/04/2021)
- [3] Le circuit du médicaments en établissement [En ligne] Disponible sur le cite Web <https://www.macsf.fr/responsabilite-professionnelle/Actes-de-soins-et-technique-medicale/circuit-medicament-etablissement-sante> par Stéphanie Tamburini, Juriste MACSF (26.05.2021).
- [4] Haute Autorité de la Santé (HAS) - Fiche thématique : Organisation du circuit du médicament en établissement de santé - HAS / DACEPP / Service de l'accréditation / 2005.
- [5] prise en charge thérapeutique du patient hospitalisé - Document de travail - Direction de l'Hospitalisation et de l'Organisation des Soins - Qualité et sécurité des soins en Établissements de santé - DHOSIE2 (février 2012)
- [6] Introduction à l'EBM. [En LIGNE] Disponible sur le cite web <http://www.ebm.lib.ulg.ac.be/prostate/ebm.htm>; (Consulté 03/042021)
- [7] Code de la Santé Publique : Nouvelle partie législative, Chapitre 4 : Pharmacies à usage intérieur, article L. 5126-5 (02 juin 2008)
- [8] référentiel de pharmacie hospitalière sous l'égide de la Société française de pharmacie clinique, 1 997.
- [9] Circulaire 666 du 30 janvier 1 986 - relative à la mise en application des pratiques de bonne dispensation des médicaments en milieu hospitalier - BO 86- 11 bis (janvier 1 986).
- [10]Calop 1., Bontemps H., Grain F. Préparation à l'accréditation du circuit du médicament. Les essentiels de l'APHIF, janvier 1 999 .
- [11] Brigitte SABATIER, INFORMATISATION ET AUTOMATISATION DU CIRCUIT DU MÉDICAMENT À L'HOPITAL : QUELS ENJEUX ?- thèse soutenue le 19 juin 2001
- [12] SCHMITTE., Le risque médicamenteux nosocomial : circuit hospitalier du médicament et qualité des soins, Paris : masson ; 1 999
- [13] Code de la Santé Publique : Nouvelle partie législative, Chapitre 4 : Pharmacies à usage intérieur, article L. 5126-5 (17 janvier 2018)
- [14] Déconditionnement primaire en pharmacie hospitalière : processus et évaluation de l'efficacité – Suzie DEPPEZ - Thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie – 2014

- [15] SABATIER Brigitte, CHEVALLIER Alain ; Automatisation en Pharmacie Hospitalière, quels outils pour quels établissements ? - APHNET Lille - 3 avril 2008
- [16] Recommandations du CEDIT (comité d'évaluation et diffusion des innovations technologiques française). Réf 02.15/ RE1/04.(2004)
- [17] Intérêt de l'automatisation de la distribution du médicament – méthode de comparaison des technologies disponibles sur le marché français – E. Raingeard and al - Le pharmacien Hospitalier et clinicien 2012 ;
- [18] Circuit du médicament : les automates de cueillettes- le moniteur hospitalier n°154 – mars 2003
- [19] Les stockeurs rotatifs de médicaments GIROPHARMA. [En ligne]. Disponible sur https://www.electroclass.com/web/sante/produits/stockeur-rotatif_medicaments/giropharma.htm (Consulté le 25/05/2021)
- [20] Impacts de la robotisation sur le métier de préparateur. [En ligne]. Disponible sur https://www.aphif.fr/files/presentations_stage_3_a_du_14_15_octobre_2019/automatisation_-_la_place_du_preparateur-_b_dejean.pdf
- [23] Gerevic P. Automatisation de la préparation de monodoses buvables, Mémoire- Thèse de DES de pharmacie hospitalière et des collectivités, Université de Paris Sud Chatenay-Malabry, 18 novembre 1 999
- [24] Arrêté du 31 mars 1 999 relatif à la prescription, à la dispensation et à l'administration des médicaments soumis à la réglementation des substances vénéneuses dans les établissements de santé, les syndicats interhospitaliers et les établissements médico_sociaux disposant d'une pharmacie à usage intérieur mentionnés à l'article L. 595-1 du code de la santé publique - JO du 0 1/04/99 - Texte intégral
- [25] Mac Kenney JM., Wasserman AI Effect of advancedpharmaceuticalservices on the incidence of adverse drugreactions. Am. J. Hosp. Pharm., 1 979 ; 36 : 1 691- 1 697.
- [26] Gentes P. Réflexion sur la mise en place d'une dispensation nominative automatisée dans un hôpital général. Mémoire de DES de pharmacie hospitalière et des collectivités, Université Paris V René Descartes, 21 novembre 1 994
- [27] Athos Dosys- Automatic Dispensing Cabinet <https://pdf.medicalexpo.com/pdf/apd-sa/athos-dosys-automatic-dispensing-cabinet/106000-189216.html> (2021)
- [28] Parata, Max and Max Flex are trademarks or registeredtrademarks of ParataSystems, [En ligne] Disponible sur www.parata.com. LLC (2014)
- [29] Willach Group. [En ligne] disponible sur le cite Web www.willach.com (consulté le 04 mai 2021) .

- [30] Utilisation optimale des cabinets automatisés décentralisés :le point sur les risques de détournement des substances désignées.[En ligne] Disponible sur le site Web <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5407421/#> (28 avril 2017)
- [31] PHARMAX-Présentation [En ligne]. Disponible sur <https://youtu.be/mMxLrn6D-BU> (24août 2015)
- [32]. Société.com « PHARMAX (ROQUEBRUNE SUR ARGENS) Chiffre d'affaires, résultat, bilans sur SOCIETE.COM ». [En ligne]. Disponible sur <http://www.societe.com/societe/pharmax-337622716.html>. (consulté le 25 mars 2015)
- [33] Pharmax « Historique de l'entreprise Pharmax: Fabricant d'automates, de robots et de colonnes tiroirs pour pharmacie ». [En ligne]. Disponible sur : <http://pharmax.fr/historique>. (consulté le 21 novembre 2014)
- [34] Présentation du ROWA VMAX-Robot / Systèmes d'automatisations pour les pharmacies- BD. [En ligne] Disponible sur <https://youtu.be/7v7kt7I2A4A> (06 mars 2017)
- [35] ARX « Revue Technique RowaVmax »(02 juillet 2010)
- [36] Tecnilab Dream Tec. Pharmacy stock automation and dispensing systems.mpg. [En ligne] Disponible sur <https://www.youtube.com/watch?v=VWhROcq03GI> (24 février 2012)
- [37]. Tecnilab« DreamTec - Tecnilab ». [En ligne]. Disponible sur <http://www.tecnilab.com/fra/automatisation-pour-pharmacies-et-hopitaux/dreamtec.html>. (consulté le 12 octobre 2014).
- [38] Taibi, H.T et Remali Othman, Développement d'une méthode optimale d'affectation de médicaments dans une armoire automatisée de dispensation. Projet de fin d'études de Master Génie Industriel, IMSI, Université d'Oran 2, 2017.
- [39] Pazour, J. A., & Meller, R. D. A multiple-drawer medication layout problem in automated dispensing cabinets. Health care management science, 15(4), 339-354. (2012).

Annexes

Annexe 1 : Déclaration des variables

```
Sub prog()  
Dim n As Integer 'le nombre de médicaments  
Dim nbr As Integer ' La sommé d'incompatibilité  
Dim m As Single ' Le seuil  
Dim s As Integer ' le nombre de tiroir  
Dim k As Integer ' le compteur de s ( nombre de tiroir )  
Dim c As Integer ' compteur pour le remplissage des coins de tiroir  
Dim x As Integer ' compteur pour remplissage de feuille 2  
Dim y As Integer ' compteur pour remplissage de feuille 2  
Dim z As Integer ' Compteur pour le remplissage entre les coins de tiroir  
Dim t As Integer ' Compteur pour le remplissage au milieu de tiroir  
Dim e As Integer  
Dim r As Integer  
Dim w As Integer
```

Annexe 2 : Créer la matrice de similitude

```
' Créer La matrice de similitude
```

```
Sheets("Feuill").Cells.Clear  
Sheets("Feuil2").Cells.Clear  
Feuill.Activate  
Cells(1, 1) = "Sij"
```

```
For i = 1 To 1  
For j = 2 To n + 1  
Cells(i, j) = j - 1
```

```
Next
```

```
Next
```

```
For j = 1 To 1  
For i = 2 To n + 1  
Cells(i, j) = i - 1
```

```
Next
```

```
Next
```

```
Cells(n + 5, 1) = "Iij"
```

```
For i = n + 5 To n + 5
```

```
For j = 2 To n + 1
```

```
Cells(i, j) = j - 1
```

```
Next
```

```
Next
```

```
For j = 1 To 1
```

```
For i = n + 6 To (2 * n) + 5
```

```
Cells(i, j) = i - n - 5
```

```
Next
```

```
Next
```

Annexe 3 : Créer La matrice d'incompatibilité

```
Dim A() As Variant
ReDim A(n, n)
m = InputBox("Entrer la valeur de m")
For i = 1 To n
    For j = 1 To n
        A(i, j) = Cells(i + 1, j + 1)

    Next j
Next i

For i = 1 To n
    For j = 1 To n
        If A(i, j) >= m Then
            Cells(i + n + 5, j + 1) = 1
        Else
            Cells(i + n + 5, j + 1) = 0
        End If
    Next j
Next i
```

Annexe 4 : Créer un tiroir

```
' Créer une tiroir

s = n / 30

ligne = 0
For k = 1 To s
    For i = 3 To 8
        For j = 1 To 5
            With Feuil2.Cells(i + ligne, j).Interior
                .Color = RGB(255, 187, 187)
            End With
        Next
    Next
    ligne = ligne + 8
Next
```

Annexe 5 : Créer l'heuristique 1

```
Feuil2.Cells(1, 22) = "Heuristique1"

    With Feuil2.Cells(1, 22).Interior
        .Color = RGB(160, 202, 251)
    End With
    With Feuil2.Cells(1, 23).Interior
        .Color = RGB(160, 202, 251)
    End With
    With Feuil2.Cells(1, 24).Interior
        .Color = RGB(160, 202, 251)
    End With

Feuil2.Cells(2, 27) = "Tri"
    With Feuil2.Cells(2, 27).Interior
        .Color = RGB(198, 221, 248)
    End With

For i = n + 6 To (2 * n) + 5
    For j = 2 To n + 1

        Feuil2.Cells(i - n - 3, 27) = Feuill1.Cells(i, 1) 'medicament

        With Feuil2.Cells(i - n - 3, 27).Interior
            .Color = RGB(198, 221, 248)
        End With

    Next
Next
```


Annexe 6 : Créé l'heuristique 2

```
Feuil2.Cells(1, 12) = "Heuristique2"

    With Feuil2.Cells(1, 12).Interior
    .Color = RGB(183, 225, 157)
    End With
With Feuil2.Cells(1, 13).Interior
    .Color = RGB(183, 225, 157)
    End With
With Feuil2.Cells(1, 14).Interior
    .Color = RGB(183, 225, 157)
    End With
Feuil2.Cells(2, 17) = "Tri"
    With Feuil2.Cells(2, 17).Interior
    .Color = RGB(195, 251, 160)
    End With

For i = n + 6 To (2 * n) + 5
For j = 2 To n + 1

    Feuil2.Cells(i - n - 3, 17) = Feuill1.Cells(i, n + 4) 'medicament

    With Feuil2.Cells(i - n - 3, 17).Interior
    .Color = RGB(195, 251, 160)
    End With

Next
Next
```

Annexe 7 : Créer l'heuristique 3

```
Feuil2.Cells(1, 12) = "Heuristique2"

    With Feuil2.Cells(1, 12).Interior
        .Color = RGB(183, 225, 157)
    End With
    With Feuil2.Cells(1, 13).Interior
        .Color = RGB(183, 225, 157)
    End With
    With Feuil2.Cells(1, 14).Interior
        .Color = RGB(183, 225, 157)
    End With
    Feuil2.Cells(2, 17) = "Tri"
        With Feuil2.Cells(2, 17).Interior
            .Color = RGB(195, 251, 160)
        End With

For i = n + 6 To (2 * n) + 5
    For j = 2 To n + 1

        Feuil2.Cells(i - n - 3, 17) = Feuill.Cells(i, n + 4) 'medicament

        With Feuil2.Cells(i - n - 3, 17).Interior
            .Color = RGB(195, 251, 160)
        End With

    Next
Next
```

