

وزارة التعليم العالي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

Ex

## ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : Génie Industriel

### PROJET DE FIN D'ETUDES

En Vue de l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat

#### S U J E T

Procédure d'Optimisation de l'Espace  
de Stockage d'un Magasin

Proposé par :

E.N.M.G.P.

UMP - 317

Etudié par :

S. BENHALLA

M. BOUKRABA

Dirigé par :

Dr S. SALHI

PROMOTION : Juin 1989

وزارة التعليم العالي  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

## ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : Génie Industriel

### PROJET DE FIN D'ETUDES

En Vue de l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat

#### S U J E T

Procédure d'Optimisation de l'Espace  
de Stockage d'un Magasin

Proposé par :

E.N.M.G.P.

UMP - 317

Étudié par :

S. BENHALLA

M. BOUKRABA

Dirigé par :

Dr S. SALHI

PROMOTION : Juin 1989



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

-----  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
-----



DEPARTEMENT : GENIE INDUSTRIEL

-----  
PROMOTEUR : Dr S. SALHI

-----  
ELEVES INGENIEURS : Melle S. BENHALLA  
Mr M. BOUKRABA

SUJET : PROCEDURE D'OPTIMISATION DE L'ESPACE DE  
----- STOCKAGE D'UN MAGASIN.

RESUME : Un problème typique de magasinage d'affectation  
----- optimale de produits à des casiers est étudié. Il a été formulé en un problème linéaire en nombres entiers, puis une heuristique efficace a été développée pour les problèmes de tailles importantes. Une comparaison explicite est présentée, pour les problèmes de tailles réduites. Cette méthode a été aussi appliquée aux données réelles fournies par l'UMP-317 de l'E.N.M.G.P d'Alger.

SUBJECT : A COMPUTERISED PROCEDURE FOR DETERMINING THE  
----- MINIMUM USED SPACE IN A WAREHOUSE

ABSTRACT : A typical warehousing problem where several  
----- products have to be assigned to a certain number of boxes in an effective way is investigated. The problem is first formulated as an integer programme and then an effective heuristic procedure is devised to deal with problems of important size. Explicit computational comparison for small sized problems. The present method is also tested on real data provided by E.N.M.G.P plant in Algiers.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

A mes parents  
A mon oncle  
A mes frères et soeurs  
A toutes mes amies  
A la promotion 89 du Genie industriel.

S. BENHALLA

A mes parents  
A mes frères et soeurs  
A mes amis  
A la promotion 89 du G. Industriel  
Aux résidents de C.U.B.A.

M. BOUKRABA



## R E M E R C I E M E N T S

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements au Dr SALHI pour avoir accepté de diriger ce travail. Nous le remercions aussi pour les conseils éclairés qu'il nous a prodigués.

Qu'il nous soit permis d'évoquer les intéressantes discussions que nous avons eu avec les gestionnaires du service gestion de stock. Nos pensées vont en particulier à Mr MESBAH et Mr ALLAM.

Que tous les Enseignants qui ont contribué à notre formation trouvent ici notre reconnaissance et nos plus vifs remerciements.

Nous remercions profondément Mr SARI, responsable du centre de calcul, pour son dévouement et sa présence permanente auprès de nous.

Nous ne saurons oublier tous ceux qui par leur amicale collaboration ont aidé à la progression de notre travail.

## S O M M A I R E

### INTRODUCTION

### CHAPITRE 1 : DEFINITION DU PROBLEME

#### 1.1 : PRESENTATION DE L'UNITE

- 1.1.1 - Activité de l'Unité 6
- 1.1.2 - Présentation du service approvisionnement 6

#### 1.2 : SITUATION ACTUELLE DU MAGASIN ET DEFINITION DU PROBLEME

- 1.2.1 - Gestion d'un magasin de stockage 8
- 1.2.2 - Situation actuelle du magasin 13
- 1.2.3 - Définition du problème 14

### CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE

#### 2.1 - FORMULATION DU PROBLEME

- 2.1.1 - Fonction objectif 16
- 2.1.2 - Contraintes 20

#### 2.2 - METHODES DE RESOLUTION

- 2.2.1 - Méthode exacte 22
- 2.2.2 - Méthode heuristique 23

### CHAPITRE 3 : PROBLEMES TESTS ET APPLICATIONS

#### 3.1 : PROBLEMES TESTS

- 3.1.1 But 32
- 3.1.2 Résultats et interprétations 33

#### 3.2 APPLICATION AU PROBLEME REEL

- 3.2.1 Collecte des données 37
- 3.2.2 Application 37

### CHAPITRE 4 : CONCLUSION ET SUGGESTIONS

- 4.1 EXTENSIONS DU PROBLEME 50
- 4.2 CONCLUSION 54
- 4.3 SUGGESTIONS 55

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

- |  |    |
|--|----|
| 1 - Procédure d'une variante de l'heuristique            | 59 |
| 2 - Deuxième approche de résolution                      | 60 |
| 3 - Compléments sur les types de gestion de stock        | 62 |
| 4 - Programme Basic de génération des nombres aléatoires | 64 |
| 5 - Programme Basic de l'heuristique                     | 65 |



## INTRODUCTION

La gestion matérielle des stocks revêt une importance primordiale d'autant plus qu'elle représente une partie indissociable de la politique de gestion des stocks. C'est une fonction omniprésente dans la production et la distribution. Elle octroie au magasin un rôle de régulation.

Aussi, l'intérêt stratégique de la gestion d'un magasin appelle à une conduite rigoureuse et une organisation rationnelle de ses moyens.

Partant de ce principe, le niveau de service sera l'indicateur de l'efficacité de la politique de gestion. Bien entendu, le problème de gestion rationnelle d'un magasin de stockage prend de l'ampleur chaque fois qu'une décision d'investissement s'impose. Le gestionnaire optera, a priori soit pour l'achat d'un nouveau matériel et l'augmentation de l'espace de stockage ou pour le recrutement d'un nouveau personnel. Cependant, ne serait-il pas plus judicieux de faire une révision de l'organisation des moyens existants pour illustrer leur taux d'utilisation dans le magasin?

C'est dans ce contexte que la présente étude, poursuit un objectif qui, d'une part contribue à l'amélioration du fonctionnement du magasin central de l'Unité UMP-317 de l'E.N.M.G.P et d'autre part, propose un outil de décision efficace pour assurer une bonne gestion de la capacité de stockage.

Après la présentation de l'Unité et du service approvisionnement, nous nous basons sur les règles principales de gestion d'un magasin pour illustrer la situation actuelle du service magasin de l'Unité.

La gestion du volume de stockage sera approchée par une formulation mathématique se présentant comme un problème linéaire en nombres entiers. Pour la résolution, une procédure heuristique a été développée et améliorée par des raffinages.

Au préalable, l'application est faite sur des problèmes tests afin d'évaluer l'heuristique proposée. Puis, le modèle élaboré a été adapté au problème réel posé par l'Unité.

## CHAPITRE 1 : DEFINITION DU PROBLEME

Révéler les niveaux d'exploitation et d'organisation d'un système est un préalable à la recherche d'un fonctionnement efficace. De ce fait, l'exploration de notre problème débutera par la présentation de l'Unité UMP-317 de l'E.N.M.G.P puis par une observation du mode de fonctionnement du magasin.

### 1.1 : PRESENTATION DE L'UNITE

#### 1.1.1 - ACTIVITE DE L'UNITE :

L'entreprise nationale de menuiserie générale et de préfabriqués E.N.M.G.P a été créée en 1983, à l'issue de la restructuration de la S.N.L.B (société nationale de liège et de bois). Ses unités réparties sur le territoire national alimentent des secteurs vitaux (l'agriculture, l'industrie et le bâtiment).

L'une d'elles l'UMP-317, implantée à Alger, oriente ses activités vers la fabrication des panneaux de façades, des murs rideaux, une gamme de construction modulaire dont le principe connaît aujourd'hui un large développement à travers le monde car elle répond aux nécessités d'édifier rapidement des bâtiments, des locaux scolaires et administratifs, soit une infrastructure indispensable à un développement global et harmonieux.

Sa capacité de production est de 45000 m<sup>2</sup>/sol (1) pour le préfabriqué et de 10000 m<sup>2</sup> pour la menuiserie générale qui englobe la production en portes et en fenêtres .

La matière première entrant dans la fabrication est le bois. Celle-ci est importée. De plus, plusieurs articles transitent dans le magasin principal comprenant en grande proportion la quincaillerie et les pièces mécaniques. C'est le service approvisionnement qui veille à la disponibilité continue de ces articles.

#### 1.1.2 - PRESENTATION DU SERVICE APPROVISIONNEMENT:

Ce service se subdivise en deux sections principales.

##### i) Section achats:

En raison de la nature des achats et surtout de la complexité des importations, cette section occupe une place prépondérante au sein du service.

---

(1): m<sup>2</sup>/ sol unité de mesure de préfabriqué.



Cette section se ramifie en :

- une sous section achats locaux;
- et une sous section importation.

ii) Section gestion de stocks:

Le service gestion de stocks représente une section de la fonction approvisionnement. Son rôle est important aussi d'autant plus que le stockage intervient aussi bien au niveau de la production qu'à celui de la distribution.

Ses objectifs sont:

- éviter les ruptures de stocks et les surstockages;
- permettre une bonne rotation des stocks;
- et maintenir un approvisionnement rentable.

La sous section magasin est dirigée par la section gestion de stocks.

Ses principales fonctions sont le magasinage et la manutention.

D'autres tâches lui sont attribuées:

- réceptionner les marchandises et leur placement dans les magasins;
- débloquer les marchandises suivant les besoins des utilisateurs;
- informer le chef de section des mouvements des stocks;
- décharger les marchandises achetées et les placer dans les aires de stockage qui leur sont réservées;
- acheminer vers les lieux d'utilisation les matières nécessaires au fonctionnement après leurs demandes par les utilisateurs;
- et préserver les stocks contre la détérioration.

Le magasin central de l'unité sera l'objet de la présente étude. Celle-ci approchera la résolution de l'un des problèmes préoccupant les responsables gestionnaires de ce service.

Ce problème est étroitement lié à la gestion efficace du magasin et à l'accomplissement des tâches lui incombant.



## 1.2 : SITUATION ACTUELLE DU MAGASIN ET DEFINITION DU PROBLEME

Pour présenter la situation du magasin considéré de l'unité, nous nous basons sur les éléments fondamentaux de la gestion d'un magasin.

### 1.2.1 - GESTION D'UN MAGASIN DE STOCKAGE:

#### 1.2.1.1 - Définition :

"Le magasin est l'endroit où le stock est conservé. Son rôle s'intègre dans la régulation de la production: la livraison de la matière demandée dans les meilleures conditions de qualité, de quantité et de temps"(Salin) [7].

"Les magasins constituent un transit entre les fournisseurs et les utilisateurs"(Zermati) [9].

#### 1.2.1.2 - Fonctions d'un magasin:

Ses principales fonctions sont la réception des livraisons (qualitative et quantitative), leur conservation et leur distribution. Ses gestionnaires doivent veiller aussi à la récupération des matériels rapportés que ce soit des déchets ou des articles immédiatement réutilisables et à l'élimination des surplus par l'utilisation prioritaire des articles stockés (premier entré premier utilisé).

#### 1.2.1.3 - Aménagement du magasin:

L'aménagement d'un magasin consiste en l'organisation efficace des moyens humains, matériels de façon à réaliser l'arrangement le plus productif, en prenant en considération la bonne circulation de l'information et la circulation des stocks.

#### Nomenclature et codification des articles:

La gestion des stocks porte sur des milliers d'articles d'origine très variée. Il en est ainsi des produits de grande consommation tel que la petite quincaillerie, des produits d'entretien, ou encore des stocks de pièces de rechange (c'est le cas pour un parc de matériel automobile).

La gestion de ces stocks se heurte à des difficultés dues au nombre important d'articles à gérer tel que la rotation élevée des stocks, l'appellation d'un produit sous une marque différente, selon l'origine de fabrication ou encore sa désignation en langue étrangère.

Une codification des articles trouve alors toute sa justification. Celle-ci reposera successivement sur leur dénombrement, leur spécification, leur classement puis enfin leur symbolisation selon un principe adéquat.

Principe de codification:

Les articles répertoriés dans la nomenclature des approvisionnements de l'entreprise seront classés en groupe, sous groupe, famille et position article. Chaque article recevra un numéro d'identification permettant de l'identifier sans équivoque possible et de le repérer rapidement, tant sur le plan physique qu'administratif.

La connaissance de l'adresse physique d'un produit facilite son accessibilité. Elle doit présenter son symbole d'identification du magasin, sa position dans l'espace du magasin (numéros du casier de l'allée et de la travée) [9].

Par exemple, l'adresse suivante X-B-2-220 / 66-00-40 signifie:

Article stocké au :	magasin	"X"
	allée	"B"
	travée	"2"
	casier	"220"
	code produit	"66-00-40"

Supports documentaires:

L'administration des stocks repose aussi sur un enregistrement, une exploitation méthodique et une circulation contrôlée de toutes les informations se rapportant aux entrées (réceptions) et sorties (consommations) de stocks. Elle nécessite l'emploi d'une gamme standard de supports documentaires

Ces supports doivent répondre aux besoins d'efficacité et d'organisation suivants:

- emploi d'une terminologie claire et précise;
- réduction et simplification des supports utilisés;
- circulation, exploitation et conservation convenables des informations concernées

Parmi ses supports documentaires, existent le bon de réception, la fiche casier, la fiche des stocks, le bon de sortie consommation, le bon de commande, etc. L'objet de la fiche casier et son exploitation sont définis comme suit:



### Objet:

La fiche casier est destinée à l'enregistrement et au contrôle des mouvements de stocks en quantité. Cette fiche doit présenter en permanence la situation du stock physique en unité de comptage.

### Exploitation:

Cette fiche doit être tenue à proximité immédiate de l'article dont elle relève les mouvements de stocks. Elle doit comporter notamment l'adresse physique de l'article, la nomenclature et la codification de l'article considéré.

### Rangement des stocks:

Les dispositions à adopter pour le rangement dépendent essentiellement de l'importance du magasin, des locaux et parcs dont on dispose et de leur agencement, et de l'importance des fréquences de mouvements des articles stockés.

Le magasinage coûte cher en place, en personnel et en détériorations. Les locaux et les mouvements doivent être donc organisés pour la meilleure facilité de stockage et de distribution au moindre coût.

De plus, le rangement des articles et de matériels entraîne directement une manutention manuelle ou une manutention mécanique utilisant des engins de transport qu'il faut, à tout moment contrôler et entreprendre sa réduction.

### Principes de stockage:

Les règles de stockage sont soumises au souci d'économie. Parmi celles-ci, on distingue la diminution des distances de transport, une exploitation rationnelle du matériel et une minimisation des mouvements.

L'adoption de ces principes conduit à:

- l'utilisation des locaux;
- l'amélioration de la sécurité;
- et au rendement de la main d'oeuvre.

La réalisation simultanée de ces conditions repose sur:

- l'étude de la répartition des aires de stockage de façon à détenir très accessibles les articles fréquemment demandés;
- la facilité de la circulation et le déplacement des engins de manutention et des personnes;



- la bonne répartition des lots d'articles courants qui peuvent être divisés en stock principal et stock excédent pour réduire la place occupée à proximité des guichets;
- l'identification des articles et leur emplacement pour permettre d'activer la recherche;
- une bonne disposition des articles lourds, encombrants ou difficiles à stocker pour réduire les manutentions;
- une organisation judicieuse de la distribution pour éviter les attentes;
- la conservation des produits;
- et la protection du lieu de magasinage.

L'ensemble de ces dispositions vise l'efficacité de l'organisation du magasin et concourt au maintien du rythme de la production.

#### Manutention dans un magasin:

##### Définitions:

- i) On désigne par manutention tous les mouvements et déplacements de matières, matériels, outillages et produits effectués pour leur mise en place à un poste d'utilisation, sur un moyen de production ou de transport sans en modifier la conformation (François) [5].
- ii) Les mouvements de stocks correspondent, comme ils l'indiquent, à des entrées de réception ou de cession soit à des sorties de consommation, de cession ou de livraison.

##### La manutention entraîne:

- une dépense d'énergie (manuelle ou mécanique);
- des pertes de temps augmentant les délais d'exécution;
- la mobilisation d'un personnel;
- l'investissement en matériel;
- l'immobilisation des emplacements;
- et l'encombrement des aires de circulations.

Elle peut être autant manuelle que mécanique.

### Manutention manuelle:

Quand le service se fait à la main, ce sont les mensurations du corps humain et la physiologie du corps au travail (ergonomie) qui règlent le stockage. Quand on analyse l'action par laquelle un magasinier de taille 1m70 cherche à prendre un objet, on trouve trois paramètres, voir [9].

- la situation de l'objet dans l'espace;
- le poids de l'objet;
- et la fatigue.

Si l'on superpose l'effet des trois paramètres énumérés, on trouve que dans le rayonnage, il faudrait ranger:

- entre 0.10 et 0.50m au dessus du sol les marchandises lourdes, longues, faisant l'objet de prélèvements rares;
- entre 0.50 et 1.00m les marchandises qui ne font pas l'objet de prélèvements trop fréquents (la zone fatigante);
- entre 1.00 et 1.50m les marchandises les plus demandées, c'est la meilleure zone de stockage;
- et entre 1.50 et 2.00m les objets longs et légers.

L'activité du magasinier notamment le manutentionnaire est mesurée par le nombre de mouvements effectués par jour ou par le nombre de kilomètres parcourus par jour.

#### 1.2.1.4 - Eléments d'analyse de l'activité d'un magasin:

En synthétisant ces différentes règles, on dégage quelques éléments permettant l'analyse du fonctionnement d'un magasin.

L'amélioration des stockages et des manutentions dans les magasins demandera donc une réflexion conjointe sur l'objet stocké, son rangement et le matériel de rangement utilisé.

Pour la nature des stocks, on doit distinguer les produits à risque d'explosion et les produits périssables afin de les conserver et de protéger le personnel magasinier.

Pour analyser la politique de rangements, on doit faire ressortir le plan de circulation révélant:

- le nombre de transports effectués;
- les poids transportés;
- les distances parcourues en plan et en hauteur, et les temps d'exécution de ces transports.



Enfin, pour le matériel de stockage, il est nécessaire d'adapter le matériel approprié aux objets stockés.

Ces éléments d'analyse serviront de base dans l'analyse de la situation du magasin considéré dans l'étude.

#### 1.2.2 - SITUATION ACTUELLE DU MAGASIN:

Objet:

Il s'agit de faire un constat de la situation actuelle du magasin quant à l'utilisation des moyens matériels, humains du magasin et son aménagement actuel. L'observation a permis de détecter les principaux points défailants dans la gestion du magasin.

##### (1)-aménagement du magasin:

Quel est le niveau d'organisation dans le magasin? Une question qui trouvera la réponse adéquate en observant le système magasin.

- le matériel de stockage utilisé, en l'occurrence des casiers, ne répond pas aux normes de stockage tels que la longévité, la solidité, la souplesse de construction et d'adaptation aux poids (résistance aux charges auxquelles ils sont soumis constamment) et à la résistance des casiers aux chocs. Ceci ne permet pas d'utiliser rationnellement la hauteur du magasin.

- les produits ne possèdent pas une adresse physique pour leurs casiers correspondants malgré l'existence de leur codification.

- l'observation des allées du magasin montre leur encombrement, de plus la seule issue du magasin ne facilite pas la manutention des stocks lors de leur réception et de leur livraison surtout pour les produits conditionnés en lots.

- l'emplacement des produits dans les différents casiers ne répond pas à la politique de magasinage : la livraison dans les meilleures conditions de délai, de qualité et de quantité des demandes du consommateur.

##### (2)- Gestion des articles:

Le magasin dispose d'un potentiel de stockage de 916 casiers répartis en trois travées latérales et une travée centrale. Plus de 2000 articles y sont stockés variant de produits entrant dans la fabrication aux matériels d'entretien des machines et des véhicules roulants utilisés par l'unité, quelques remarques concernant la gestion des articles méritent d'être signalées.



Certains produits présentent un emballage coûteux et volumineux (produits de faibles poids et de volumes très importants) notamment les articles importés) ou non conforme aux normes d'hygiène et de sécurité des stocks et du personnel magasinier (les pointes sont conditionnées en sacs). Ils entravent la facilité de la manutention.

Les quantités stockées ne sont pas déterminées par la politique de minimisation des coûts de gestion des produits, ce qui engendre des surstocks et par suite les frais de magasinage.

Parmi les articles stockés, existent des articles dont le taux de rotation est nul. Ils représentent donc un stock mort occupant un volume de stockage notamment pour les pièces mécaniques anciennes de véhicules roulants. Celles-ci occupent environ 20 % du potentiel total de stockage.

Certains articles présentent des variétés tel que les serrures. Une action pour leur réduction contribuera certainement à l'établissement d'une gamme normalisée et la facilité de l'approvisionnement (réduction du nombre de fournisseurs).

L'analyse des stocks existant dans le magasin permet de les diviser en deux parties:

- Stocks de produits entrant directement dans la fabrication tel que la quincaillerie, les outils et les outillages;
- Stock de matériel d'entretien tel que les pièces de rechange machine et en grande partie des pièces pour véhicules roulants.

Devant une situation où une grande population d'articles est à gérer, intervient le souci d'éviter à tout moment les surstocks, les pénuries ainsi que l'exploitation non effective du matériel et de la capacité de stockage.

### 1.2.3 - Définition du problème:

L'importance du problème à étudier peut être mise en évidence en se référant au système entier considéré qui est le magasin.

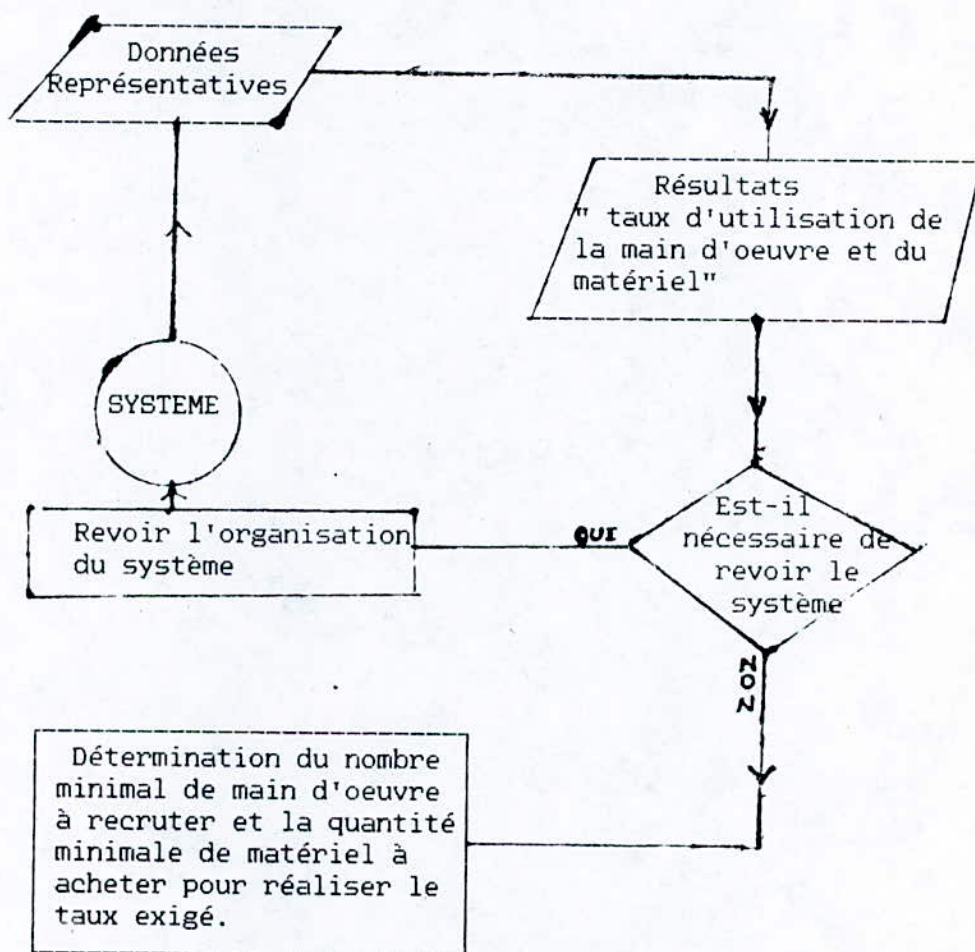
Le gestionnaire ou le décideur se trouve constamment confronté à des situations de choix. Une action immédiate sera entreprise, elle concerne l'évaluation de l'ampleur du problème.

L'observation du système illustre son mode de fonctionnement. Il s'agira, par exemple, d'évaluer les taux d'utilisation de la main d'oeuvre et du matériel. Elevés, ceux-ci nécessitent a priori une révision soit en recrutant d'autres travailleurs ou en achetant un nouveau matériel. Cependant, cette opportunité d'investissement a reposé sur un calcul technique. Ne s'agit-il pas réellement de décider un investissement organisationnel?

Une réflexion plus profonde sur le système révélerait la source du problème. Les défaillances du système magasin ne seront mises en évidence que par une observation du système global. Celles-ci pourraient être dues à une insuffisance de la diffusion de l'information (moyens de contrôle) et à une non maîtrise du facteur temps, voir figure 1.1.

Ainsi, le problème principal que nous allons explorer dans le magasin central de l'Unité sera de proposer une méthode de rangement des stocks, contribuant à y améliorer le niveau de service et à réaliser un taux effectif d'exploitation des moyens.

Figure 1.1 : Evaluation d'un système.



Dans ce chapitre, les activités principales d'un magasin de stockage ont été présentées dans le but de pouvoir déceler les défaillances dans le fonctionnement du magasin central de l'UMP-317. Nous y avons relaté essentiellement l'effet de la manutention et la nécessité de sa réduction.



## CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE

L'ensemble des constatations précédentes reflètent les différents problèmes dans le magasin et révèlent, particulièrement, la nécessité d'accorder une attention accrue à la gestion rationnelle des ressources matérielles notamment la disposition des produits dans les casiers et l'utilisation optimale du potentiel de stockage.

Nous approchons sa formulation par la programmation linéaire en nombres entiers puis nous suggérons une procédure heuristique s'adaptant aux magasins à grande capacité de stockage.

### 2.1 - FORMULATION DU PROBLEME:

Le problème de l'exploitation rationnelle des moyens de stockage revêt une grande importance. Il représente un sous problème de la politique de minimisation des coûts de gestion des stocks par suite la minimisation des coûts de stockage et de distribution à partir d'un magasin.

Dans le problème à formuler, il s'agit de gérer aux mieux la capacité de stockage du magasin central. Celui ci utilise un stockage par casier. Donc, nous serons amenés à optimiser le volume de stockage autrement le nombre de casiers ou de minimiser l'espace inutilisé dans les casiers.

Nous utilisons l'approche stipulant que plus les produits occasionnent plus de mouvements, plus ils sont accessibles facilement, en terme de temps, pour illustrer l'effet de la disposition géographique des produits demandés sur le niveau de service.

#### 2.1.1 Fonction objectif:

Il s'agit d'assigner des produits différents, de grandeurs différentes dans des unités de stockage (caisses, casiers, ...). Le but est de minimiser le temps d'accession à ces produits pendant une période, chaque unité ayant une capacité donnée, tel que les contraintes de capacité soient respectées et le nombre d'unités de stockages minimum.

Le problème considéré est le problème du chargement connu sous le nom de "Loading Problem" où on a à affecter des produits à des unités de stockage. Cette unité de stockage peut être un véhicule, un bateau, un magasin ou encore un conteneur, où on place des produits de volumes différents, voir Eilon, Christofides et Watson-Gandy [4].



Une supposition est faite telle que les capacités des produits soient additives d'où la nécessité d'avoir une même unité de mesure des grandeurs de produits (poids, longueur, monnaie, ou volume).

Plusieurs objectifs peuvent être adoptés pour optimiser le volume de stockage.

(i) Objectif sur les produits:

Minimiser le nombre de produits non placés dans les unités de stockage.

(ii) Objectifs sur les unités de stockage:

- Minimiser le nombre d'unités de stockage utilisés;
- Minimiser l'espace inutilisé de l'espace partiel utilisé.

(iii) Objectif combiné:

Minimiser la somme pondérée de la valeur des unités de stockage et la valeur des produits non placés.

(iv) Objectif sur les temps d'accès aux produits:

Minimiser la somme des temps d'accès aux produits sachant leurs fréquences moyennes de mouvements et les temps d'accès aux différents casiers.

Dans notre travail, c'est l'objectif (iv) qui est considéré.

Formulation:

Dans toute la formulation, le signe "\*" indique le signe multiplicateur.

Assigner "n" produits de grandeurs connues  $v(j)$   $j=1, \dots, n$ , dans des unités de stockage, chaque unité ayant une capacité  $VC(i)$   $i=1, \dots, m$  telles que les contraintes de capacité soient respectées, et le nombre d'unités de stockage minimum. "m" dénote le nombre maximal de ces unités de stockage (une valeur large).

Deux situations peuvent se présenter (S1 et S2) :

S1: Tous les produits peuvent être stockés.

$$\sum_{i=1}^m VC(i) \geq \sum_{j=1}^n v(j)$$

S2: Les produits ne sont pas tous stockés.

$$\sum_{i=1}^m VC(i) < \sum_{j=1}^n v(j)$$

Quelle que soit la situation (S1 ou S2) dans laquelle le magasin considéré se trouve, l'objectif sera toujours de déterminer le potentiel de stockage nécessaire.

L'objectif consiste en la minimisation du temps d'accès aux produits dans leurs casiers correspondants sachant leurs fréquences de mouvements. Donc, plus les produits occasionnent des mouvements plus ils sont accessibles, en moins de temps, par le magasinier.

Nous supposons que le magasinier honore les commandes de produits l'une après l'autre.

Soient:

"n" le nombre de produits dans le magasin,

"m" le nombre de casiers existant dans le magasin,

"VC" le volume d'un casier (supposé constant),

"i" l'indice des casiers, "j" l'indice des articles,

t(i) le temps d'accession au casier "i";  $i = 1, \dots, m$ ,

v(j) le volume associé à l'article "j";  $j = 1, \dots, n$ ,

et f(j) la fréquence moyenne de sortie de l'article "j" pendant une période donnée (généralement un mois). Elle représente pratiquement le nombre de bons de sortie délivrés pendant cette période;  $j = 1, \dots, n$ .

Soit:

$$y(j) = [ ( v(j)/VC ) ] \quad ; \quad j=1, \dots, n$$

( [ x ] donne la valeur entière de x )

$$v'(j) = v(j) - y(j) * VC \quad ; \quad j=1, \dots, n$$

$$0 \leq v'(j) \leq VC$$

y(j) est le nombre entier de casiers associé au produit "j".

v'(j) est le volume du produit j inférieur au volume d'un casier, donc ne pouvant être accommodé dans le volume entier VC.



Les fractions  $v'(j)$  des produits "j" vont être placés dans le voisinage des "y(j)" casiers remplis entièrement soit à gauche ou à droite. Puisqu'il existera des casiers regroupant plusieurs produits et des casiers contenant un même produit, il sera possible de subdiviser un casier en mini casiers de volumes plus petits et de combiner un nombre fini de casiers.

La rigidité du volume d'un casier existe mais elle pourrait être évitée, pour des raisons économiques, en adoptant le principe de subdivision ou de combinaison de casiers.

Soient:

$N(1)$  est le nombre de casiers ayant été remplis entièrement.

$$N(1) = \sum_{j=1}^n y(j)$$

$N(2)$  est le nombre minimal de casiers nécessaire pour les fractions  $v'(j)$  de VC;  $j=1, \dots, n$ .

$N = N(1) + N(2)$  est le nombre minimal total de casiers.

Minimiser "N" revient à minimiser  $N(2)$ .

Soit la variable booléenne :

$$X(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{si le produit "j" est dans le casier "i"} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$j=1, \dots, n \quad i=1, \dots, m$

La fonction objectif sera:

$$Z = \sum_{i=1}^m (t(i) \sum_{j=1}^n f(j) * X(i,j))$$

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c(i,j) * X(i,j) \quad \text{tel que} \quad c(i,j) = t(i) * f(j)$$

$c(i,j)$  représente un temps pondéré pour l'accession au produit "j" dans le casier "i".

### 2.1.2 Les contraintes:

#### i) Contrainte de capacité:

La somme des volumes des produits mis dans un même casier ne doit pas dépasser le volume d'un casier soit:

$$\sum_{j=1}^n v'(j) * X(i,j) \leq VC \quad ; \quad i=1, \dots, m$$

Nous pouvons facilement généraliser le modèle en considérant la même contrainte de capacité sauf que les volumes des casiers sont différents. Cette contrainte se présente comme suit:

$$\sum_{j=1}^n v'(j) * X(i,j) \leq VC(i) \quad ; \quad i=1, \dots, m$$

#### ii) Chaque produit peut être affecté à un casier seulement

$$\sum_{i=1}^m X(i,j) = 1 \quad ; \quad j=1, \dots, n$$

#### Formulation du problème:

Le problème linéaire en nombres entiers peut être formulé comme suit:

$$\begin{array}{l} \text{(P)} \left\{ \begin{array}{l} \text{MIN} \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c(i,j) * X(i,j) \quad (1) \\ \text{sous contraintes} \\ \sum_{j=1}^n v'(j) * X(i,j) \leq VC \quad ; \quad i = 1, \dots, m \quad (2) \\ \sum_{i=1}^m X(i,j) = 1 \quad ; \quad j = 1, \dots, n \quad (3) \\ X(i,j) = 0 \text{ ou } 1 \quad ; \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, m \\ j = 1, \dots, n \end{array} \quad (4) \end{array} \right. \end{array}$$

avec  $c(i,j) = t(i) * f(j)$



### Contraintes additionnelles:

Pratiquement, il est possible de mettre plusieurs produits dans un même casier ou encore il est obligatoire de séparer les produits incompatibles (produits inflammables ou produits explosifs). Nous formulons ces contraintes suit.

- i) Si un produit "j1" ne peut pas être mis avec un produit "j2" dans un même casier "i", alors:

$$X(i,j1) + X(i,j2) \leq 1$$

Plus généralement, si un certain nombre de produits ne peut être mis dans un même casier "i", on aura la contrainte :

$$\sum_{k \in E(r)} X(i,k) \leq 1$$

où

$E(r)$  est l'ensemble de produits qui ne peuvent se mettre ensemble.

"r" est le nombre de classes possibles de ces articles.

- ii) Chaque casier peut recevoir un seul produit.

$$\sum_{j=1}^n X(i,j) = 1 ; \quad i = 1, \dots, m.$$

Ici, "n" casiers vont être utilisés et le problème se transforme en l'emplacement des différents produits, surtout si nous considérons un magasin de taille très importante.

- iii) Si un produit "j1" ne peut être affecté à un casier "i1", alors:

$$X(i1,j1) = 0$$

Ceci existe quand certains produits ne peuvent pas occuper une zone particulière du magasin, vu leurs natures, notamment par mesure de sécurité.

- iv) Si le nombre maximal de produits dans un casier donné est limité à "k", on aura:

$$\sum_{j=1}^n X(i,j) \leq k ; \quad i=1, \dots, m$$

## 2.2 - METHODES DE RESOLUTION:

Une approche de résolution basée sur la programmation linéaire en nombres entiers est présentée. Il s'agit de résoudre le problème (P) qui ne considère pas la contrainte du nombre de casiers disponibles.

Si la solution existe (tous les articles seront placés dans des casiers), le nombre minimum de casiers sera déterminé.

Une méthode heuristique complétée par des raffinages a été aussi développée et utilisée pour résoudre notre problème.

Une deuxième approche similaire à la précédente, basée sur le problème d'affectation où le potentiel de stockage est inclu comme contrainte dans le modèle (P), est donnée en annexe 1.

### 2.2.1 - Méthode exacte:

Le problème considéré est un problème linéaire en nombres entiers à " $n*m$ " variables et au moins " $n+m$ " contraintes, voir la formulation (P).

Pour sa résolution, il a été nécessaire d'utiliser le logiciel MILP (Mixed Integer Linear Programming), disponible au centre de calcul, qui permet de résoudre les programmes linéaires mixtes à variables entières et continues.

#### Caractéristiques du logiciel MILP :

Ce logiciel accepte 64 variables entières et 1225 variables continues avec 225 contraintes au maximum. Il utilise la méthode révisée du simplexe pour trouver la solution optimale continue, puis emploie la méthode de "Branch and Bound" pour déterminer la solution entière optimale.

Dans le cas où on utilise des variables de décision booléennes, les limitations de ce logiciel sont beaucoup plus ressenties. L'application sera limitée aux problèmes de petites tailles autrement la combinaison du nombre de casiers et du nombre de produits doit donner au plus 64 variables. De plus, la résolution d'un problème de grande taille (64 VARIABLES ET 16 CONTRAINTES) a nécessité un temps d'exécution qui dépasse 7 heures sur micro-ordinateur (Hewlett Packard Vectra RS/16).

Les limitations de ce logiciel ont amené à développer une procédure heuristique de résolution.



### 2.2.2 - Méthode heuristique:

Le mot " heuristique " dérive du mot grec "heuriskein" signifiant une aide pour la découverte.

Il a été appliqué pour qualifier des règles simples aidant dans les situations complexes.

En recherche opérationnelle, une heuristique est considérée, d'après Foulds, comme une méthode " qui sur la base de l'expérience et du jugement donne vraisemblablement une bonne solution au problème mais ne garantit pas l'optimum", voir Eglese [3].

Nicholson définit l'heuristique comme une procédure "...pour la résolution des problèmes par une approche intuitive dans laquelle la structure du problème est exploitée au mieux pour obtenir une solution "raisonnable" ", voir [3].

Le recours aux méthodes heuristiques a été dictée par les inconvénients des méthodes exactes dont:

#### 1 - difficulté de traitement des calculs:

Souvent, pour un problème mathématique, il est irréalisable de trouver une solution optimale pour le modèle mathématique du point de vue exécution sur calculateurs. Cela est du soit à la taille du problème ou à la simplification dans la modélisation.

#### 2 - existence d'objectifs secondaires:

Il est possible que d'autres objectifs soient visés ,mais qui n'ont pas été inclus dans le modèle. Une heuristique peut les illustrer en donnant des résultats acceptables au sens pratique.

#### 3- temps et coûts d'exécution:

Développer un algorithme exact implique l'utilisation d'un logiciel représentant un coût et un temps d'exécution.

Une heuristique est évaluée suivant les critères de :

- l'efficacité de la solution : proche ou non de l'optimum;
- la rapidité de l'exécution;
- la facilité de contrôle et de compréhension;
- la flexibilité et l'interactivité.

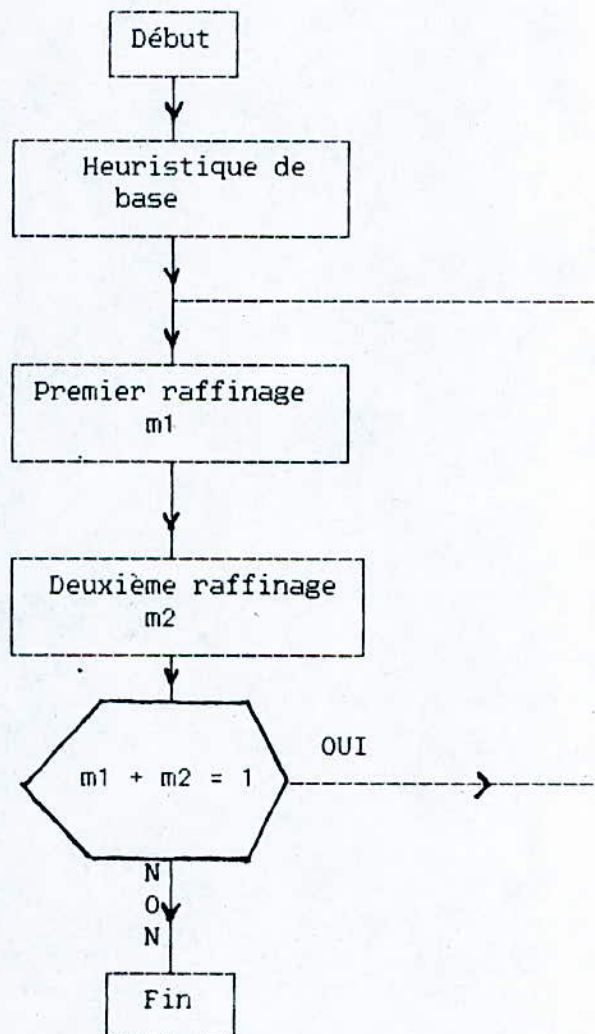
Pour des informations plus détaillées sur les méthodes heuristiques, le lecteur intéressé est invité à consulter l'article de Eglese [3].

### 2.2.2.1 - Principe de base :

Le principe adopté dans l'heuristique consiste en une classification des fréquences de sortie des articles dans l'ordre décroissant et les casiers dans l'ordre croissant des temps d'accession, voir Delfosse [2].

L'affectation se fera en respectant l'ordre des fréquences, l'ordre des casiers et la contrainte de capacité d'un casier. Il est possible de regrouper plusieurs produits dans un même casier si le volume du casier le permet. Deux raffinages ont été introduit pour améliorer la solution. L'organigramme général de la méthode est présenté dans la figure 2.1.

Figure 2.1: Organigramme général de l'heuristique.



$m(i)$ : valeur booléenne.

$$m(i) = \begin{cases} 1 & \text{si la solution est trouvée par le raffinage} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$



Un deuxième objectif peut être poursuivi. Il s'agit de prendre comme critère de choix de l'article à affecter, la valeur  $t(i)*f(j)$  minimisant la valeur de la fonction objectif défini précédemment ( § 1.1 ). L'algorithme de cette variante est développé dans l'annexe 2.

#### 2.2.2.2 - La méthode heuristique:

##### Pas 1: Lecture des données

Les données à introduire sont:

- le nombre d'articles "n", les fréquences moyennes de mouvement de chaque article  $f(j)$  et le volume total de la quantité stockée pour chaque article  $v(j)$   $j=1, \dots, n$ ,
- enfin, le nombre de casiers existants "c" et le volume unitaire d'un casier VC.

##### Pas 2: Classification

On procède à une classification des articles en fonction de leurs fréquences de mouvement dans un ordre décroissant:

$$f(1) \geq f(2) \geq \dots \geq f(j) \dots \geq f(n)$$

##### Pas 3: Vérification de la contrainte capacité

$$\text{Si } \sum v'(j) > c * VC$$

alors la capacité existante n'est pas suffisante.

prendre  $c = N$  tel que N est un grand nombre, aller au pas 4,

sinon aller au pas 4.

##### Pas 4: Recherche de la solution réalisable

- Regroupement de plusieurs produits dans un casier:  
Si  $n \leq c$  alors il existe une solution réalisable quel que soit le regroupement des articles,

sinon aller au pas 5.

##### Pas 5: Détermination du nombre minimum de casiers

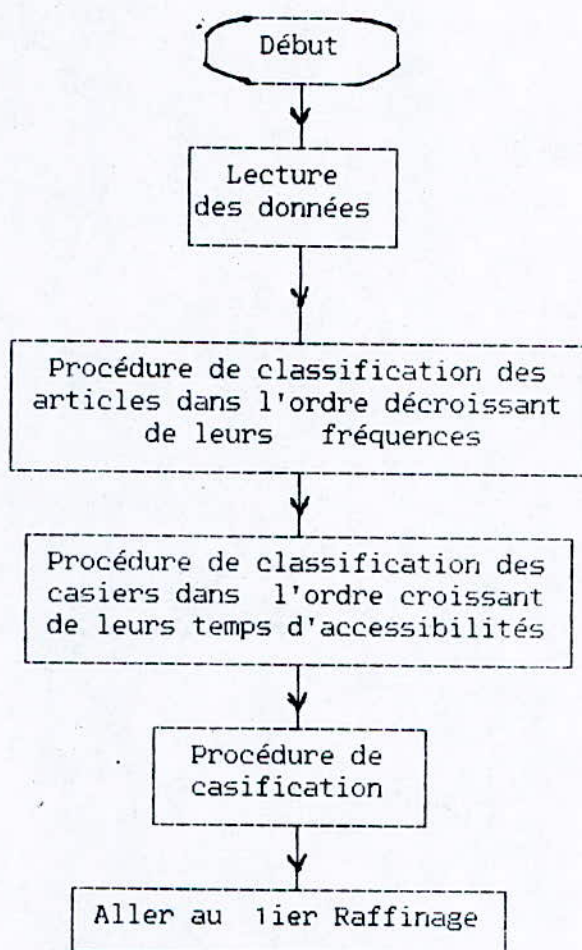
On prend le premier article classé, on l'affecte au premier casier et on regroupe avec d'autres articles si le volume disponible le permet, par ordre de priorité.

Si le nombre d'articles regroupés est égal à "n", stop. La solution est obtenue.

Sinon, aller au pas 5.

Les étapes principales de cette heuristique de base sont illustrées dans la figure 2.2.

Figure 2.2: Organigramme de l'heuristique de base.



Pour améliorer la solution de l'heuristique du point de vue qualité, deux procédures de raffinement ont été développées.

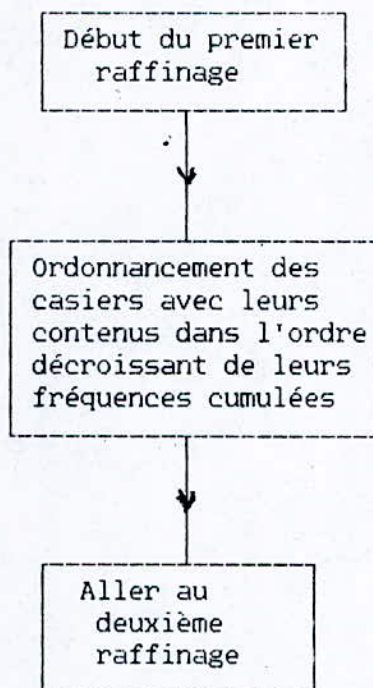
Le raffinement consiste en l'amélioration de la solution obtenue précédemment en usant d'autres critères. Dans notre cas, ce sera le coût associé à l'affectation d'un produit à un casier quelconque.

**Raffinage 1:** (voir figure 2.3)

Il s'agit d'abord de calculer la somme des fréquences d'articles regroupés dans un même casier, puis on associe au premier casier les articles ayant la plus grande somme jusqu'à épuisement de tous les casiers. A cette étape, on procède à une permutation de casiers afin que le temps soit réduit.



Figure 2.3: Organigramme du premier raffinage.



**Raffinage 2 :** (voir figure 2.4)

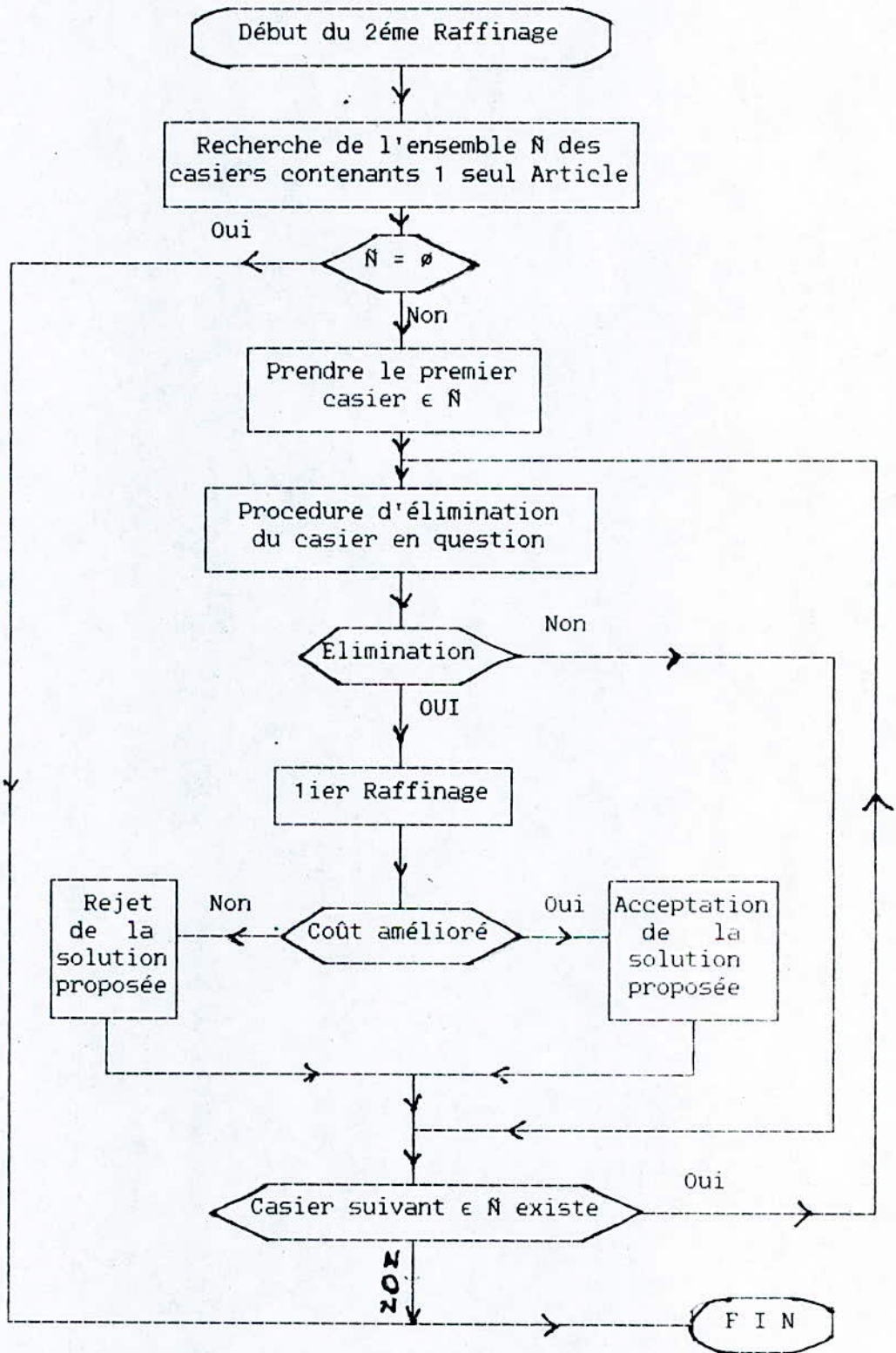
On associe un coût (temps) à chaque casier. Partant de la solution précédente, on cherche à éliminer les casiers contenant un seul produit. Ces casiers vont être tous examinés et celui qui produit le gain le plus grand est choisi. La procédure est répétée jusqu'à ce qu'il n'y a plus possibilité d'éliminer un casier. On cherche ainsi un nouveau regroupement des articles de telle façon que soit minimisée la somme des coûts associés à toutes les affectations.

Une fois, le casier choisi, son contenu est transféré à l'un des autres casiers qui à son tour réaffecte un de leurs produits dans un autre casier autre que le casier choisi.

La recherche d'une solution meilleure fait appel aux deux raffinages successivement et elle s'arrête quand il n'y a plus d'amélioration au deuxième raffinage.

Le programme de la méthode a été écrit en langage Basic sur le micro ordinateur Olivetti, voir annexe 4.

Figure 2.4: Organigramme du deuxième raffinement.





### Exemple illustratif:

Nous complétons la présentation de l'heuristique par un exemple d'application illustrant les étapes de recherche de la solution réalisable.

#### Données:

Nombre d'articles : 8  
Nombre de casiers : 8  
Volume d'un casier: 0.25

casier i :	1	2	3	4	5	6	7	8
t(i) :	1	1.1	1.2	1.3	1.9	2.1	2.2	2.4
article j :	1	2	3	4	5	6	7	8
f(j) :	25	10	25	10	14	6	8	2
v(j) :	0.10	0.02	0.24	0.20	0.05	0.15	0.15	0.16

#### Etapes de résolution:

Le meilleur regroupement est réalisé en suivant les étapes suivantes:

Etape 0: Heuristique de base (sans raffinages)

Classons les articles dans l'ordre croissant des fréquences.

article j : 1, 3, 5, 2, 4, 7, 6, 8.

Le casier 1 recevra, en premier, l'article 1 puis les articles suivants dans la classification des fréquences et satisfaisant la contrainte de capacité d'un casier.

L'article 3 ne peut pas être mis dans le casier 1 car le volume restant ne le permet pas. Ce sera, alors, les articles 5 et 2 qui complètent le remplissage du casier 1, la contrainte de capacité est satisfaite.

Ce sera le même procédé qu'on adoptera pour les autres casiers en omettant les articles déjà affectés.

Le résultat final sera:

Casier 1	: 1 5 2	F(1) = 49
Casier 2	: 3	F(2) = 25
Casier 3	: 4	F(3) = 10
Casier 4	: 7	F(4) = 8
Casier 5	: 6	F(5) = 6
Casier 6	: 8	F(6) = 2

$F(i)$  dénote la somme des fréquences des articles contenus dans le casier "i",  $i = 1, \dots, p$  avec "p" nombre de casiers trouvé précédemment.

$T = \sum_i \sum_j t(i)*f(j)$  est le temps total d'accession.

$T = 114.5$

Etape 1: le premier raffinage

En utilisant la procédure du premier raffinage, le regroupement reste toujours le même car il n'y a pas possibilité de réarranger les casiers dans l'ordre décroissant de  $F(i)$ .

Etape 2: Le deuxième raffinage

Ce sont seulement les casiers 2, ..., 6 qui contiennent un seul produit.

A un stade du raffinage, on devra transférer l'article 6 du casier 5, contenant un seul produit, au casier 1. A son tour, l'article 1 est déplacé du casier 1 au casier 4. Ceci résulte du choix du casier contenant un article qui, déplacé dans un autre, diminue le temps total. Cette combinaison est celle qui réduit au maximum le temps total, en satisfaisant la contrainte de capacité.

Ici, c'est le casier 4 qui va recevoir le produit 1.

Le regroupement devient:

Casier 1:	5	2	6	$F(1) = 30$
Casier 2:	3			$F(2) = 25$
Casier 3:	4			$F(3) = 10$
Casier 4:	7	1		$F(4) = 33$
Casier 5:	8			$F(5) = 2$

On procèdera à une amélioration de la solution en utilisant le premier raffinage : réordonner les  $F(i)$  par ordre décroissant et transférer en même temps le contenu du casier "i".

Le raffinage donne:

Casier 1:	1	7		$F(1)=33$
Casier 2:	5	2	6	$F(2)=30$
Casier 3:	3			$F(3)=25$
Casier 4:	4			$F(4)=10$
Casier 5:	8			$F(5)=6$

$T = 112.8$



Un deuxième raffinage n'est plus possible, la procédure s'arrête.

L'objectif de la minimisation du temps de manutention se révèle être le plus significatif pour réaliser une disposition rationnelle des produits. En effet, une méthode exacte a été présentée puis une heuristique améliorée par des raffinages a été développée.

Cet exemple a été aussi résolu par la méthode exacte qui a fourni la même solution mais nécessitant un temps d'exécution très important. La validation de l'heuristique et la comparaison entre les deux approches feront l'objet du prochain chapitre.

## CHAPITRE 3 : PROBLEMES TESTS ET APPLICATIONS

Les deux méthodes présentées dans le chapitre 2 vont être testées sur des problèmes générés. Nous envisageons aussi une comparaison de leurs résultats. Enfin, les données du problème réel seront utilisées pour déterminer le nouveau temps de service et le potentiel de stockage correspondant.

### 3.1 - PROBLEMES TESTS :

#### 3.1.1 - But :

Pour évaluer l'heuristique développée dans le chapitre 2, du point de vue optimalité, nous avons généré aléatoirement des problèmes de tailles différentes. Le programme en langage Basic écrit sur le micro ordinateur Olivetti, réalisant la génération de nombres aléatoires est présenté dans l'annexe 4.

Trois séries de nombres aléatoires représentant respectivement les valeurs des fréquences, des volumes et des temps d'accession sont générées d'une façon aléatoire basée sur la loi uniforme (0,1).

Les données, à introduire, sont dans l'ordre:

- le nombre d'articles;
- le nombre de casiers pris généralement égal au nombre d'articles;
- le volume du casier;
- les valeurs minimale et maximale des fréquences d'articles;
- la valeur minimale supérieure à 0 et la valeur maximale inférieure au volume d'un casier, des volumes d'articles;
- et, les temps d'accession au premier casier et au dernier casier.

L'application des deux méthodes sur les problèmes générés permet de connaître:

- la valeur de la fonction objective;
- le nombre de casiers;
- et le temps d'exécution machine.



### 3.1.2 - Résultats et interprétations:

Plusieurs problèmes de tailles différentes générés aléatoirement ont été utilisés pour tester la méthode heuristique développée. Il a été aussi possible de faire une comparaison basée sur les problèmes où le nombre de variables de décision ne dépasse pas 64 variables, entre les méthodes citées auparavant dans le chapitre 2 : la méthode exacte (§ 2.2.1) et la méthode heuristique (§ 2.2.2).

Cette limitation est due aux caractéristiques du logiciel MILP données au chapitre 2 (§ 2.2.1 ).

Pour les problèmes générés de tailles importantes, ne satisfaisant pas cette dernière condition, nous donnons seulement les résultats de l'heuristique.

A partir des résultats obtenus, nous établissons un tableau comparatif des deux méthodes. Celui-ci fournit des renseignements sur l'évolution de la solution et du temps d'exécution machine (voir Tableau 3.1).

Nous notons toutes les exécutions ont été faites sur le micro-ordinateur Hewlett Packard Vectra RS/16.

Tableau 3.1: résultats des problèmes tests

N°	n	m	Solution MILP		Solution heuristique				Dev (%)
			S	T h:mn:s	S1*	S2*	T1* h:mn:s	T2* h:mn:s	
1	3	3	1.01	:48	1.01	1.01	:21	:05	0
2	4	4	1.03	:89	1.03	1.03	:35	:05	0
3	5	5	10.85	9:00	10.85	10.85	:40	:08	0
4	8	6	0.770	2:20:00	0.860	0.770	:40	:10	0
5	8	8	1.128	8:00:00	1.145	1.128	:70	:20	0
6	8	8	0.886	4:27:00	0.887	0.886	2:00	:22	0
7	8	8	11.400	3:50:00	11.500	11.400	:50	:18	0
8	8	8	1.068	7:30:00	1.068	1.068	:55	:14	0
9	8	8	1.100	11:50:0	1.100	1.100	:55	:20	0
10	8	8	1.202	7:12:00	1.202	1.202	:52	:15	0
11	10	(2)	non trouvée (1)		2.525	2.513	:80	:20	
12	10		"		2.367	2.254	:84	:40	
13	100		"		12.609	12.609	1:40	:55	
14	100		"		10.364	10.352	2:05	:55	
15	100		"		12.556	12.556	1:20	:50	
16	100		"		11.404	11.404	3:30	1:16	
17	100		"		18.420	18.420	1:25	1:05	
18	150		"		19.477	19.477	1:54	1:15	
19	150		"		18.724	18.724	3:00	1:10	
20	150		"		14.637	14.637	2:15	1:17	
21	150		"		14.302	14.302	2:10	1:22	
22	150		"		19.921	19.921	2:19	1:12	



Suite du tableau 3.1

N°	n	Solution MILP	Solution Heuristique				Dev (%)
		S T h:mn:s	S1*	S2*	T1* h:mn:s	T2* h:mn:s	
23	200	Non trouvée(1)	25.130	25.130	5:30	1:30	
24	200	"	26.013	26.013	6:00	1:20	
25	200	"	32.624	32.624	4:23	1:22	
26	200	"	32.624	32.624	5:02	2:07	
27	200	"	27.254	27.254	4:40	1:44	
28	300	"	37.450	37.450	5:17	10:36	
29	300	"	35.117	35.117	4:15	40:55	
30	300	"	20.750	20.750	6:06	05:36	
31	300	"	22.701	22.701	6:10	110:13	
32	300	"	32.430	32.430	6:02	15:11	
33	500	"	160.46	160.16	6:27	42:59	
34	500	"	172.76	145.33	5:58	46:00	
35	1000	"	673.44	673.44	21:03	2:02:00	
36	1000	"	709.66	709.66	20:50	2:20:08	

Les notations adoptées dans le tableau 3.1. sont définies comme suit:

"n" et "m" dénotent respectivement le nombre d'articles et le nombre de casiers;

Le couple "solution" et "temps" dénotent respectivement:

"S" et "T" la solution exacte obtenue par le MILP et le temps d'exécution;

(1): la solution est introuvable par le MILP.

(2): il n'est pas nécessaire de donner "m" dans le cas de l'heuristique.

"S1" et "T1" la solution heuristique sans raffinage et le temps d'exécution;

"S2" et "T2" la solution heuristique raffinée et le temps mis pour le raffinage;

"Dev" est le pourcentage de déviation entre la solution exacte et la solution raffinée:

$$\text{Dev}(\%) = \frac{S2^* - S}{S} \times 100.$$

#### Interprétation des résultats:

Pour valider la procédure heuristique, des problèmes de tailles différentes et réduites ont été résolus conjointement avec les deux méthodes présentées auparavant.

La méthode proposée a donné une solution identique à celle obtenue par la méthode exacte pour les 10 problèmes testés dont le nombre de variables est inférieur à 64 (voir tableau 3.1).

Ainsi, ces résultats reflètent d'un côté l'efficacité de l'heuristique pour des problèmes de cette dimension, d'un autre côté les limites du MILP vu le temps d'exécution qu'il nécessite.

Pour les problèmes de tailles assez larges (nombre d'articles compris dans la classe [ 10 , 300[ ), nous remarquons l'évolution du temps d'exécution avec l'augmentation de la taille du problème considéré. La proportion de temps du deuxième raffinage croît, par contre, rapidement. Ceci est lié à la fois à la dimension du problème et à la nature des résultats ultérieurs aux raffinages.

Pour ces mêmes problèmes, nous avons 9 cas sur 36 où les deux raffinages ont réellement amélioré la solution avec des proportions maximale de 19 %, et moyenne égale à 1.08 %.

La proportion d'amélioration de la solution pour le problème "i" est donnée par:

$$P_i(\%) = \frac{S1^* - S2^*}{S2^*} * 100; S1^* \text{ et } S2^* \text{ ont été définies précédemment.}$$

La proportion moyenne "PM" est donnée par:

$$PM(\%) = \frac{\sum_i P_i}{g} \text{ avec "g" le nombre de problèmes générés}$$



De plus, il est important de signaler que pour les problèmes de tailles importantes (nombre d'articles  $\geq 300$ ), il apparaît plus pratique de se contenter de l'utilisation de l'heuristique sans le deuxième raffinement vu l'importance du temps d'exécution et l'amélioration non significative qu'il pourrait apporter par rapport à la solution précédente (voir Tableau 3.1).

Enfin, un aspect caractérisant cette heuristique mérite d'être soulevé. Il s'agit de l'évolution du temps d'exécution. En effet, ce dernier n'est pas lié seulement au nombre d'articles à stocker mais aussi aux caractéristiques du problème, engendrées elles mêmes par la nature des données. C'est, particulièrement, le second raffinement qui l'illustre. Par exemple, si on considère les problèmes de taille 300, nous constatons que ce temps varie de 6 minutes à 40 minutes (voir tableau 3.1).

### 3.2 - APPLICATION AU PROBLEME REEL:

#### 3.2.1 - Collecte des données:

Nous donnons dans cette partie quelques informations sur les données qui ont été mises à notre disposition. Elles ont été recueillies de deux sources: section magasin et section administrative de gestion des stocks.

Toutes les informations ont été recueillies des documents suivants.

- Les fiches de stocks enregistrant les mouvements des articles ou famille d'articles pendant une période donnée. Le nombre de sorties représente le nombre de bons de sortie délivrés. Ceci a permis d'estimer les fréquences de sortie des articles ou de familles d'articles.
- et l'inventaire de fin d'année (année 1988) faisant ressortir les différents articles existants dans l'unité dont une grande proportion existe au magasin.

Quant aux données relatives au magasin, elles sont représentées par le nombre de casiers, le volume d'un casier, la disposition actuelle des différents produits dans les casiers et leurs volumes correspondants.

#### 3.2.2 - Application:

Comme la nature des données recueillies ne permet pas une application directe du modèle, nous approchons la résolution du problème réel en prenant ces mêmes données regroupées en classes.

La classification a consisté en un tri qui permet de réunir dans une même " classe " des objets ayant certaines affinités tels que la constitution ou la fonction.

Il s'agira, donc, de faire un emplacement d'articles, par classe: à une classe donnée d'articles, on associe un volume de stockage soit un nombre de casiers. L'approche de résolution sera définie comme ci dessus.

### 3.2.2.1 - Approche de résolution:

La subdivision de l'ensemble total des produits en classes, sous classes, etc..., présentera deux cas extrêmes parmi tous les cas possibles, classés tels que le nombre de classes augmente et le nombre d'articles dans une classe diminue:

#### Premier cas:

L'ensemble total des articles est subdivisé en "g" classes (1ère classification possible), il s'agit d'associer à chaque classe un volume. La solution trouvée sera réalisable, mais non optimale. Son premier avantage est qu'elle soit pratique : le magasinier se amène à connaître seulement l'emplacement des différentes classes.

#### Deuxième cas:

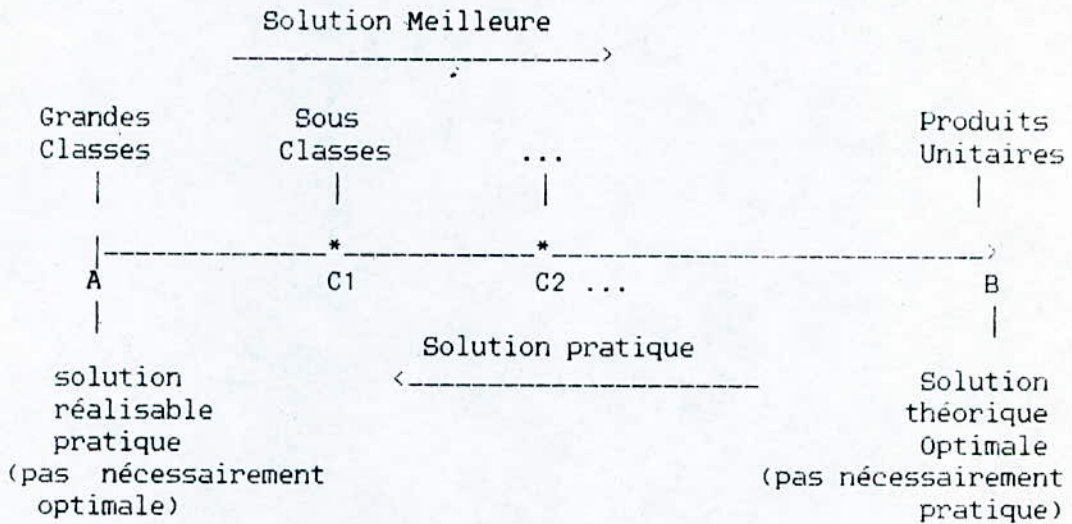
Pour ce cas extrême, les différentes classes seront formées d'un seul article, autrement, on considère le cas où on a à affecter un article à un certain volume de casier, donc un pourcentage du volume disponible. La solution trouvée sera certes la solution théorique optimale mais pratiquement non réalisable. Il soulève essentiellement le problème de rigidité des emplacements des articles.

Les cas intermédiaires seront caractérisés par une solution de plus en plus meilleure, du point de vue utilisation optimale du volume de stockage, mais donnant toujours une solution moins pratique.

Pour mieux visualiser ces différents cas, nous les illustrons sous forme de points d'une droite, voir figure 3.1.



Figure 3.1 : Sens de variation de la qualité de la solution en fonction du nombre de classes d'articles.



Les différents points de la droite représentent l'ensemble des solutions réalisables du problème. Par exemple, C1 est une solution moins bonne que C2 du point de vue qualité mais C1 est plus facile à réaliser et à manipuler par le magasinier.

Théoriquement, il serait préférable de se rapprocher le plus de B, en se pourvoyant de moyens appropriés, pour rendre la solution acceptable, notamment les supports d'information et la codification judicieuse des articles en stock. La tâche du magasinier sera considérablement simplifiée et allégée. Il sera plus aisé de mémoriser l'ensemble des classes de produits et leurs emplacements.

### 3.2.2.2 - Résultats:

Une étape préalable à la résolution du problème concerne l'estimation des paramètres: fréquences de sortie et temps associés aux différents casiers.

L'estimation des fréquences moyennes mensuelles de sortie a été faite sur une période d'une année (11mois d'activité).

Pour les temps associés aux casiers, nous avons développé une approche.

#### Estimation des temps d'accession:

Pour calculer les temps d'accession aux différents casiers, à partir du guichet, nous avons adopté l'approche suivante:

Le magasin est formé d'un nombre défini de travées. A leur tour, les travées comprennent un certain nombre de rangées et de colonnes. Pour des raisons de simplification, nous subdivisons la colonne en deux niveaux ayant le même nombre de casiers, voir figure 3.2.

Le premier niveau est caractérisé par l'accessibilité directe, les produits sont placés à une hauteur, au plus égale à la taille du magasinier. Par contre, le deuxième niveau nécessite un moyen pour accéder au produit, il s'agira par exemple d'une échelle. Le temps additionnel pour ramener ce moyen est un temps fixe.

A cet effet, les temps d'accession aux casiers d'un même niveau et d'une même colonne, sont supposés identiques.

Cette approche peut être généralisée en adoptant une subdivision plus poussée, autrement dit nous augmentons le nombre de niveaux dans une colonne.

Le temps de service est défini comme la somme du temps d'accession casier et retour. Il fait intervenir les temps suivants.

- le temps d'accession au début de chaque travée dans le magasin:  $a$ ;
- le temps entre deux colonnes successives:  $T_c = \frac{TM}{2 \cdot NR}$ ;
- le temps mis pour préparer le moyen d'ascension:  $T_0$ ;
- et le temps maximal d'arrivée à la fin de la travée à partir de son début:  $TM$ .

A partir des observations faites sur l'activité dans le magasin, nous avons les estimations suivantes:

$$TM = 93(s); \quad T_c = 6(s) \quad ; \quad T_0 = 20(s) \quad ; \quad a = 6(s)$$

La formule permettant le calcul des temps d'accession se présente comme ci-dessous.

$NC$  et  $NR$  dénotent respectivement le nombre de casiers d'une colonne et le nombre de casiers d'une rangée, dans une travée.

" $i$ " et " $j$ " représentent respectivement le numéro de la rangée et le numéro de la colonne.

$$t(i,j) = \begin{cases} a + j \cdot T_c & \text{si } i \leq nr \\ a + T_0 + j \cdot T_c & \text{si } i > nr \end{cases} \quad (*)$$

$$i=1, \dots, NR \quad ; \quad j=1, \dots, NC$$

avec  $nr = NR / 2$  ; ( $NR$  est un entier pair)



L'expression (\*) peut être généralisée en adoptant une forme non linéaire, pour l'évolution des temps.

#### Application au magasin considéré:

Les 6 grandes classes de produits existant dans le magasin sont subdivisées en 48 sous classes différentes auxquelles nous associons une fréquence égale à la somme des fréquences des produits qu'elle contient et un volume égal à leur volume total (voir tableau 3.2).

L'approche de classification va être aussi adoptée aux casiers. En effet, nous considérons les centres de classes de casiers pour pouvoir calculer les temps de service pour chaque sous classe de produits.

Au centre de la classe k contenant "c" casiers, nous associons un temps de service moyen  $T(i)$

$$T(i) = \frac{1}{c} \sum_{i,j} t(i,j) ;$$

avec :

$t(i,j)$  le temps de service pour le casier "i,j" de la classe k.

L'application de la méthode de regroupement proposée donne une nouvelle disposition des différentes sous classes que nous résumons dans le tableau 3.3.

- Nombre de casiers utilisés : 697.
- Nombre de casiers utilisés diminué du nombre de casiers occupés par les stocks morts : 605.
- Nombre de casiers utilisés réellement : 758.
- Nombre de casiers existant dans le magasin : 906.

Tableau 3.2: Distribution des fréquences et volumes (1)

CLASSE	CODE	NATURE DES PRODUITS	FREQUENCE	VOLUME (2)
QUINCUEILL- ERIE	1	Pointes	77	100
	2	Serures	18	23
	3	Charnières et chevilles	5	21
	4	Entrées	9	3
	5	Ferrures d'assemblages et fiches	11	10
	6	Pommelles et poignées et crémons	14	9
	7	Tiges et tire fonds	12	13
	8	Verroux de box et locteaux magnétiques	15	13
	9	Ensembles, béquilles et canons	22	12
	10	Visserie et platine	32	35
	11	Boulonnerie	19	21
	12	Stocks morts	00	15
OUTILLAGE A MAIN ET OUTILLAGE CONSOMMABLE	21	Scies et lames de scies	27	10
	22	Rabots et couteaux de rabots	13	6
	23	Rouleaux abrasifs	3	10
	24	Bandes abrasives	6	10
	25	Fraises	3	6
	26	Meules	2	6
	27	Maillons de chaines	6	10
	28	Tourne vis	8	5
	29	Marteaux	7	6
	30	Clés, pinces et tenailles	10	8
	31	Autres	2	19
PIECE MACHINE	41	Roulements pour machines	3	7
	42	Tuyaux à Gazoil	2	2
	43	Courroies pour machine	5	7
	44	Boulons, écrous	6	3
	45	Matrice	4	6
	46	Flexibles	2	3
	47	Autres	3	54



Suite du tableau 3.2

CLASSE	CODE	NATURE DES PRODUITS	FREQUENCE	VOLUME (2)
PIECE AUTO	51	Batteries	4	8
	52	Cartouches à gaz	3	2
	53	Cables	2	5
	54	Autres	4	53
	55	Stocks morts	00	77
ELECTRICITE ET. PLOMBERIE	61	Tubes de Neon et lampes	7	10
	62	Starters Neon	4	3
	63	Dominos	4	1
	64	Cheilles	2	1
	65	Câbles et interupteurs	2	4
	66	Boites de derivations	2	2
	67	Douilles	2	1
	68	Vannes	2	2
	69	Autres	2	10
DIVERS	71	Liège (rouleau)	3	8
	72	Lit de camp	5	8
	73	Mastic	5	20
	74	Bordures	2	7
	75	Film en plastique	2	4
	76	Autres	2	20

(1): Source : ENMGP UMP-317 Service Gestion des stock.

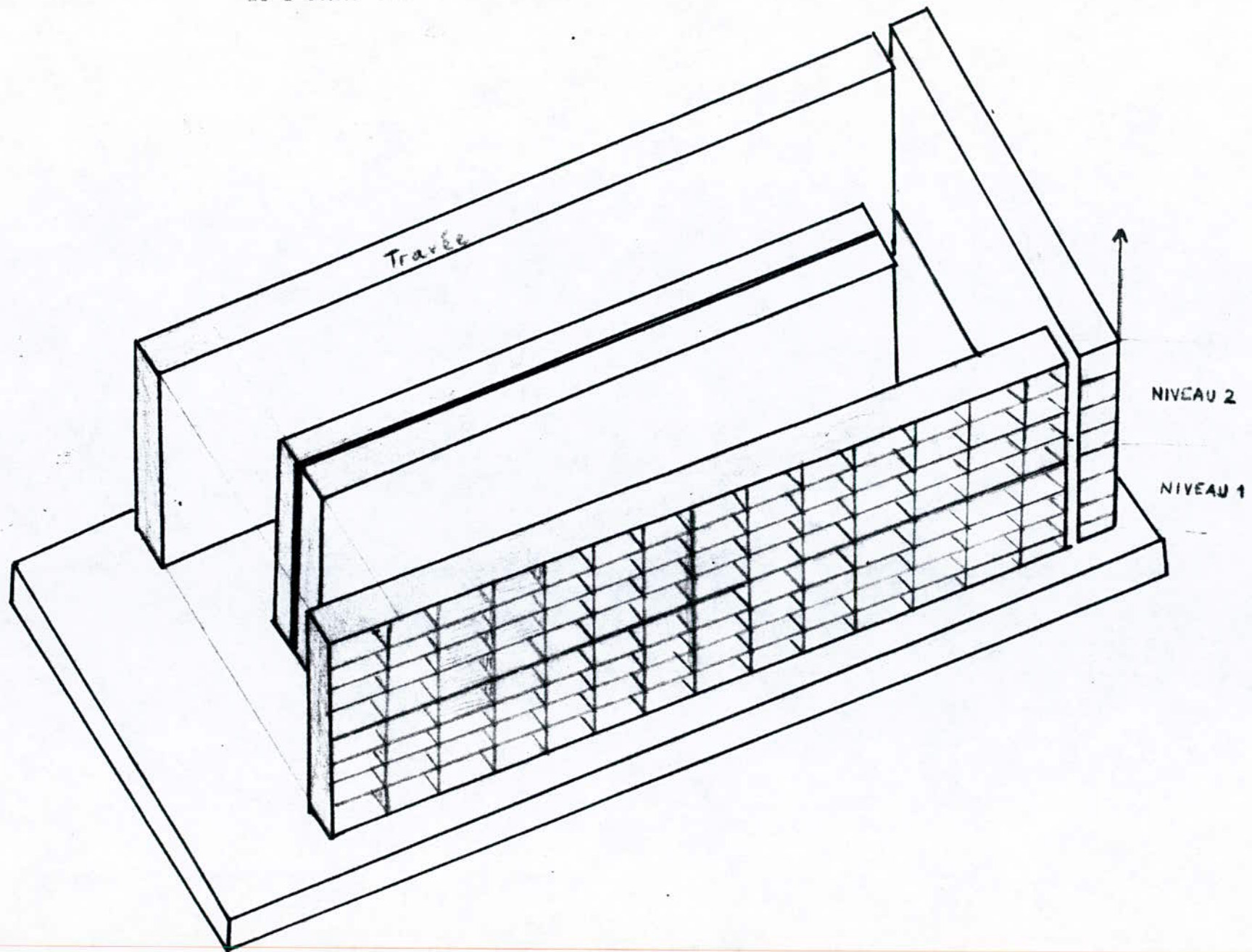
(2): Volume en nombre de casier.

Tableau 3.3 : Affectation des différentes sous-classes.

Classement	Designation	Fréquence	Casiers	
1	Sous-classe 1	77	1	à 100
2	Sous-classe 10	32	101	135
3	Sous-classe 21	27	136	145
4	Sous-classe 9	22	146	157
5	Sous-classe 11	19	158	178
6	Sous-classe 2	18	179	201
7	Sous-classe 8	15	202	214
8	Sous-classe 6	14	215	223
9	Sous-classe 22	13	224	229
10	Sous-classe 7	12	230	242
11	Sous-classe 5	11	243	252
12	Sous-classe 30	10	253	261
13	Sous-classe 4	9	262	264
14	Sous-classe 28	8	265	269
15	Sous-classe 29	7	270	275
16	Sous-classe 61	7	276	285
17	Sous-classe 27	6	286	292
18	Sous-classe 44	6	293	295
19	Sous-classe 24	6	296	305
20	Sous-classe 3	5	306	326
21	Sous-classe 43	5	327	333
22	Sous-classe 72	5	334	341
23	Sous-classe 73	5	342	361
24	Sous-classe 45	4	362	367
25	Sous-classe 62	4	368	370
26	Sous-classe 63	4	371	371
27	Sous-classe 51	4	372	379
28	Sous-classe 54	4	380	432
29	Sous-classe 41	3	433	439
30	Sous-classe 47	3	440	493
31	Sous-classe 25	3	494	499
32	Sous-classe 71	3	500	507
33	Sous-classe 52	3	508	509
34	Sous-classe 23	3	510	519
35	Sous-classe 31	2	520	538
36	Sous-classe 53	2	539	543
37	Sous-classe 64	2	544	544
38	Sous-classe 65	2	545	548
39	Sous-classe 66	2	549	550
40	Sous-classe 67	2	551	551
41	Sous-classe 68	2	552	553
42	Sous-classe 69	2	554	563
43	Sous-classe 42	2	564	565
44	Sous-classe 26	2	566	571
45	Sous-classe 46	2	572	574
46	Sous-classe 74	2	575	581
47	Sous-classe 75	2	582	595
48	Sous-classe 76	2	596	605
49	Sous-classe 12	0	606	620
50	Sous-classe 55	0	621	697



Figure 3.2 : Vue en perspective des travées du Magasin Central  
de l'U.M.P-317



Le gain relatif en espace est calculé à partir de:

$$g = (n_0 - n^*) / n^*$$

avec  $n_0$  le nombre de casiers occupés, réellement.  
 $n^*$  le nombre de casiers occupés par le nouveau regroupement

$$g = ((758 - 697) / 697) * 100$$

$$g = 8.75 \%$$

L'expression du temps total de service, basé sur l'approche précédente de calcul des temps d'accession, pour ce nouveau regroupement est:

$$T = \sum_i \sum_j T(i) * f(j) \quad ;$$

$T(i)$  dénote le temps mis pour atteindre le centre de la classe de casiers "i".

$f(j)$  dénote la fréquence de la sous classe "j".

La valeur du temps de service moyen pendant un mois est:

$$32159.215 \text{ secondes/mois} \quad (\text{ou } 8.933 \text{ heures/mois})$$

Calcul du temps de service pour la disposition actuelle:

Le magasin considéré utilise un stockage par bloc c'est à dire que tous les produits d'une même classe sont disposés dans un même lieu sauf pour la classe quincaillerie dont le contenu est dispersé sur les différentes travées, dans les casiers les plus proches du guichet.

Nous conservons les 6 classes de produits sauf pour les classes quincaillerie et outillage qui ont pu être décomposées:

Nous avons omis les pointes de la classe quincaillerie, les scies et lames de scies, rabots et couteaux de rabots de la classe outillage, vu les fréquences élevées de ces classes de produits.

Les classes considérées seront au nombre de 9. Elles représentent:

- pointes;
- scies et lames de scies;
- rabots et couteaux de rabots;
- pièce auto;
- pièce machine;
- outillage;
- quincaillerie;
- électricité et plomberie;
- divers.



Nous calculons, pour chaque classe, le temps moyen, en se basant sur la disposition actuelle.

i) pointes:

colonnes 1, ..., 4 de la travée 1  
colonnes 1, ..., 9 de la travée 3

$$\text{temps moyen} = \frac{4 \bar{t}_1 + 9 \bar{t}_3}{4 + 9}$$

$\bar{t}_1$  : temps moyen de la classe colonnes 1, ..., 5 de la travée 1

$\bar{t}_3$  : temps moyen de la classe colonne 1, ..., 8 de la travée 3

t(pointes) = 65sec

f(pointes) = 77

temps moyen = 5005 sec

ii) pièce auto:

17.....23ème colonne de la travée  
centrale et les colonnes de la travée de face.

t(pièce auto) = 177.33sec

f(pièce auto) = 13

temps moyen = 2305.33 sec

iii) pièce machine:

20 .....31 ème colonne de la 3ème travée

t(pièce machine) = 190sec

f(pièce machine) = 25

temps moyen = 4750 sec

iv) divers:

10 ème et 11ème colonnes de la travée centrale.

t(divers) = 81 sec

f(divers) = 19

temps moyen = 1539 sec

v) lames de scies:

15 et 16 ème colonnes de la 1ère travée.

t(lames de scie) = 133sec

f(lames de scie) = 24

temps moyen = 3192 sec

vi) électricité et plomberie:

5 .....8ème colonne de la travée 1

t(elec et plom) = 79sec  
f(elec et plom) = 27  
temps moyen = 2133 sec

vii) rabots:

9 et 10 ème colonnes de la travée 1, niveau 1.

t(rabots) = 75sec  
f(rabots) = 13  
temps moyen = 975sec

viii) outillages:

10 et 30 ème colonne de la travée 1.

t(outillage) = 160 sec  
f(outillage) = 47  
temps moyen = 7520 sec

ix) quincaillerie:

1....11 ème colonne de la travée 2  
10....18ème colonne de la travée 3

t(quincaillerie) = 92sec  
f(quincaillerie) = 160  
temps moyen = 14720 sec

Le temps total de service est : 42139 sec

Le gain en temps est donné par :  $gt = ((t_0 - t^*) / t^*) * 100$   
gt = 31.10 %.

Comparaison des deux situations:

L'apport du nouveau regroupement a été estimé comparativement à celui existant actuellement.

Il est intéressant de noter que ce dernier présente un aspect cumulatif. Cette valeur d'amélioration est grande, elle est due non seulement au gain en casiers mais aussi à la mauvaise affectation des produits aux casiers, initialement adoptée.



### Adaptation de la nouvelle politique de rangement:

L'ensemble des articles est subdivisé en 48 classes différentes ayant chacune un emplacement approprié dans le magasin. Adapter ces nouveaux emplacements consistera à simplifier le travail du magasinier. D'abord, il est nécessaire d'établir une fiche comportant les classes et leurs positions géographiques dans les travées.

Nous indiquons, pour chaque classe, la nomenclature des différents articles qu'elle contient. Chaque emplacement est défini par la position de la travée (latérale ou centrale), les niveaux de stockage (1 et/ou 2) et le nombre de casiers qui lui sont associés. Pour faciliter la tâche au magasinier, il est possible de différencier les deux niveaux de stockage par deux couleurs différentes.

Enfin, l'adaptation de la nouvelle procédure de rangement reposera essentiellement, sur l'adéquation des moyens d'information dont dispose le service magasin.

Les gains en temps et en espace illustrent la nécessité d'accorder une attention aux deux paramètres temps et espace dans la gestion du magasin. Mais, la décision, pour instaurer cette politique de rangement relève essentiellement du compromis entre le coût de son implantation et les apports économiques qu'elle pourrait procurer dans l'amélioration du niveau de service.

L'application de la méthode proposée au problème réel a reposé, en premier lieu sur sa validation sur des problèmes tests, puis sur l'approche de décomposition des produits en classes. Les gains en espace et en temps représentent des pourcentages acceptables.

## CHAPITRE 4 : CONCLUSION ET SUGGESTIONS

Dans ce chapitre, nous allons mettre en évidence l'importance d'incorporer d'autres paramètres qui nécessitent une analyse et proposer des aspects pratiques, pouvant être explorés et étudiés. Finalement, une conclusion résumant notre travail est donnée suivie de quelques suggestions.

### 4.1 - EXTENSIONS:

#### 4.1.1 PROBLEME DES QUANTITES A STOCKER:

Dans notre travail, nous avons considéré les quantités à stocker comme des niveaux maximaux donnés par l'unité. Il serait peut être préférable de faire une étude détaillée pour déterminer d'une façon beaucoup plus précise les niveaux de ces stocks. Nous présentons ici quelques réflexions qui peuvent être développées pour donner une solution à ce problème.

La détermination des quantités optimales à stocker est possible en utilisant des méthodes de gestion des stocks.

Lorsqu'il y a plusieurs articles à stocker, on ne peut consacrer autant d'attention à chacun de ces articles, du reste ceux-ci ne représentent pas tous le même risque de surstock ou de pénurie.

Les articles les plus importants présentent des risques graves de surstock ou de pénurie, donc on se demande constamment s'il faut ou non réapprovisionner. Ces articles nécessitent donc une attention très fréquente et soutenue pour les gérer le plus finement possible.

A l'inverse, les articles ayant peu de mouvements sont réapprovisionnés pour une longue durée. Il n'est besoin de les surveiller que de loin. D'autre part si on s'approvisionne trop largement, l'incidence sera faible sur le stock total.

C'est pourquoi une étude sélective des stocks est très sollicitée. Cette étude se caractérise par une classification des articles selon la méthode ABC.

Le principe de cette méthode est de répartir les articles en stocks en trois classes distinctes.



- Classe A: comprend 10 % d'articles (représentent 70 % de la valeur total du stock).
- Classe B: comprend 20 % d'articles (représentent 20 % de la valeur total du stock).
- Classe C: comprend 70 % d'articles, (représentent 10 % de la valeur total du stock).

#### Utilisation de la méthode ABC pour l'étude des articles :

En pratique, la méthode ABC est utilisée pour grouper les articles à étudier.

- Les articles de la "classe A", seraient traités individuellement et en détail.
- Les articles de la "classe B", seraient traités en petits groupes représentatifs.
- Les articles de la "classe C", seraient étudiés en dernier, et classés en groupes plus importants. Il en est de même qu'on ne les étudiera pas du tout et que l'on utilise l'expérience et le bon sens d'action pour déterminer une politique raisonnable.

#### Caractères généraux des problèmes de stocks :

Tous les problèmes de stocks font apparaître :

- Une demande de certains articles;
- L'existence d'un stock de ces articles pour satisfaire la demande; ce stock s'épuisant et devant être réapprovisionné ou renouvelé;
- Des coûts associés aux opérations d'investissements, de dépréciations, d'assurances, de magasinage et de risque divers (pénurie).

Ces coûts nous permettent d'avoir une fonction économique que l'on se proposera d'optimiser.

Les objectifs à atteindre, peuvent être la minimisation du coût total, le respect du niveau de service de la clientèle, tout en respectant des contraintes qui peuvent intervenir en raison de la nature du produit (périssable ou non), limitation du budget, de l'espace à stocker ou des ressources humaines et matérielles.

Nous présentons, ci dessous, quelques éléments traitant de modèles de stocks.

#### Modèle de gestion des stocks du type Q:

Ce type de gestion est relatif à la quantité à approvisionner. Elle est caractérisée par une quantité fixe à commander que l'on déterminera, et une périodicité variable. La méthode permettant sa détermination est la suivante :

Chaque fois que le stock atteint une certaine valeur minimale que l'on appelle "Seuil d'approvisionnement", on lance automatiquement une commande (une demande d'achat). Ce modèle est aussi appelé le modèle (S,s) où "s" seuil d'approvisionnement et "S" le niveau maximal du stock.

L'objectif c'est de trouver la quantité idéale qui minimise la dépense totale d'approvisionnement.

Pour cela, on utilise le modèle de base qui a été développé par Wilson, pour déterminer la quantité à approvisionner en majorant cette dernière par une quantité de sécurité (stock de sécurité), voir [10].

#### Modèle de gestion des stocks du type P :

Ce type de gestion est relative à la période d'approvisionnement.

Comme dans le type de gestion défini précédemment, cette méthode consiste à minimiser les coûts de gestion sur toute la durée de gestion.

Dans ce type de gestion, la périodicité de commandes est fixe, la quantité commandée est variable, le contrôle du niveau du stock se fait à des intervalles de temps constants ce qui allège le coût total de gestion.

Cette méthode de gestion est parfaitement déterminée par la connaissance de deux paramètres à savoir:

- la périodicité des commandes;
- le stock existant plus la commande à lancer.

La période d'approvisionnement est, soit déterminée analytiquement, soit fixée une fois pour toute par les responsables du Service Approvisionnement.

On lance une commande, chaque fois que le délai d'approvisionnement commence. On examine la situation du stock disponible et on lance un réapprovisionnement de telle sorte, qu'il remonte le à un niveau appelé "Niveau de réapprovisionnement".



Dans la méthode de gestion de type P, il apparaît nettement nécessaire de maintenir un stock de sécurité pour se protéger de toutes fluctuations soit celle de la demande ou bien celle du délai d'approvisionnement.

Les avantages et inconvénients de ces deux méthodes sont présentés dans l'annexe 3.

#### Determination du seuil d'approvisionnement:

Le seuil d'approvisionnement est la quantité de stock, nécessaire pour couvrir la période d'approvisionnement ainsi que les aléas de la demande, et éventuellement sur le délai d'approvisionnement. Cette quantité peut être déterminée soit par expérience ou en utilisant des méthodes statistiques, se basant sur les données du passé et le risque de ne pas tomber en situation de pénurie.

La détermination de ce paramètre constitue un des points les plus intéressants pour une étude de recherche sur les systèmes de stocks.

#### 4.1.2 - SENSIBILITE SUR LES PARAMETRES:

Dans le problème considéré dans le chapitre 2 (§ 2.2), l'objectif considéré était de minimiser le temps de service pour une seule commande.

La question qu'on se pose alors est comment évaluer le temps dans le cas où le magasinier est sollicité pour honorer plusieurs commandes surtout si elles sont localisées dans le même voisinage. Le temps aura alors une expression autre que celle définie auparavant. L'intervalle de variation du temps de service dépendra du nombre de commandes, de la capacité physique du magasinier et des parcours supplémentaires effectués. Il serait intéressant de développer un modèle pratique où cet aspect est pris en considération.

Une autre supposition a été faite, lors de notre étude, il s'agit du temps de service qui a été supposé nul (inclus dans le temps d'accession). Pour les magasins où des engins de transport sont utilisés, ce temps de service ne peut pas être négligé. Le changement qui peut intervenir affecte la fonction objectif où le temps  $t(i)$  va représenter le temps de l'allée et retour augmenté d'un temps additionnel qui est fonction du produit transporté.

#### 4.3 CONCLUSION:

Ce présent travail aura porté sur un élément de la gestion des stocks qui est la gestion du volume de stockage et le rangement rationnel des stocks dans un magasin, un problème auquel est confrontée toute unité de production ou de distribution.

Au préalable, nous avons rappelé les règles de base dans la gestion d'un magasin, pour évaluer les niveaux d'exploitation et d'organisation du magasin central de l'UMP-317 qui gère plus de 2000 articles.

L'objectif recherché, à travers la gestion des rangements, a été de minimiser les temps alloués aux mouvements de manutention. Pour ce faire, deux méthodes ont été examinées, l'une exacte et l'autre heuristique. La première, basée sur la programmation linéaire en nombres entiers, donne des solutions optimales mais elle limite l'application aux problèmes de petites tailles. Par contre, la deuxième permet d'obtenir rapidement des solutions acceptables, pour des problèmes de tailles importantes (nombre important de produits et potentiel de stockage considérable).

L'application aux données recueillies à l'Unité a révélé des résultats appréciables, représentés par un gain de volume de 8.75 % et une réduction du temps de service de 31.10 %.

L'adoption d'une telle politique peut représenter un outil stratégique de décision surtout dans la gestion de magasins de tailles considérables.



#### 4.3 - SUGGESTIONS ET RECOMMANDATIONS:

##### 4.3.1 DYNAMISME DU PROBLEME DE STOCKAGE :

Le problème formulé dans le chapitre 2 est réellement dynamique. Autrement dit, les volumes des articles à stocker sont variables dans le temps, compris entre une valeur minimale qui est généralement le volume du stock de sécurité et une valeur maximale qui est celle du stock maximum.

Ce dynamisme est engendré par la discontinuité de l'approvisionnement des articles, et surtout de la différence de leurs périodes de réapprovisionnement due, peut être, à la différence de leurs demandes. En effet, nous rencontrons la situation où certains casiers se vident indiquant un volume inutilisé et d'autres sont sollicités pour le remplissage.

Tenir compte de cet aspect dynamique relève du compromis entre l'apport pratique (possibilité d'être manipulé réellement) et l'apport économique (coût de son instauration). Le choix adopté peut reposer sur les moyens de contrôle fournis tel que l'information.

Réellement, deux situations extrêmes se présentent, l'une analysant le problème ponctuellement (problème statique), l'autre considère le problème dans le temps (problème dynamique). Les questions qui pourraient être soulevées sont: où se situer entre ces deux cas? Et avec quel seuil, voudrait-on se rapprocher de l'une des deux situations.

##### 4.3.2 CRITERE DE REGROUPEMENT DES CLASSES:

Un autre problème peut être soulevé, il s'agit du critère de regroupement des classes. L'illustration graphique dans le chapitre 3 (§ 3.2) montre que la solution la plus pratique et la plus évidente est d'avoir des grandes classes. Ceci facilite la tâche au magasinier, le familiarise avec les emplacements des produits mais peut nécessiter un temps de service très grand et l'utilisation d'un nombre excessif de casiers. Une autre possibilité intervient, le cas où on considère un produit dans une classe. Ceci peut ne pas être adopté par les magasiniers car ceci demande de localiser chaque produit séparément. Cependant, cette solution s'avère être théoriquement plus économique.

La question qu'on doit se poser est comment définir les classes ou groupes de produits afin que la solution soit pratique et économique en même temps. Un critère de choix de la solution peut être de se fixer un seuil pour se situer entre la solution évidente et la solution théorique qui peut être facilement déterminée.

#### 4.3.3 ANALYSE DE L'HEURISTIQUE:

Bien que la méthode proposée a produit de bons résultats, se basant sur la comparaison avec les résultats du MILP, pour les problèmes de petites tailles, il serait intéressant de faire une analyse statistique pour sa validation et aussi pour déterminer une classe de problèmes (taille, caractéristiques,...) où ce type d'heuristique garde sa performance. Aussi, l'analyse du cas le plus défavorable (worst case analysis) serait intéressante à envisager.

#### 4.3.4 REFLEXIONS RELATIVES AU SYSTEME MAGASIN:

Dans cette section, nous essaions de mettre en évidence un autre type de suggestions qui n'est pas lié à notre approche de résolution mais au magasin considéré comme un système.

##### La manutention:

La manutention mécanique exige l'emploi d'engins mécaniques de manutention: chariots élévateurs équipés de moteurs et chariots à transpalettes à propulsion électrique ou manuelle.

Dans ces cas, réellement, plus fréquents dans l'industrie, il est impératif de diminuer les manutentions et d'utiliser rationnellement la hauteur de stockage afin d'éviter l'encombrement des allées.

Les temps de parcours prévus et enregistrés doivent être constamment surveillés.

C'est selon les produits stockés qu'on choisit le matériel de stockage et le matériel de manutention.

La palettisation et le gerbage, c'est à dire la mise en pile les unes sur les autres de deux ou trois palettes chargées, permettent d'utiliser au mieux les capacités du magasin en surface, en hauteur et en volume.

Une application de la politique de rangement à un magasin utilisant ce type de stockage et reposant sur une étude détaillée des temps de manutentions pourra être d'un apport considérable.

##### La sécurité:

Un autre domaine pourrait être exploré, il s'agit de la sécurité dans un magasin.

Celle-ci est un facteur indissociable du fonctionnement normal d'un magasin que ce soit pour la protection des stocks ou bien du personnel y travaillant.



Les stocks sont à protéger contre les risques d'incendie et de perte. Des dispositions particulières sont prises pour les stocks de produits inflammables ou explosifs ou des produits périssables. Des extincteurs appropriés seront mis en place.

Quant aux conditions de travail du magasinier, elles sont prises en compte en adoptant un rangement approprié et rationnel des stocks de façon à éviter des mouvements fatiguants et dangereux.

Ces mesures strictes permettent de conserver un environnement salubre de travail.

Le problème de sécurité pourra consister à établir un compromis entre les coûts qu'elle nécessite et les pertes matérielles que son absence pourrait engendrer. Une étude concernant le choix du type de matériel, pour une meilleure sécurité du personnel et des stocks, et des méthodes appropriées de sécurité mérite d'être envisagée.

Cet ensemble de suggestions réfléchit quelques extensions du problème considéré qui méritent une attention. Aussi, des réflexions sur l'organisation d'un magasin sont soulevées, pour explorer au mieux ses problèmes.

## BIBLIOGRAPHIE

1. J. BUCHAN, E. KOENIGSBERG: Gestion scientifique des stocks  
Edition l'organisation (1958).
2. M. G. DELFOSSE: Les implantations, la manutention et les  
stocks  
Entreprise moderne d'édition. (1971).
3. R. W. EGGLESE: Heuristics in operations research  
In: "Recent developments in operationnal research"  
(V. Belton and R. M. O'KEEFE, Eds).  
Pergoman press, Oxford. (1986).
4. S. EILON, C. D. T. WATSON-GANDY and N. CHRISTOFIDES  
Distribution management: Mathematical Modelling and  
Practical Analysis , Griffin, London (1971).
5. A. R. FRANCOIS: Manuel d'organisation, Tome 2  
Les éditions d'organisation (1985).
6. M. MORIN: Comprendre la gestion des approvisionnement  
Editions d'organisation (1983).
7. E. SALIN: Gestion des stocks  
Les éditions d'organisation (1986).
8. H. M. WAGNER: Principles of operations research  
PRENTICE HILL (1969).
9. P. ZERMATI: La pratique de la gestion des stocks  
Dunod (1984).
10. S. SALHI: Gestion des stocks, notes de cours  
ENPA 1987-1988.



## ANNEXE 1

### VARIANTE DU PROBLEME CONSIDERE

Cette approche repose sur le problème d'affectation, voir Wagner [8]. Il s'agit d'assigner des produits dans des casiers, en satisfaisant la contrainte de capacité d'un casier et la contrainte en nombre de casiers existants et minimisant l'objectif du temps total de service.

Soit  $N_0$  le nombre de casiers déterminé par la première approche (problème relaxé de la contrainte du nombre de casiers).

Soit :

$$y(i) = \begin{cases} 1 & \text{si le casier est rempli d'un produit} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$\sum_i y(i)$  donne le nombre de casiers utilisés.

Soit :  $m$  le nombre de casiers existants.

Nous pouvons ajouter au problème (P) la contrainte suivante:

$$\sum y(i) \leq mc$$

avec  $mc = N_0, \dots, m$ .

En résolvant le problème pour toutes les valeurs de  $mc$ , on générera toutes les solutions réalisables du problème. Cela permet de déterminer toutes les dispositions possibles des produits dans les casiers en minimisant l'objectif du temps de service et satisfaisant les contraintes de capacité casier et capacité matérielle.

ANNEXE 2  
VARIANTE DE LA PROCEDURE HEURISTIQUE

Pour cette variante, l'objectif sera la minimisation de:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t(i) * f(j) * X(i,j)$$

les contraintes seront les mêmes que celles définies dans la première procédure.

**ALGORITHMME**

**PAS 0: Initialisation :**

E : Ensembles des articles non casé (Card[E] = N);

i : Indice de l'article;  $i = \overline{1, N}$ ;

j : Indice du casier;  $j = \overline{1, M}$ .

**PAS 1: Lecture des données**

Introduire:

- le nombre d'articles: N;
- la fréquence de sortie de chaque article: f(i);
- le volume occupé par chaque article: v(i);
- le nombre de casiers: M;
- les temps d'accession à chaque casier: t(j);
- le volume d'un casier: VT.

**PAS 2:**

1: Ordonnancement des casiers

Ordonner les casier dans l'ordre croissant de leur temps d'accessibilité ;

$$t(j) < t(j+1) \text{ pour tout } j = \overline{1, M-1}$$

2: Calcul de la matrice des coûts (A)

$$a(i,j) = t(j) * f(i); \quad i = \overline{1, M}; \quad j = \overline{1, N}$$

3: j=0



PAS 3: Début du traitement

$j=j+1$

$V=0$

$F=E$

PAS 4:

choisir l'article  $i^*$  tel que

$A(i^*,j) = \max_i \{ A(i,j) \}$

pour tout  $i \in (F \cap E)$

\*\* Test sur le volume \*\*

Si  $V + v(i^*) \leq VT$

alors:  $V = V + v(i^*)$

$E = E - \{ i^* \}$

aller au PAS 4

Sinon

$F = F - \{ i^* \}$  aller au PAS 5

PAS 5:

Si  $E \cap F = \{\emptyset\}$

alors: aller au PAS 3

Sinon aller au PAS 3

PAS 6:

Si  $E=\{\emptyset\}$  alors Stop

Sinon aller au PAS 3.

PAS 6: stop

## ANNEXE 3

### AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES DEUX MODELES DE GESTION DE STOCK P ET Q

Nous présentons dans cette partie quelques compléments sur les deux types de gestion de stock. En effet, leurs avantages et leurs inconvénients sont donnés pour différencier les types de situations auxquels ils sont appliqués.

#### MODELE DE GESTION DE TYPE Q:

Ces avantages et ces inconvénients sont :

##### 1: Avantages :

- suit de très près l'évolution du stock;
- minimise le risque de rupture;
- réalise un réapprovisionnement réflexe;
- détecte les fluctuations de consommation;
- et enregistre un stock de sécurité faible.

##### 2: Inconvénients :

- impose un enregistrement de tous les mouvements au fur et à mesure ou très fréquemment;
- impose de calculer le disponible théorique à chaque mouvement;
- rend difficile le regroupement de commandes chez un même fournisseur;
- et ne détecte pas les stocks morts.

##### 3: Articles préférentiels :

Ce type de gestion s'adapte aux articles suivants:

- les articles à variation de consommation assez importants.
- les articles représentant une forte valeur immobilisée (articles de la "classe A") : stock de sécurité plus faible.



## MODELE DE GESTION DE TYPE P:

Ces avantages et ces inconvénients sont:

### 1 : Avantages :

- permet une bonne organisation administrative;
- permet de réaliser un planning des approvisionnement;
- Permet de réguler la charge de travail;
- Réduction du travail administratif; en se dispensant de suivre le disponible du stock en permanence;
  
- Détecte les ralentissements de consommation et les articles qui ne tournent pas;
- Permet le regroupement des commandes chez un même fournisseur;
- S'apprete bien à l'informatisation de la gestion.

### 2 : Inconvénients :

- ne détecte pas l'accroissement de la consommation sur une période: le risque de rupture augmente;
- il faut à chaque fois calculer la quantité à approvisionner;
- et le stock de sécurité est plus grand que dans le système de gestion Q.

### 3 : Articles préférentiels :

Les articles pouvant faire l'objet d'une gestion de ce type sont:

- les articles à consommations stables ou à prévisions faciles et fiables;
- les articles représentant une assez forte valeur immobilisée, à consommation stable, sans aléas importants et à réapprovisionnement fréquent;
- et les articles représentant une faible valeur immobilisé (Articles de la classe "C"), à consommation stable, dont le stock de sécurité ne représente qu'une faible valeur.

ANNEXE 4  
PROGRAMME DE GENERATION DES NOMBRES ALEATOIRES

```

10 CLS
25 LOCATE 1 ,20 :PRINT                STRING$(44,220)
27 LOCATE 2 ,20 :PRINT "
30 LOCATE 3 ,20 :PRINT "      GENERATION D'UN PROBLEME DE STOCKAGE      "
35 LOCATE 4 ,20 :PRINT "      DES ARTICLES DANS UN MAGASIN      "
40 LOCATE 5 ,20 :PRINT STRING$(1,219) STRING$(42,220) STRING$(1,219)
50 LOCATE 7,1      :INPUT "DONNER LE NOM DU FICHIER DE SORTIE :"; NF$
70 OPEN "0",#1,NF$,156
80 LOCATE 8,4 :INPUT"Nbre d'articles      :"; NA : PRINT#1,NA
90 LOCATE 9,4 :INPUT"Nombre de casiers    :"; MC : PRINT#1,MC
100 LOCATE 10,4 :INPUT"Volume d'un casier  :"; VT : PRINT#1,VT
110 LOCATE 14,10:INPUT "Fréquence MIN  :"; A
111 LOCATE 15,10:INPUT "Fréquence MAX  :"; B
112 LOCATE 17,10:INPUT "Volume MIN     :"; C
113 LOCATE 18,10:INPUT "Volume MAX     :"; D
114 LOCATE 20,10:INPUT "Temps MIN      :"; E
115 LOCATE 21,10:INPUT "Temps MAX      :"; F
116 LOCATE 23,30 : PRINT "Début du traitement ... "
115 DIM T(MC)
116 FOR I=1 TO MC
117 T(I) = E+(F-E)*RND(I)
118 NEXT I
129 FOR I=1 TO MC - 1
131 FOR J=I+1 TO MC
133 IF T(I) <= T(J) THEN 137
135 SWAP T(I),T(J)
137 NEXT J
139 NEXT I
140 FOR I=1 TO NA :
150 PRINT#1, I, A+INT((B-A)*RND(I)), C+INT((D-C)*RND(I))
160 NEXT I
177 FOR I=1 TO MC : PRINT#1, T(I) :NEXT I
178 PRINT#1, "FIN"
180 PRINT SPC(30) "Fin du traitement "
200 END

```



## ANNEXE 5

```

10 REM !-----!
20 REM !   Programme de casification optimale des articles d'un   !
30 REM !   magasin de stockage                                   !
40 REM !-----!
50   CLS
60 AG=0 :V=0 :TCA=0
70 LOCATE 10,1: INPUT "NOM du fichier de LECTURE des données  :";NF$
80 OPEN "I",#1,NF$
90 LOCATE 15,1: INPUT "NOM DU FICHIER DE SORTIE DES RESULTATS  :";SR$
100 OPEN "O",#2,SR$
110 REM   *****   Lecture des données   *****
120 INPUT "TAUX DE VIDE (%)" :";VIDE
130   INPUT#1,   N   :REM N   nombre d'article
140   INPUT#1,   C   :REM C   nombre de casier
150   INPUT#1,   VT  :REM VT  volume d'un casier
160 DIM F(N,15), R(N), FR(N), Q(N), TT(N)
170 VT = (1 - VIDE/100) * VT
180 PRINT#2,"Nombre d'Articles      :";N :PRINT#2,
190 PRINT#2,"Nombre de Casiers      :";C :PRINT#2,
200 PRINT#2,"Volume d'un casier     :";VT
210   FOR I=1 TO N
220     FOR J=1 TO 3
230       INPUT#1, F(I,J)
240     NEXT J
250   NEXT I
260   FOR I=1 TO C : INPUT#2, TT(I) : TCA = TCA + TT(I) : NEXT I
270   FOR I = 1 TO N
280     K = F(I,3) \ VT
290     F(I,3) = F(I,3) - K * VT
295     IF F(I,3) = 0 THEN F(I,3) = 1
300   NEXT I
310   FOR I=1 TO N
320     V=V+F(I,3) : Q(I)=F(I,3) : FR(I)=F(I,2)
340   NEXT I
350 REM   Ordonnement des Articles suivant l'ordre décroissant de
360 REM   leurs fréquences
370   FOR I=1 TO N-1
380     FOR J=I+1 TO N
390       IF F(J,2)<= F(I,2) THEN 410
400       SWAP F(J,1) , F(I,1) :SWAP F(J,2),F(I,2) :SWAP F(J,3),F(I,3)
410     NEXT J
420   NEXT I
430 REM   Ordonnement des casier suivant l'ordre croissant de leurs
431 REM   temps d'accessibilités
432   FOR I=1 TO C-1
434     FOR J=I+1 TO C
436       IF TT(I) >TT(J) THEN SWAP TT(I), TT(J)
438     NEXT J
440   NEXT I
445 PRINT SPC(19) "RECHERCHE DE LA SOLUTION REALISABLE"
450 AG=0:I=0

```

```

460 I=I+1
470 J=I
480 R(I)=1 : F(I,4)=F(I,1)
490 J=J+1 : IF J > N-AG THEN 590
500 IF F(I,3)+F(J,3) > VT THEN IF J. < N-AG THEN GOTO 490 ELSE GOTO 590
510 R(I)=R(I)+1 : AG=AG+1
520 F(I,2)= F(I,2) + F(J,2):      F(I,3)=F(I,3)+F(J,3)      :F(I,R(I)+3)=F(J,1)
530 FOR IB=J TO N-AG
540     F(IB,1)=F(IB+1,1) :      F(IB,2)=F(IB+1,2) :      F(IB,3)=F(IB+1,3)
550 NEXT IB
560     IF R(I) > RMAX THEN RMAX=R(I)
570     IF     J < N-AG     THEN 500
580 FOR I=C+1 TO N-AG           : TT(I)= TCA                : NEXT I
590     IF     I < N-AG     THEN 460
600 BEEP : CLS           :      REM  S O L U T I O N
610 LOCATE 1,20:PRINT "----- S O L U T I O N -----"
620 PRINT#2, TAB(20) "----- S O L U T I O N -----"
630 Y=3
640 FOR I=1 TO N-AG
650 GOSUB 1210
660 NEXT I
670 PRINT#2, STRING$(80,196) : BEEP
680 REM      ***** 1IER Raffinage de la solution *****
690 REM
700 LOCATE 25 ,20:PRINT "Pour continuer APPUYER sur une touche"
705 xxxx$=INPUT$(1)
710 CLS: LOCATE 10,5
720 INPUT "Voulez vous raffiner la solution trouvée (O/N)";CHOIX$
730 IF CHOIX$="N" OR CHOIX$="n" THEN 1180
740 IF CHOIX$="O" OR CHOIX$="o" THEN 750 ELSE CLS :BEEP : GOTO 710
750 LOCATE 23,10
760 REM      -----
770 PRINT SPC(15) "Début du 1ier Raffinage "
780 REM      -----
790     FOR I=1 TO N-AG -1
800     FOR J= I+1 TO N-AG
810         IF F(I,2) >= F(J,2) THEN 860
820         SWAP R(I),R(J)
830     FOR K=2 TO RMAX +3
840         SWAP F(I,K) , F(J,K)
850     NEXT K
860     NEXT J
870     NEXT I
880     FOR I=1 TO N-AG
890     TO = TO + TT(I)*F(I,2)
900     NEXT I
910 BEEP : CLS : REM      AFFICHAGE S O L U T I O N RAFFINEE
930 PRINT#2, TAB(20) "##### S O L U T I O N R A F F I N E E #####"
940 Y=3
950 FOR I=1 TO N-AG
960 GOSUB 1210
970 NEXT I
980 LOCATE 23,10 : PRINT "Coût total de service (1ieme Raffinage)      :";TO
990 PRINT#2, "Coût total du service (1ieme Raffinage)      :";TO
1000 PRINT#2, STRING$(80 , 240)
1010 REM      ***** 2EME Raffinage *****
1020 BEEP

```



```

1030 LOCATE 25 ,20:PRINT "Pour continuer APPUYER sur une touche"
1040 XXXX$=INPUT$(1)
1050 CLS: LOCAHE 10,5
1060 INPUT "Voulez vous un 2IEME Raffinage de la solution trouvee (O/N)";CHOIX$
1070 IF CHOIX$="N" OR CHOIX$="n" THEN 1180
1080 IF CHOIX$="O" OR CHOIX$="o" THEN 1090 ELSE CLS :BEEP :GOTO 1050
1090 LOCATE 23,10
1100 PRINT " DEBUT DE TRAITEMENT ..."
1110 GOSUB 1400
1120 BEEP: BEEP: REM          ***** Affichage de la solution *****
1130 FOR I=1 TO N-AG
1140     GOSUB 1210
1150 NEXT I
1160 LOCATE 23 ,15 :PRINT      " TEMPS TOTAL DE SERVICE : " TO
1170     PRINT#2, " TEMPS TOTAL DE SERVICE : " TO
1180 LOCATE 25,10: PRINT " ***** F I N *****"
1190 END
1200 REM -----Procedure D'affichage des resultats-----
1210 Y=Y+1
1220 LOCATE Y,1:PRINT "CASIER" I SPC(5) "Article(s) " ;
1230 PRINT#2," CASIER" I SPC(15) ;"VOLUME OCCUPE="F(I,3)*100/VT; "%"
1240 PRINT#2, SPC(5) "Article(s) " ;
1250 FOR J=1 TO R(I)
1260     PRINT F(I,J+3); : PRINT#2, F(I,J+3);
1270 NEXT J
1280 PRINT#2,: PRINT#2,:PRINT#2,
1290 IF Y<23 THEN RETURN
1300 GOSUB 1330
1310 LOCATE 1,50:PRINT "(Suite)"
1320 RETURN
1330 LOCATE 25 ,20:PRINT "Pour continuer APPUYER sur une touche":xxxx$=INPUT$(1)
1340 FOR K=2 TO 25
1350     LOCATE K,1:PRINT STRING$(80,255)
1360 NEXT K
1370 Y=3
1380 RETURN
1390 REM
1400 REM          _____ Procedure du 2IEME raffinage _____
1410 I=0
1420 IF R(I) <> 1 THEN 2000
1430 FOR K=1 TO N-AG
1440     IF K=I OR R(K)=1 THEN 1990
1450     FOR J=1 TO R(K)
1460         ZZ=F(K,3) - Q(F(K,J+3)) +Q(F(I,4))
1470         IF ZZ>VT THEN 1980
1480     FOR K1=1 TO N-AG
1490         IF K1=K OR K1=I THEN 1970
1500         XY=F(K1,3) + Q(F(K,J+3))
1510         IF XY>VT THEN GOTO 1970
1520 REM ----- Translation des donnees -----
p530     DIM A(N-AG,RMAX+3), AR(N-AG)
1540     FOR LL=1 TO N-AG-1
1550         IF LL >= I THEN R=1 ELSE R=0
1560         AR(LL)=R(LL+R)
1570     FOR LJ=2 TO RMAX+3
1580         A(LL,LJ) = F(LL+R,LJ)

```

```

1590 NEXT LJ
1600 NEXT LL
1610 IF I < K THEN SK = 1 ELSE SK = 0
1620 IF I < K1 THEN SK1 = 1 ELSE SK1 = 0
1630 A(K - SK , J + 3) = F(I , 4)
1640 A(K1-SK1,R(K1)+4) = F(K , J+3)
1650 A(K-SK , 2) = A(K-SK , 2) + FR(F(I , 4)) - FR(F(K , J+3))
1660 A(K-SK , 3) = ZZ
1670 A(K1-SK1 , 2) = A(K1-SK1 , 2) + FR(F(K , J+3))
1680 A(K1-SK1 , 3) = XY
1690 AR(K1-SK1) = AR(K1-SK1) + 1
1700 AMAX = RMAX : IF AMAX < AR(K1-SK1) THEN AMAX = AR(K1-SK1)
1710 REM ----- Solution provisoire -----
1720 FOR LI=1 TO N-AG-2
1730 FOR LJ=LI+1 TO N-AG-1
1740 IF A(LI,2) >= A(LJ,2) THEN GOTO 1790
1750 SWAP AR(LI) , AR(LJ)
1760 FOR LK = 2 TO RMAX + 4
1770 SWAP A(LI,LK),A(LJ,LK)
1780 NEXT LK
1790 NEXT LJ
1800 NEXT LI
1810 T = 0
1820 FOR LI = 1 TO N-AG-1
1830 T = T + TT(LI) * A(LI,2)
1840 NEXT LI
1850 IF T>TO THEN : GOTO 1970 : REM ----- Refus de cette solution -----
1860 BEEP : REM ----- Acceptation de cette solution -----
1870 AG = AG + 1
1880 TO = T
1890 RMAX = AMAX
1900 DIM F(N-AG, RMAX) , R(N-AG)
1910 FOR LI = 1 TO N-AG
1920 R(LI) = AR(LI)
1930 FOR LJ = 2 TO AMAX+3
1940 F(LI,LJ) = A(LI,LJ)
1950 NEXT LJ
1960 NEXT LI .
1970 NEXT K1
1980 NEXT J
1990 NEXT K
2000 IF I<= N-AG THEN I=I+1 : GOTO 1420 ELSE GOTO 2010
2010 RETURN :REM ----- Fin de la 2IEM procedure -----
2020 REM -----

```



