

Université A. Arrahmane Mira- Bejaia
Faculté des sciences économique, commerciales et des sciences de gestion
Département des sciences commerciales

MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

**En vue de l'obtention du diplôme de Master en sciences
commerciales**

Option: Logistique et distribution

Thème :

**Optimisation des coûts de transport
Cas
*SOVAC-Bouira***

Élaboré par :

- M^r. MOUAICI Mouloud
- M^{elle}.REMACI Saida

Encadré par :

M^r. HARICHE K.

Devant un jury composé de :

- Président : M^r. KASSA
- Examineur : M^r. CHITI M.
- Rapporteur : M^r. HARICHE K.

**Année universitaire
2015/2016**

Résumé :

Le transport est un élément important et présent dans l'entreprise depuis longtemps. La tendance est à la réduction des coûts de transport. Le transport apparaît donc comme un maillon indispensable de la chaîne logistique qui assure la liaison entre les différents étages du système logistique.

Le problème de transport est un cas particulier de la programmation linéaire, cette dernière est un problème d'optimisation consistant à maximiser ou à minimiser une fonction-objectif (fonction économique) de n variables de décision soumises à un ensemble de contraintes exprimées sous forme d'équations ou d'inéquations linéaires.

Les modèles d'affectation et de transbordement sont des deux cas particuliers d'un problème de transport.

Mots clés : logistique, chaîne logistique, transport, problème de transport, modèle, programmation linéaire, affectation, transbordement.

Abstract:

Transportation is an important and present in the business a long time. The trend is to reduce transport costs. Transport thus appears as an essential link in the logistics chain that links between the different stages of the logistics system.

The transportation problem is a special case of linear programming, the latter is an optimization problem of maximizing or minimizing an objective function (objective function) of n decision variables subject to a set of constraints expressed in the form equations or inequalities linear.

Assignment models and transshipment are two special cases of a transport problem.

Keywords: logistics, supply chain, transportation, transportation problem, model, linear programming, assignment, transshipment.

A toute ma famille

A tous mes amis (es)

Mouloud

« Un seul être vous manque et tout est dépeuplé »

Lamartine

À la mémoire de mon cher frère BELKACEM

Saïda

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier avant tout DIEU le tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté de finaliser ce travail ;

Mr. HARICHE, nous vous sommes sincèrement reconnaissants pour toutes les précieuses directives prodiguées durant notre travail ;

Nous adressons aussi notre gratitude à Mr. MOULAI Samir pour son ouverture d'esprit et sa générosité tout au long de notre stage ;

Notre reconnaissance s'adresse aussi à tous le personnel de Sovac;

Nous présentons également nos remerciements aux membres du jury qui nous font l'honneur d'évaluer notre travail.

Liste des figures

<i>Graphe</i>	<i>titre</i>	<i>page</i>
<i>Figure n°1</i>	<i>Une représentation de la chaîne logistique</i>	<i>15</i>
<i>Figure n°2</i>	<i>Illustration de l'affrètement</i>	<i>17</i>
<i>Figure n°3</i>	<i>Illustration du groupage</i>	<i>18</i>
<i>Figure n°4</i>	<i>Illustration de la messagerie</i>	<i>18</i>
<i>Figure n°5</i>	<i>Illustration du transport express</i>	<i>19</i>
<i>Figure n°6</i>	<i>Fonctions principales de la chaîne logistique</i>	<i>21</i>
<i>Figure n°7</i>	<i>Le cercle vertueux du transport</i>	<i>23</i>
<i>Figure n°8</i>	<i>Le principe du cross-docking</i>	<i>25</i>

Liste des abréviations

<i>1PL</i>	<i>First Party Logistics</i>
<i>2PL</i>	<i>Second Party Logistics</i>
<i>3PL</i>	<i>Third Party Logistics</i>
<i>4PL</i>	<i>Fourth Party Logistics</i>
<i>BBA</i>	<i>Bordj Bouarriridj</i>
<i>CD</i>	<i>Cross Docking</i>
<i>GMS</i>	<i>Grand Magasin Spécialisé</i>
<i>MOSTA</i>	<i>Mostaganem</i>
<i>NTIC</i>	<i>Nouvelles Technologies de l'Information et de Communication</i>
<i>SAV</i>	<i>Service Après Vente</i>
<i>SCM</i>	<i>Supply Chain Management</i>
<i>T.Veh</i>	<i>Type de véhicule</i>
<i>TMS</i>	<i>Transport Management System</i>
<i>UM</i>	<i>Unité Monétaire</i>
<i>VAD</i>	<i>Vente A Distance</i>
<i>VP</i>	<i>Véhicule Particulier</i>
<i>VU</i>	<i>Véhicule Utilitaire</i>
<i>WMC</i>	<i>Warehouse Management System</i>

Liste des annexes

<i>annexe</i>	<i>titre</i>
<i>Annexe n°1</i>	<i>Etat de livraison du parc Bordj bouarriridj</i>
<i>Annexe n°2</i>	<i>Etat de livraison du parc Alger</i>
<i>Annexe n°3</i>	<i>Etat de livraison du parc Mostaganem</i>
<i>Annexe n°4</i>	<i>Coûts unitaires de transport</i>

Liste des tableaux

<i>Tableau</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
01	Structure du problème de transport	35
02	Structure du problème d'affectation	64
03	Etat de livraison du parc BBA du 01/10/2015 au 31/01/2015	80
04	Etat de livraison du parc Alger du 01/10/2015 au 31/01/2015	81
05	Etat de livraison du parc MOSTA du 01/10/2015 au 31/01/2015	82
06	Etat de livraison du parc BBA après l'application du modèle	98
07	Etat de livraison du parc Mosta après l'application du modèle	99
08	Etat de livraison du parc Alger après l'application du modèle	100

ANNEXES

TABLE DES MATIÈRES

Introduction générale	01
Chapitre 01: Le transport routier de marchandises au sein de la chaîne logistique	04
<i>Introduction</i>	04
Section 01 : Le cadre conceptuel de la logistique d'entreprise	04
1-1 - Définitions de la logistique	04
1-2 - Les fonctions logistiques.....	06
1-2-1- Les activités en amont.....	07
1-2-2- Les activités en aval	08
1-2-3- La logistique inverse	08
1-3 - Les moyens logistiques	09
1-3-1- L'infrastructure logistique	10
1-3-2- Les systèmes et outils d'exploitation	11
1-3-3- L'externalisation.....	12
Section02 : La chaîne logistique et le transport	13
2-1 La chaîne logistique et le transport	13
2-1-1- La chaîne logistique	13
2-1-2- La place du transport routier	15
2-1-3- Les offres de transport.....	16
2-1-3-1- L'affrètement	16
2-1-3-2- Le groupage	16
2-1-3- 3- La messagerie	17
2-1-3-4- Le transport express	18
2-2 La gestion de la chaîne logistique	19
2-2-1- Les principales fonctions de la chaîne logistique	20
2-2-2- La fonction distribution/ transport	22
2-3 Les pratiques actuelles et les nouvelles tendances dans le transport.....	24
2-3-1- L'externalisation des chaînes d'approvisionnements	24

2-3-2- La pratique de la mutualisation	24
2-3-3- Le cross-docking	25
2-3-4- Le transbordement	26
2-3-5- Le Transport Management Système	27
Conclusion	27
Chapitre 02 : Structure d'un problème de transport	30
Introduction	30
Section 01: Techniques de résolution de problème du probleme de Transport	30
1-1 Formulation du problème de transport	30
1-1-1- Étapes de résolution du problème de transport	34
1-1-2- Les méthodes heuristiques de calcul d'une solution de base admissible ...	35
1-1-2-1- La méthode du coin nord-ouest.....	39
1-1-2-2-La méthode des coûts minimums.....	44
1-1-2-3- La méthode de Vogel	47
1-1-3- Recherche de solution optimale	52
Section 02 : Traitement d'un problème de transport avec des cas particuliers ..	62
2-1 Le modèle d'affectation	62
2-2 Le modèle de transbordement	70
Conclusion	70
Chapitre 03 : structure d'un problème de transport au niveau de Sovac	73

<i>Introduction</i>	73
<i>Section 01 : présentation de l'entreprise Sovac</i>	73
1- Petite leçon d'histoire	73
2- Le groupe Volkswagen en Algérie	74
3- Fiche technique	74
4- Historique de Sovac	75
5- Organisation	75
6- Marques	77
7- Services après-ventes	77
8- Politique des Ressources humaines	78
9- Axes de développement stratégiques	78
<i>Section 02 : formulation et résolution d'un problème de transport au niveau de Sovac</i>	79
1- Formulation du problème de transport au niveau de Sovac.....	79
2- Méthode des coûts minimums.....	86
3- Methode coin nord-ouest.	90
4- Methode de Vogel.....	94
5- Solution informatique	101
<i>Conclusion</i>	101
<i>Conclusion générale</i>	104

Introduction générale

Le secteur de la logistique s'est fortement développé ces dernières années et devient un acteur majeur de l'organisation économique actuelle. Il permet la circulation et la gestion des flux de marchandises et d'information entre les différents maillons de la chaîne de production et de distribution.

L'ouverture des marchés, le développement des infrastructures et l'importance de nouvelles possibilités en matière d'échange de données conduisent un nombre croissant d'entreprises à définir leur activité en termes de flux matériels et informationnels. La logistique doit intégrer les flux d'approvisionnement, de production et de distribution dans un système global, cohérent et rentable. Elle doit aussi, assurer le pilotage de ce système, son adaptation rapide et souple à l'évolution des marchés.

Une des manifestations les plus évidentes des activités logistiques est la croissance du transport de marchandises en raison de l'expansion du commerce mondial. La mondialisation de l'industrie, notamment des activités de planification, d'approvisionnement, de fabrication et de commercialisation a abouti à une plus grande complexité du commerce et à un développement des réseaux de transport.

Un produit fini livré au client passe par des étapes successives d'achat et d'approvisionnement, de production et de distribution. Une opération commune prend place dans chacune des opérations : l'opération qui consiste à transporter les flux physiques : depuis les fournisseurs vers les usines où seront réalisées les opérations de fabrication ; au sein même des usines entre les différentes ressources de fabrication (on parle là de transfert) ou depuis les magasins de produits finis vers les clients finaux ou les entrepôts de distribution finaux.

L'activité de transport ne se résume pas à de simples déplacements physiques des biens qu'il conviendrait d'optimiser en termes de coûts, de temps ou de coûts non monétaires (sécurité, confort...). L'activité de transport combine en effet de plus en plus d'autres opérations (traitement des flux d'information, opération de traitement des marchandises...) ce qui rend difficile sa représentation uniforme par le biais des flux physiques, et son traitement indépendamment de la logistique. On observe donc une diversité de situations de transport, en fonction des prestations logistiques ajoutées.

Si transport et logistique doivent se considérer conjointement, ils doivent aussi faire état de leurs liens avec les modes de fonctionnement des entreprises. Les processus logistiques doivent en effet composer avec un certain nombre de contraintes productives (nature de la

Introduction générale

demande, modèles de production, types de ressources utilisées, types de produits...) qui résultent pour leur part des caractéristiques des échanges et des interactions entre les acteurs. Les relations avec les autres acteurs de la chaîne productive (fournisseurs, clients, sous-traitants...) conditionnent l'organisation des flux, et donc les besoins de transport.

La place du transport et de la logistique est surtout liée aux conditions dans lesquelles la firme exerce son activité. Ce sont les contraintes d'approvisionnement, de production, de distribution qui font émerger des besoins d'organisation des flux et des besoins de transport, auxquels il faut répondre de manière adaptée.

C'est en 1941 que Frank L¹. a formulé pour la première fois le problème de transport, qui consiste à minimiser le coût de transport total d'un plan d'expédition.

Un problème de transport est un programme de minimisation du coût de transport. C'est un problème qui s'inscrit dans la lignée de programmes linéaires, il a pour but d'acheminer au moindre coût des marchandises depuis m origines vers n destinations.

La problématique et la méthodologie de recherche :

Problématique :

L'objectif de notre travail est d'étudier les différentes méthodes qui nous permettent de formuler et de résoudre un problème de transport au niveau d'une plate-forme logistique « Sovac ».

Dans ce contexte, la présente étude a pour objectif de répondre à la problématique suivante :

- Quelle est la méthode d'élaboration d'un meilleur plan d'expédition des véhicules importés depuis les parcs vers les différents points de ventes qui permet l'amélioration de la performance de l'entreprise Sovac ?

¹ Amor Farouk, Benghazal, « *programmation linéaire* », office des publications universitaires(OPU), 2006, P.3.

Introduction générale

De cette question centrale, on peut dégager des questions auxiliaires :

- Le personnel de cette entreprise dispose-t-il des qualifications et des compétences nécessaires pour la mise en œuvre des techniques modernes de gestion notamment les techniques de recherches opérationnelles conçues pour la résolution des problèmes de transport ?
- Quelles sont les pratiques adoptées par les dirigeants de cette entreprise pour élaborer leur plan d'expédition des véhicules importés ?

Afin d'entamer notre étude, nous avons élaboré quelques hypothèses que nous tenterons de vérifier par les conclusions tirées :

- Les techniques de la programmation linéaires et particulièrement les techniques de transport permettent de trouver la meilleure façon d'acheminer les véhicules importés depuis les sources (parcs) vers les différents points de vente (concessionnaires) ; ce qui débouche par voie de conséquence sur l'amélioration de la performance de l'entreprise en question ;
- Le coût unitaire de transport et le chiffre d'affaires réalisé qui sont les facteurs déterminants (critères prépondérants) dans l'élaboration d'un plan d'expédition ;
- La plupart des entreprises algériennes qui sont gérées par des pratiques managériales traditionnelles, l'entreprise Sovac ne dispose pas d'un personnel ayant des compétences et qualifications suffisantes leur permettant de mettre en œuvre les techniques modernes de gestion notamment les techniques de recherche opérationnelle conçues pour la résolution des problèmes de transport ;
- L'entreprise Sovac ne dispose pas d'une structure chargée de la collecte et traitement de données utiles et détaillées pour répondre aux besoins informationnels des dirigeants et sur lesquels ils peuvent s'appuyer pour appliquer ces techniques de transport.

Méthodologie de l'étude :

L'étude se basera sur un certain nombre d'outils et de méthodes qui faciliteront le recueil d'informations en vue de leur traitement. Il s'agira de la recherche documentaire, des entretiens avec le personnel chargé du transport puis des observations directes sur le terrain.

Pour répondre à nos préoccupations, confirmer ou infirmer nos suppositions, nous avons scindé notre travail en trois chapitres.

Le premier chapitre se veut un chapitre introductif au travail de thèse. Nous y relatons les différents concepts liés à la chaîne logistique et supply chain management (SCM) jugés utiles, voire essentiels pour la construction progressive de notre problématique et les réponses à y apporter, ainsi que sur le transport et sa place au sein de la chaîne logistique.

Pour continuer dans le deuxième chapitre, nous nous proposons dans un premier temps les différentes techniques de résolution de problème de transport pour ensuite exposer les deux cas particuliers pour le traitement du problème de transport.

Le troisième chapitre, composé de deux sections, la première consacrée à la présentation de l'entreprise « Sovac », la deuxième section quant à elle concerne la mise en œuvre du modèle de programmation linéaire proposé au second chapitre sur un cas d'étude de problème de transport au niveau de l'entreprise en question.

***CHAPITRE 01 : le transport
routier de marchandise au sein
de la chaine logistique***

L'objectif de toute entreprise commerciale est de livrer des produits à ses clients, en quantité demandée, dans le lieu demandé, à la date demandée et aux moindres coûts. Il est donc clair que le bon fonctionnement d'une entreprise repose essentiellement sur la maîtrise de ses flux physiques.

Ce présent chapitre est divisé en deux sections, la première est dédiée au cadre conceptuel de la logistique dans l'entreprise. La deuxième section présente notamment la chaîne logistique et le transport, en insistant sur la place du transport routier et les différentes offres de transport routier qui existent.

Section 01 : Le cadre conceptuel de la logistique d'entreprise

La logistique à trait à l'ensemble des opérations qui permettent de mettre à disposition le bon produit au bon moment, au bon endroit à moindre coût.

1-1- Définitions de la logistique :

On peut définir la logistique comme l'ensemble des activités ayant pour but la mise en place, au moindre coût, d'une quantité de produits, à l'endroit et au moment où une demande existe. La logistique concerne donc toutes les opérations déterminant le mouvement des produits : localisation des usines et des entrepôts, approvisionnement, gestion physique des encours de fabrication, emballage, stockage et gestion des stocks, manutention et préparation des commandes, transport et tournées de livraison.

D'après le dictionnaire Larousse 2010, il existe deux définitions pour le terme logistique. Il y a l'adjectif qui correspond à l'ensemble des opérations permettant aux armées de vivre, de se déplacer, de combattre, d'assurer les évacuations ainsi que le traitement médical du personnel. La logistique, nom féminin, signifie, quant à lui l'ensemble des méthodes et des moyens liés à l'organisation d'un service, d'une entreprise, et comprenant les manutentions, les transports, les conditionnements et parfois même les approvisionnements¹.

Sommairement, on peut définir la logistique comme étant un mode de gestion qui regroupe l'ensemble des opérations physiques dans l'entreprise. Dès 1948, le comité de l'American Marketing Association définit la logistique comme le déplacement et la

¹ Dictionnaire Larousse en ligne : <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/logistique/47678>.

Chapitre 01: Le transport routier de marchandises au sein de la chaîne logistique

manutention de biens du point de production jusqu'au point de consommation ou d'utilisation².

Cette approche de la logistique ne prend en compte que la partie transport et distribution.

Quelques années après, en 1973, « gestion de toutes les activités qui contribuent à la circulation des produits et à la coordination de l'offre et de la demande dans la création d'utilités par la mise à disposition de marchandises en un lieu et un moment donné »⁷. Il donnera par la suite, en 1977, l'un des grands experts en logistique, James L. Heskett propose la définition suivante où il insistera davantage sur la notion de niveau de service, cela amènerait à une optimisation à moindres coûts. Selon J. L. Heskett, la logistique réunit les fonctions qui gèrent les flux de marchandises, « la coordination des ressources et des débouchés », en effectuant un taux de service fixé pour un coût réduit³.

En ce qui concerne l'entreprise, la définition de logistique a pris sa base dans le domaine militaire et bien entendu a été adaptée. Des experts en logistique et transport ont aujourd'hui encore une approche semblable à celle de D. Tixier et il est indiqué sur leur site que la logistique correspond à l'art de gérer les différents flux pour un meilleur coût. Cela concerne à la fois les flux de produits, mais aussi, et surtout les flux d'informations associés aux flux physiques, du fournisseur initial jusqu'au client final : le consommateur. La logistique permet l'adéquation entre la demande, qui émane des clients et l'offre proposée par les industriels, cela implique également une meilleure rentabilité des investissements⁴.

Cette explication détermine bien les différents flux qui interviennent dans la logistique et la différence est notable avec les précédentes définitions.

En résumé, on peut dire que la logistique correspond à la gestion des flux financiers, informationnels, physiques que va rencontrer l'entreprise. La logistique est essentielle pour la firme, car c'est cette dernière qui va permettre l'optimisation des ressources et la réduction des coûts.

Selon Donald J. Bowerson et David J. Closs⁵, pour atteindre la performance logistique, la firme doit arriver à combiner différents éléments :

² D. Tixier, H. Mathe et J. Collin, « *La logistique d'entreprise* », Dunod, 1996, P. 28.

³ J.L. Heskett, « *Logistics : essential to strategy* », *Harvard Business Review*, nov.-déc. 1977, traduit par « La logistique, élément clé de la stratégie », *Harvard-L'Expansion*, n°8, P. 41.

⁴ Les spécialistes transport-logistique.org.

⁵ D. J. Bowerson D. J. Closs « *Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process* », McGraw-Hill, 1996, P.33.

Chapitre 01: Le transport routier de marchandises au sein de la chaîne logistique

- L'information est nécessaire et indispensable aux échanges et permet la planification de la production. Les technologies, l'Échange de Données informatisées permet d'obtenir des informations plus fiables et en temps réel.
- L'entreposage, la manutention et l'emballage ne doivent pas être négligés. Ce sont des fonctions qui vont impacter directement la qualité des produits, la capacité de livrer rapidement le client ainsi que la mise en place d'une traçabilité des biens.
- Le stockage va être déterminant pour le niveau de service rendu au client. L'entreprise va chercher à limiter les investissements ainsi que les coûts liés aux stocks.
- Le transport est un élément important et présent dans l'entreprise depuis longtemps. La tendance est à la réduction des coûts de transport.
- La mise en place d'un réseau logistique est l'élément essentiel de la performance logistique, car elle va désigner le nombre d'acteurs, les tâches respectives et leur emplacement. Il s'agit des usines, des magasins, des entrepôts...

Ces différentes composantes doivent être inter relié entre elles pour pouvoir atteindre une logistique performante.

1-2- Les fonctions logistiques :

La fonction logistique prend en charge la gestion des flux matières (ou marchandises) et s'intéresse à leur environnement. L'environnement est constitué, pour la logistique, les ressources (ressources humaines, ressources d'énergie et carburants, etc.), des biens nécessaires à la réalisation de la prestation logistique (entrepôts, outillages, machines, etc.) et des services (emballages, fournitures, transport, contrôle de gestion, systèmes d'informations).

Ainsi, en vue d'arriver à ses fins, elle est appelée à occuper au sein de l'entreprise les fonctions suivantes :

- Organisation des flux : définir les flux entre son entreprise et ses fournisseurs d'une part, ses clients d'autre part, définir les flux entre les différents sites (production, stockage, distribution, commercialisation) au sein même de l'entreprise.
- Planification : en fonction des besoins des clients, des contraintes des fournisseurs et des moyens dont dispose l'entreprise (ressources humaines et moyens de production), planifier (à court, moyen, long terme) la production, le stockage, l'expédition et la livraison des produits.

- Achat : identifier et choisir les fournisseurs possibles par composant, négocier et optimiser les conditions d'achat (prix, qualité, délais), engager des relations de partenariat avec ses fournisseurs afin de les faire progresser dans le même rythme que son entreprise.
- Approvisionnement : assurer la mise à disposition des composants nécessaires à l'outil de production, en fonction des besoins des clients.
- Production : c'est un maillon de la chaîne logistique puisque les opérations de transformation des produits mettent en œuvre des moyens humains (effectif), matériels (machines) et techniques dont les flux sont à planifier.
- Distribution : organise et pilote la mise à disposition des composants aux unités de production, et de produits finis auprès des clients. Ces flux physiques intègrent le transport (route, mer, fer, air, etc.) et la manutention (manuelle ou automatisée).
- Soutien logistique : maintenir chez le client le produit vendu en état de fonctionnalité au travers du service après-vente, et donc mettre à disposition des pièces de rechange, maîtriser le retour des composants usagés, ainsi que leur destruction ou recyclage.

Il existe une interaction très forte entre la logistique et l'ensemble des autres départements de l'entreprise. La logistique est donc menée à gérer des interfaces entre de nombreuses entités (à l'intérieur et l'extérieur de l'entreprise), aux intérêts divergents. Son rôle est celui d'un médiateur devant proposer de solutions logistiques optimales dans l'intérêt de l'entreprise.

À travers ses fonctions, la logistique mène plusieurs activités arbitrairement subdivisées comme : activités « amonts » (de la production à l'entrepôt) ; activités « aval » (de l'entrepôt à la consommation) et activités « retours » (de la consommation à la production).

1-2-1- Les activités en amont :

Elles comprennent :

- Le développement et la recherche de ressources d'approvisionnement, dans ou à l'extérieur de l'entreprise cliente, par l'établissement de relation avec des fabricants (dénommés producteurs, industriels, fournisseurs ou sous-traitants) ; des prestataires

de services (appelés sous-traitants ou encore commissionnaires de transport ou transporteurs).

- L'approvisionnement qui induit la notion de « commande », de bons de commande (à l'extérieur) ou de « demandes, bons ou ordres de fabrication ou de livraison, etc. » (à l'intérieur) et de fournisseurs.
- Le transport amont et les prestations de douane pour acheminer les marchandises (produits finis ou matériaux, composants, etc.) vers un pont de stockage ou une plate forme de préparation de commande.

1-2-2- Les activités en aval :

Celles-ci comprennent :

- Le stockage en entrepôt (entreposage)
- Le suremballage (copacking), la constitution, le conditionnement et l'adressage, etc.
- La préparation de commande qui peut porter d'autres noms : « la répartition » pour les entreprises de secteur pharmaceutique (en incluant sous cette dénomination le « stockage » et le « transport en aval ») ; « l'éclatement » pour les entreprises du secteur alimentaire frais (qui représente un seul passage à quai sans stockage, avec répartition et chargement immédiat de véhicules).
- Le transport aval (après le lieu de stockage), qui se décompose en « traction », c'est à dire le transport jusqu'à un point de répartition ou d'éclatement ou de mise en tournées ; « passage à quai », pour éclater, répartir ou mettre en tournées sur d'autres véhicules ; « distribution », c'est-à-dire le transport de dernier kilomètre vers une entreprise (business to business) ou vers un particulier (business to consumer).

1-2-3- La logistique inverse :

On entend par logistique retour ou Reverse Logistics, la gestion de l'acheminement de marchandises, généralement hors d'usage, du point de fabrication (en l'occurrence, le consommateur final) jusqu'au point de réparation, de recyclage ou de destruction définitive et totale.

La logistique inverse concerne en effet deux types d'activités tout à fait différentes, mais qui ont toutes la caractéristique de ne pas être des flux de produits allant du producteur au consommateur :

– le recyclage dans l'économie de l'ensemble des déchets résultant de la consommation ou de la production :

- emballages de toutes sortes (palettes, cartons, bouteilles, containers, etc.) ;
- déchets de production, eaux usées, huiles usées, etc. ;
- produits en fin de vie, soit jetables, soit usés (automobiles, toners d'imprimantes, micro-ordinateurs, appareils ménagers, literie, etc.), qu'ils soient repris ou non par le vendeur ;
- ordures ménagères, bien que leur traitement ne soit pas, peut-être à tort, considéré comme ressortant de la logistique, etc. ;

– le traitement des flux de produits remontant plus ou moins directement un ou plusieurs maillons de la chaîne logistique :

- produits refusés par le consommateur en Vente A Distance (VAD) ou e-commerce ;
- invendus (journaux, livres, articles démodés, restants de promotion, produits périmés ou en limites de péremption, etc.) ;
- produits défectueux à échanger ou réparer ;
- produits défectueux rappelés par le producteur, etc.

Tous ces produits ne reviennent donc pas nécessairement vers le producteur mais peuvent emprunter des voies très différentes avec l'intervention de nombreuses « tierces parties » : en effet la *supply Chain* est, plus qu'une chaîne, un réseau, souvent très complexe. Il suffit pour s'en convaincre d'examiner toutes les voies que peuvent emprunter les différentes parties d'une automobile en fin de vie.

1-3- les moyens logistiques :

Lorsque la production peut être acheminée directement vers le lieu de consommation, sans constitution de stock, le flux est dit « tendu » ; à l'inverse, le flux est dit « stocké » si la production décide de la quantité de marchandise transportée et produite, le flux est dit « poussé » au contraire, si la consommation décide de la quantité de marchandise transportée et produite, le flux est dit « tiré ».

Après transport des produits, il faudra les stocker. La constitution de stock peut s'appuyer sur différentes raisons : la spéculation, due à la volonté d'acheter une marchandise abondante, puis de la revendre en réalisant une plus-value, lorsque s'installera la pénurie (demande supérieure à l'offre) ; les obligations réglementaires, c'est-à-dire respecter les durées de quarantaines, par exemple, comme dans la production pharmaceutique ou cosmétique ; les contraintes commerciales, par exemple,

attendre la venue à maturité d'un fruit, d'une fleur, d'un animal avant qu'ils deviennent commercialisables ; les contraintes de production, par exemple l'obligation de regrouper les différents composants d'un produit fini, avant de procéder à son assemblage ; les nécessités financières, qui tiennent à ce que le transport est plus coûteux s'il est fréquent et s'il porte sur des tailles de lots plus petites ; dans ce cas, il convient de vérifier s'il est moins cher de stocker, en construisant des entrepôts et en les faisant fonctionner, ou s'il est moins cher de transporter par lots de production.

Les moyens disponibles pour une optimisation de la logistique d'entreprise sont essentiellement des infrastructures (entrepôts, transports et de voies de communication), les systèmes et outils d'exploitation et d'externalisation.

1-3-1- L'infrastructure logistique :

Elle a pour objet de mouvementer les flux matières, pour les acheminer des lieux de production jusqu'aux lieux de transformation, puis des lieux de transformation aux lieux de consommation. Ces trois lieux sont généralement disjoints.

On peut distinguer les entrepôts et les plateformes selon leur rôle dans la chaîne logistique.

- Le magasin d'usine : il reçoit les livraisons des fournisseurs de matières premières et composants et les stocks vers les ateliers de fabrication. Il conserve en outre des quantités limitées d'en cours de fabrication ou de produits finis.
- L'entrepôt du fabricant : il reçoit des produits finis de l'usine ou des usines du groupe et les distribue au niveau d'un pays. Certains produits peuvent donner lieu à du « post manufacturig » activité de conditionnement ou d'adaptation du produit qui ajoutent à l'entrepôt des ateliers.
- Le fabricant : il peut disposer aussi de plateformes ou d'entrepôts régionaux même si la tendance est pour l'instant à leur disparition progressive. On parle parfois de « centres de distribution ».
- Le distributeur : il peut avoir des plateformes de réception des expéditions de ses fournisseurs et d'organisation des tournées de livraison aux surfaces de vente, la plate-forme joue qu'un rôle de transit et l'on parle de « cross-docking ». Le distributeur peut sur une plateforme régionale regrouper les commandes de ses

surfaces de vente d'une région et les allier lui-même après réception des envois des fournisseurs. Il livre ensuite les Grands Magasins Spécialisés (GMS).

- Le transporteur : il transporte la marchandise depuis l'entrepôt du fabricant jusqu'à la surface de vente pour le compte du fabricant ou du distributeur. Il passera assez souvent par des plateformes de ramassage puis de distribution lorsque le chargement est de moins d'un camion. Cependant pour des produits consommés en grande quantité, la livraison peut se faire directement depuis l'usine.
- L'enseigne peut avoir des entrepôts spécialisés ou non : frais, surgelés, liquides, épicerie, bazar, textile, Service Après Vente (SAV), hygiène et beauté, import. Ces entrepôts reçoivent les marchandises des fabricants en quantité, souvent pour profiter de prix avantageux (promotion). Elles sont ensuite livrées aux Grands Magasins Spécialisés (GMS) soit directement soit par l'intermédiaire des plates formes régionales.

1-3-2- Les systèmes et outils d'exploitation :

En plus des acquis infrastructurels, l'entreprise doit, en vue de la mise en œuvre pratique de sa démarche logistique, développer des systèmes d'exploitation ainsi que des outils et ressources nécessaires à une rentabilité optimale de son système logistique.

- Le système d'exploitation : c'est la mise en place de systèmes de transitique qui est une science étudiant les moyens de logistique internes à un site de production ou de distribution. Et consiste en un suivi des véhicules par satellites et comprends des systèmes informatiques de gestion des commandes, des productions, des stocks, des emplacements de stockage ; des systèmes électroniques (système antivol ; et des systèmes mécaniques (robotique industrielle, etc.)
- Les outils et les ressources pour exercer l'activité logistique intègrent autant les outils tels (des modules spécialisés des logiciels intégrés, Warehouse Management Systems, etc.) que les ressources humaines (spécialistes en recherche de terrains stratégiques pour construire des zones industrielles logistiques ; spécialistes en immobilier et en construction ou en aménagement d'entrepôts de stockage ou de messagerie ; spécialistes des systèmes informatiques, spécialistes en gestion des ressources humaines ; spécialistes en matériel de transport, de manutention, de stockage, d'emballage, etc.) et les ressources financières.

1-3-3- L'externalisation :

Les prestataires logistiques et les entreprises clientes peuvent aussi être arbitrairement classés en fonction du taux d'externalisation ou de prise en charge de la fonction logistique par un tiers, on distingue :

- Les « 1PL » (First Party Logistics) : sous-traitance du transport ;
- Les « 2PL » (Second Party Logistics) : externalisation du transport et de l'entreposage ;
- Les « 3PL » (Third Party Logistics) : externalisation classique consiste à confier à un spécialiste la réalisation des opérations logistiques la mise en place des outils, compétences et systèmes nécessaires, avec un objectif d'améliorer la performance (réalisation de tâches de plus en plus variées) ;
- Les « 4PL » (Fourth Party Logistics) : formule l'externalisation plus poussée; le prestataire n'a plus en charge la distribution d'un produit sur une région donnée, mais l'optimisation d'une chaîne intégrant son client (le mot client a plusieurs acceptations, les clients du client et les fournisseurs).

En résumé, on peut dire que la logistique correspond à la gestion des flux financiers, informationnels, physiques que va rencontrer l'entreprise. La logistique est essentielle pour la firme, car c'est cette dernière qui va permettre l'optimisation des ressources et la réduction des coûts.

La logistique est une fonction essentielle pour l'entreprise si elle veut rester compétitive. En effet, c'est la connaissance et la maîtrise de celle-ci qui va déterminer sa performance.

Les intervenants en logistique sont devenus plus dispersés et plus nombreux. Afin d'être plus performant, le système logistique a cherché à intégrer tous ces agents. C'est ainsi qu'est née la notion de Supply Chain qui sera traitée dans la seconde section.

Section 2 : La chaîne logistique et le transport

La gestion de la chaîne logistique suppose de planifier et de contrôler les stocks et le transport comme une entité unique et intégrée, et ce, des fournisseurs jusqu'aux utilisateurs finaux.

2.1. La chaîne logistique :

Plusieurs auteurs ont tenté depuis de nombreuses années de répondre à cette question. Les nombreuses définitions proposées dans la littérature sont là pour en témoigner. Chacune d'elles est généralement orientée par la sensibilité de l'auteur, et le domaine d'étude concerné. Pour cette raison, il n'existe pas une définition unique de la chaîne logistique, mais des définitions de la chaîne logistique. Nous en proposons quelques-unes :

En 1993 la définition proposée est la suivante : « Un réseau d'installation qui assure les fonctions d'approvisionnement en matières premières, de transformation de ces matières premières en composants puis en produits finis, et de distribution du produit fini vers le client⁶ » .

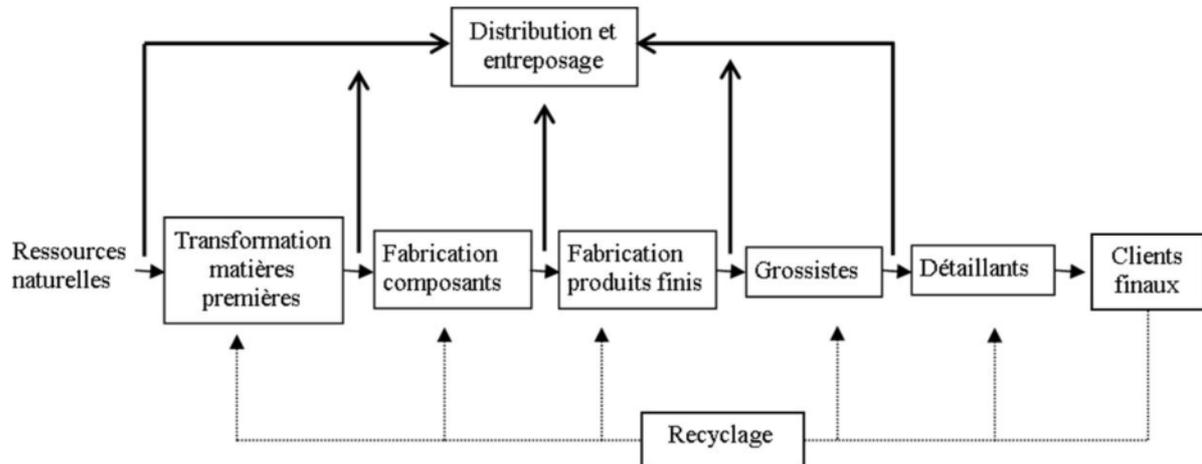
En 1995, la chaîne logistique présentée comme étant : « Une succession d'activités de création de valeur. Cette création repose sur un ensemble d'entreprises qui assurent l'extraction des matières premières, et la production, le grossiste, les détaillants et enfin le client final⁷ ».

La figure 01 permet d'illustrer cette définition avec la considération de la logistique inverse.

⁶ Rodrigue Tchapinga Takoudjou « *Méthodes de modélisation et d'optimisation par recherche à voisinages variables pour le problème de collecte et de livraison avec transbordement* », Université de Bordeaux, 2014, P.7.

⁷ Ibid., P.8.

Figure 01 – Une représentation de la chaîne logistique



Source : notre propre perception

Cet échantillon de définitions permet de rendre compte des définitions possibles de la chaîne logistique comme :

- Une chaîne liant successivement des clients et des fournisseurs ;
- Un ensemble ordonné d'activités successives qui permet de créer de la valeur ;
- Un ensemble de fonctions ou processus qui sont l'approvisionnement, la transformation, et la distribution.

En effectuant une analyse des définitions proposées, il est possible de remarquer qu'elles reposent toutes sur quelques idées communes :

- Un même type de produits ou plusieurs types de produits différents sont considérés ;
- Plusieurs entreprises interviennent tout au long de la chaîne ;
- Trois types de flux permettent de lier les entreprises entre elles : le flux d'informations, par exemple : une demande de transport ; le flux physique qui concerne le transfert des produits ; le flux financier
- Chaque entreprise concernée joue un ou plusieurs des rôles suivants: approvisionnement, production, distribution et vente ;
- Une entreprise peut être intégrée dans plusieurs chaînes logistiques ;

Au regard de ces derniers éléments, la chaîne logistique est constituée d'un ensemble de maillons interconnectés, dont la finalité est de satisfaire une demande de client. Cette demande peut porter sur un seul type de produit, ou des types de produits différents. Deux types de flux traversent les maillons considérés : le flux informationnel et le flux physique.

De ce fait, il apparaît que l'interconnexion entre les différents maillons est essentielle au bon fonctionnement de la chaîne logistique. En effet, la sortie d'un maillon ou étage de la chaîne est généralement l'entrée d'un autre maillon qui apportera sa compétence à la réalisation du produit final. Pour rendre cela possible, il est nécessaire de transporter la matière d'un maillon à un autre. Le transport apparaît comme un processus essentiel de la chaîne logistique. Le transport dans le contexte de la chaîne logistique consiste à planifier, piloter et optimiser l'acheminement de la matière entre les lieux d'approvisionnement et de distribution avec des échanges possibles entre les différents sites de production.

Comme il peut être observé dans la figure 01 :

Le transport permet d'acheminer :

- Les matières premières aux différents sites de transformation ;
- Les matières transformées entre sites de production ;
- Les produits à l'issue de leurs fabrications vers des sites d'entreposage;
- Les produits des sites d'entreposage pour les distribuer au client final.

2.1.2 La place du transport routier :

La contribution du transport routier de marchandises au fonctionnement de la chaîne logistique est présentée dans cette partie suivant deux axes : sa domination par rapport aux autres modes de transport et son rôle majeur au niveau économique.

Le transport routier de marchandises domine les autres modes de transport qui sont : le fluvial, le maritime, le rail, et l'aérien.

Cela s'explique par le fait, que les autres modes de transport de par leur nature ne sont pertinents que pour le transport de longues distances massifiées.

Tandis que le transport routier est généralement le seul de par sa nature à pouvoir desservir tout un territoire lorsque les infrastructures de ce réseau ont été préalablement développées. L'évolution technologique a aussi permis de développer des camions moins énergivores, de tailles adaptées pour les différents espaces urbains. Ainsi, dans une situation de flux tendu, de réduction de stock, de transport à la demande, et de transport porte-à-porte, le transport routier s'avère être mieux adapté que les autres modes de transport.

2.1.3 Les offres de transport :

Plusieurs critères permettent de catégoriser les différentes offres de transport routier de marchandises.

Ces critères portent notamment sur : la taille des colis transportés, la complexité des prestations de transport offertes, la rapidité du transport, le mode de calcul du prix de transport et la pratique de rupture de charge⁸. Quelques offres de transport sont présentées et analysées ci-dessous.

2.1.3.1 L'affrètement :

Dans le cas de l'affrètement ou transport de lot complet, l'intégralité de la capacité d'un véhicule est utilisée pour satisfaire la demande de transport d'un client. Il n'y a pas de rupture de charge durant l'acheminement et le transport s'effectue directement d'un point à un autre.

Figure 02– Illustration de l'affrètement



Source : Rodrigue Tchapinga Takoudjou « Méthodes de modélisation et d'optimisation par recherche à voisinages variables pour le problème de collecte et de livraison avec transbordement », Université de Bordeaux, 2014. P.10.

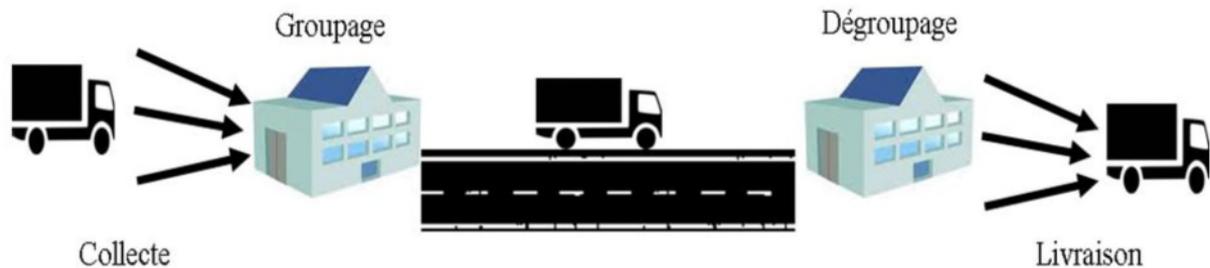
1.2.3.2 Le groupage :

Le transport avec groupage a la spécificité d'exiger du transporteur qu'il ait recours à des plateformes pour effectuer le groupage et le dégroupage des marchandises. Le groupage consiste à ramasser des colis provenant de plusieurs expéditeurs pour plusieurs destinataires différents. Après cette phase, un transport par lot complet est effectué pour transporter les

⁸ Rupture de charge : transfère de marchandises en cours du transport d'un véhicule à un autre avec ou sans stockage.

produits collectés de la plateforme de groupage à la plateforme de dégroupage. Dans la plateforme de dégroupage, l'organisation de la livraison des marchandises aux destinataires finaux est effectuée.

Figure 03– Illustration du groupage



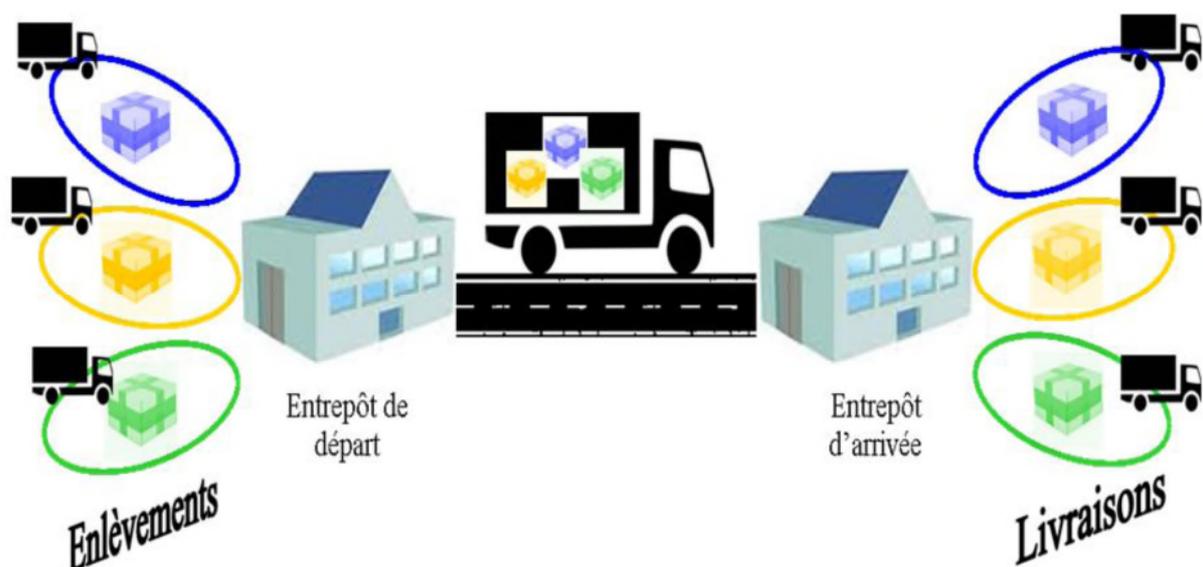
Source : Rodrigue Tchapnga Takoudjou « Méthodes de modélisation et d'optimisation par recherche à voisinages variables pour le problème de collecte et de livraison avec transbordement », Université de Bordeaux, 2014. P.11.

1.2.3.3 La messagerie :

La messagerie est axée sur le transport des colis de moins de trois tonnes. Les produits sont enlevés, groupés, dégroupés et distribués à leurs destinataires respectifs. La messagerie diffère du groupage par le fait que les enlèvements ne sont pas effectués à la demande, mais à heure fixe.

D'autre part, le traitement des marchandises au sein des plateformes est effectué sans stockage.

Figure 04 – Illustration de la messagerie



Source : Rodrigue Tchapnga Takoudjou « Méthodes de modélisation et d'optimisation par recherche à voisinages variables pour le problème de collecte et de livraison avec transbordement », Université de Bordeaux, 2014. P.10.

1.2.3.4 Le transport express :

Le transport express assure le transport des colis d'un poids inférieur à trois tonnes. Dans son organisation, il est très proche de la messagerie. Il en diffère principalement par la garantie d'exécution du transport dans un délai contractuel exprimable en heure ou en demi-journées.

Figure 05 – Illustration du transport express



Source : Rodrigue Tchapgna Takoudjou « *Méthodes de modélisation et d'optimisation par recherche à voisinages variables pour le problème de collecte et de livraison avec transbordement* », Université de Bordeaux, 2014. P.11.

Cette section a permis de présenter les différentes offres de transport routier qui existent. Le caractère très hétérogène de ces offres permet au transport routier de marchandises de disposer d'une grande flexibilité comparée à d'autres moyens de transport. Cette hétérogénéité associée à la complexité relative du pilotage du transport nécessite de disposer d'un système de gestion efficace afin d'assurer un transport de qualité optimale pour garantir l'échange de flux physiques entre les différents partenaires de la chaîne logistique. Le paradigme appelé gestion de la chaîne logistique permet de disposer d'un ensemble d'approches de pilotage de la chaîne logistique à travers les différentes fonctions qui la constituent. La gestion de la chaîne logistique est présentée et analysée en insistant plus particulièrement sur la fonction transport – distribution et en mettant l'accent sur les différents types de décisions qui s'y appliquent.

2.2 - La gestion de la chaîne logistique :

L'objectif de la maximisation des performances d'une chaîne logistique engendre la nécessité d'un pilotage adapté de celle-ci. Ce pilotage aussi appelé gestion de la chaîne logistique est désigné dans la littérature anglaise par le terme SCM pour «

Supply Chain Management ». De nombreuses et diverses définitions existent pour la gestion de la chaîne logistique.

Elles dépendent du domaine d'étude auquel elles se rapportent. Nous présentons quelques définitions issues de la littérature.

La gestion de la chaîne logistique est « La démarche permettant l'intégration d'unités organisationnelles le long de la chaîne logistique et la coordination des flux physiques, informationnels et financiers dans le but de satisfaire le consommateur final et d'améliorer la compétitivité de la chaîne dans son ensemble⁹ ».

« Un ensemble d'approches utilisées pour intégrer efficacement les fournisseurs, les producteurs, les distributeurs et les détaillants de façon à garantir la production et la distribution des produits finis au bon moment, au bon endroit, en bonne quantité, en respectant les exigences des clients finaux, et ce à moindre coût¹⁰ ».

L'intérêt du Supply Chain Management (SCM) est de faciliter les ventes en positionnant correctement les produits en bonne quantité, au bon endroit, au moment où le client en a besoin et enfin à moindre coût. Le principal objectif du SCM est d'allouer efficacement les ressources de production, distribution, transport et d'information, en présence d'objectifs conflictuels, dans le but d'atteindre le niveau de service demandé par les clients au plus bas prix.

Ces définitions permettent de mettre en exergue une caractéristique principale de la gestion de la chaîne logistique en tant que moyen d'intégration de l'ensemble des partenaires que sont : les fournisseurs, les producteurs, les distributeurs et le client final. Cette intégration vise à l'optimisation des différentes fonctions de la chaîne logistique dans le but d'améliorer la compétitivité des entreprises.

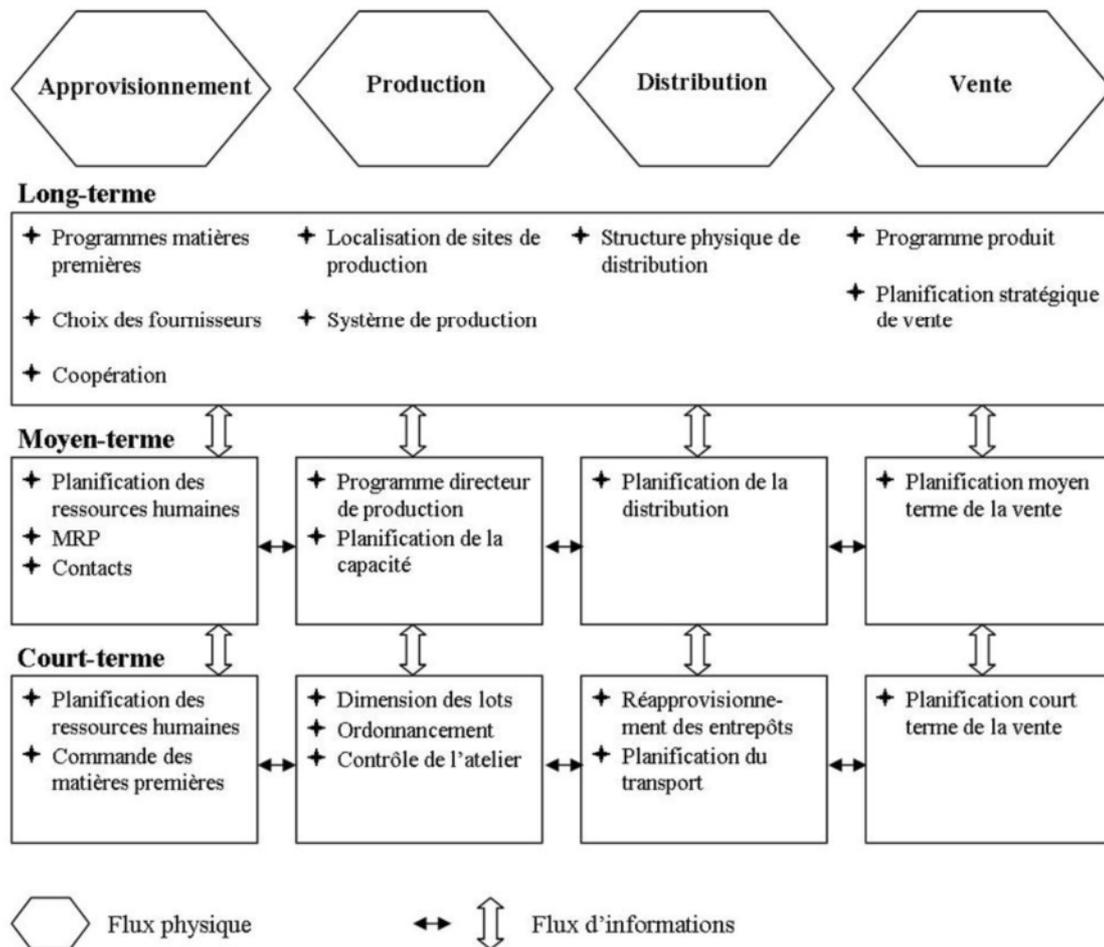
2.2.1 Les principales fonctions de la chaîne logistique

Les principales fonctions de la chaîne logistique sont : l'approvisionnement, la production, la distribution et la vente. Une classification de ces fonctions et des tâches qui composent chacune d'elles est présentée sous forme matricielle dans la figure suivante

⁹ Stadler Hartmut and Kilger Christoph "Supply Chain Management and Advanced Planning : Concepts, Models, Software, and Case Studies. Springer Publishing Company, Incorporated, 4th edition, 2010, P13.

¹⁰ Simchi-Levi D., Kaminsky P., and Simchi-Levi E. Designing and Managing the Supply Chain : Concepts, Strategies, and Case Studies. Irwin/McGraw-Hill series in operations and decision sciences. McGraw-Hill/Irwin, 2003. P.12.

Figure 06 – Fonctions principales de la chaîne logistique



Source: Stadler Hartmut and Kilger Christoph “Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software, and Case Studies. Springer Publishing Company, Incorporated, 4th edition, 2010. P., 13.

Dans cette figure, chaque tâche qui constitue une des principales fonctions de la chaîne logistique est représentée avec le niveau décisionnel auquel il appartient. La gestion de la chaîne logistique fait appel à plusieurs niveaux de décisions généralement utilisés en gestion de production. Les décisions sur le long terme sont stratégiques, celles à moyen terme sont tactiques. Les décisions sur le court terme sont quant à elles opérationnelles. L’aperçu des tâches proposées dans la matrice permet de donner une idée des différents types de décisions à prendre pour exécuter chacune d’elles.

2.2.2 La fonction distribution/transport

La partie distribution dans la fonction transport/distribution consiste à écouler les produits finis vers les clients finaux. Elle nécessite l'exécution d'un ensemble d'activités et la gestion des réseaux de distributions telles que les plateformes de groupage/dégroupage. Les activités concernent respectivement la réception des commandes, la définition des délais de livraison, la planification des livraisons et l'expédition.

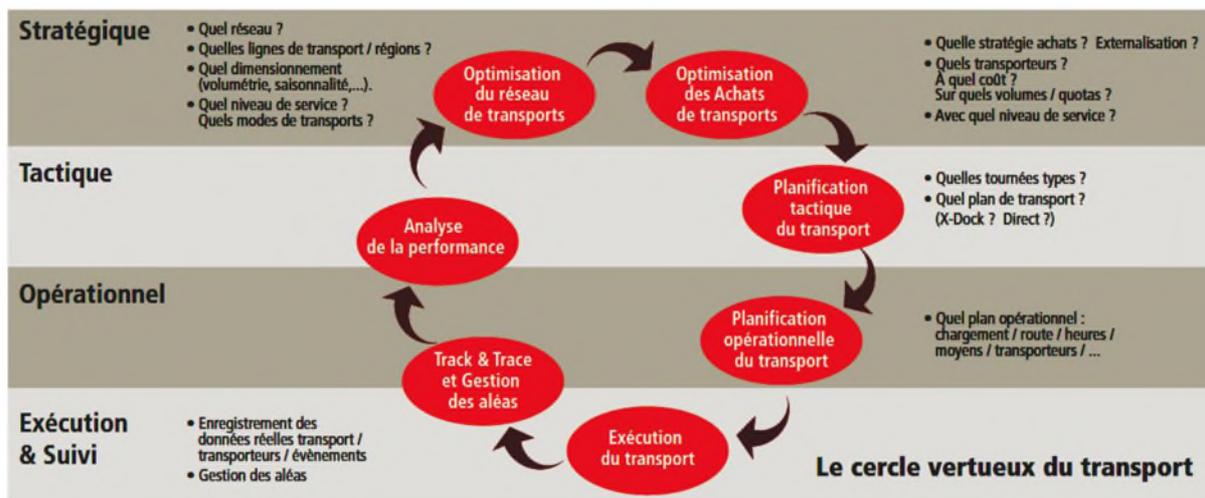
La partie transport dans la fonction distribution/transport se décompose en trois principales activités : le dimensionnement du réseau de transport, la planification des tournées, la gestion de la flotte de véhicules.

- Le dimensionnement du réseau du transport consiste par exemple à déterminer les nœuds ou sommets successifs du réseau de transport à visiter.
- La planification des tournées a pour objet la détermination des tournées d'une flotte de véhicules homogène ou hétérogène afin de satisfaire la demande d'un ensemble de clients. La demande peut consister en un transport point à point d'un objet à un autre, ou d'une demande d'intervention (maintenance, réparation), etc. L'objectif est de déterminer pour chaque véhicule de la flotte une feuille de route qui permet, tout en satisfaisant les demandes des clients, de réduire les coûts de transport. La planification permet ainsi de faire de manière anticipatoire des arbitrages et équilibrages nécessaires en fonction de la capacité de transport disponible et du taux effectif du remplissage des véhicules.

Pour faire du transport un véritable vecteur de compétitivité et de performance, les décisionnaires doivent prendre plusieurs décisions qui sont d'ordres stratégiques, tactiques, opérationnels et temps réel.

La figure 07 qui représente le cercle vertueux du transport propose une représentation stratifiée de ces différents niveaux de décision ainsi que les questions afférentes à ces niveaux.

Figure 07– Le cercle vertueux du transport



Source : La gestion des transports et les TMS. http://www.acteos.com/build/client/Article_Presse/PDF/20100616-TIL-dossier.special.TMS.PDF, 2010, Page 14.

2.2.2.1 Le niveau de décision opérationnel

Les décisions d'ordre opérationnelles relatives au pilotage des différentes fonctions de la chaîne logistique en général et du transport en particulier couvrent un horizon de quelques jours à environ une semaine.

Il s'agit ici des décisions qui portent sur les tournées qui seront effectivement générées pour satisfaire les demandes de transport. Suite à l'occurrence d'un aléa ou à un événement perturbateur qui empêche l'exécution normale d'une tournée initialement prévue, il peut être nécessaire de reconfigurer une tournée de transport pour garantir une certaine performance.

La décision portant sur la nécessité d'une reconfiguration est dite « temps réel » et couvre un horizon de temps allant de la minute à l'heure en fonction de la politique choisie.

En complément de la prise de décision, ci-dessus présentée, pour affiner, améliorer et gérer de manière efficace le transport, de nouvelles approches ont été proposées ou sont en cours de mise en place. Pour nous en convaincre, nous nous proposons de présenter quelques unes.

2-3- Les pratiques actuelles et les nouvelles tendances dans le transport

Les nouvelles tendances observées dans l'organisation des transports sont d'ordre organisationnel ou technologique.

2.3.1 L'externalisation des chaînes d'approvisionnements

La tendance actuelle des entreprises est à l'externalisation de leurs chaînes d'approvisionnement. Par ce processus, elles se recentrent sur leur cœur de métier et sous-traitent les activités connexes, dont le transport. L'objectif est de réaliser des économies d'échelles sur le transport.

2.3.2 La pratique de la mutualisation

D'après le dictionnaire Petit Robert, la mutualisation consiste à « répartir à égalité entre les membres d'un groupe ». Déclinée au sens de la chaîne logistique, cette définition peut être perçue comme la mise en commun par plusieurs entreprises de leurs ressources afin d'optimiser une fonction particulière de leur chaîne logistique réciproque. Cette association peut être nécessaire en temps de crise ou dans un contexte de mondialisation ou de concurrence exacerbée pour accéder à un service ou atteindre un objectif inaccessible de façon individuelle.

Au niveau du transport, cette tendance peut s'observer par une logique de mutualisation dans laquelle le transporteur, les expéditeurs et les destinataires mettent en commun leurs ressources mobiles (véhicules) et leurs infrastructures logistiques (entrepôts, plateformes). Dans un tel contexte, les infrastructures logistiques ne sont plus uniquement des sites d'expédition et de réception, mais deviennent des points de transbordement.

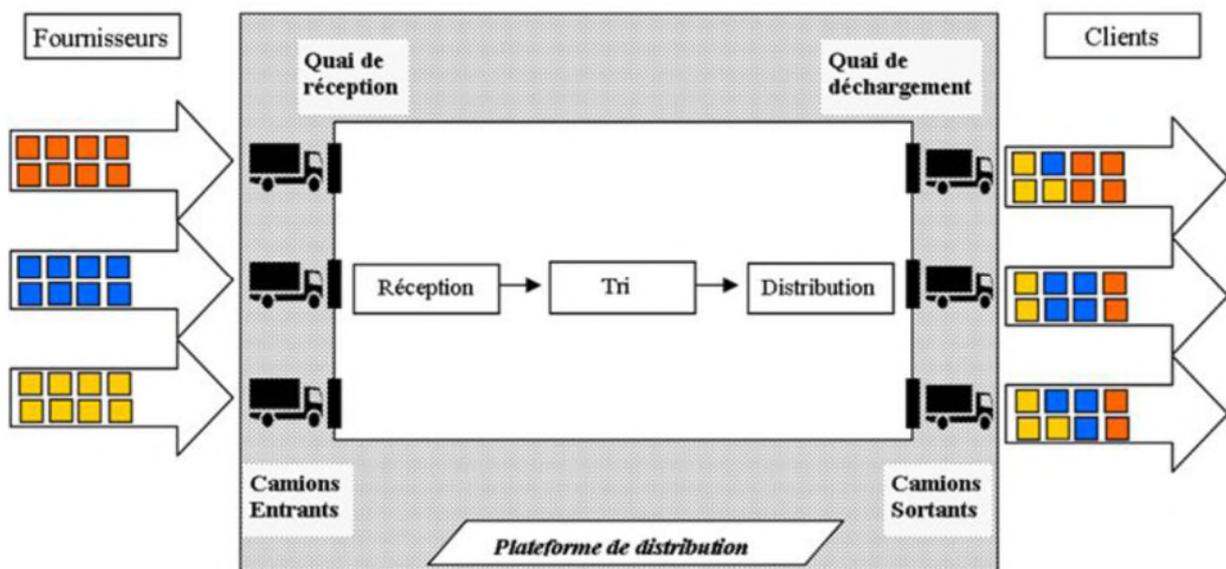
Dans ces points, le groupage/ dégroupage ainsi que le transfert de produits entre véhicules différents sont autorisés si cela permet d'apporter de la flexibilité et une réduction des distances parcourues.

2.3.3 Le cross-docking

Le cross-docking (CD) est une stratégie logistique dans laquelle les produits enlevés chez un ensemble de fournisseurs sont "consolidés" lors d'un passage par une plateforme logistique (ou entrepôt) avant d'être livrés en aval chez un ensemble de destinataires. La consolidation consiste à réceptionner à l'entrepôt les produits provenant des différents véhicules, les trier et les classer en fonction de leurs destinations finales.

Dans certains cas, les produits peuvent être momentanément stockés. Très souvent, l'entrepôt est aussi utilisé comme dépôt de véhicules. À cet effet, les véhicules chargés d'effectuer la collecte et la distribution des produits partent et rentrent à l'entrepôt.

Figure 08 – Le principe du cross-docking



Source: Kreng Victor B. and Chen Fang-Tzu. The benefits of a crossdocking delivery strategy: a supply chain collaboration approach. *Production Planning & Control*, 2008. P. 16.

Un certain nombre d'auteurs ont travaillé l'intérêt de pratiquer le cross-docking. Les avantages d'une telle pratique sont : la réduction du niveau des stocks, des coûts de production, et du coût de distribution ; économie de temps grâce à la réduction des délais d'approvisionnement ; l'augmentation de la durée des produits dans le rayon, l'augmentation en linéaire de la durée de vie des produits notamment lorsqu'il s'agit de produit frais. Le cross-docking présente néanmoins un ensemble d'inconvénients : une préparation minutieuse des palettes doit être effectuée en amont par le fournisseur pour faciliter la consolidation de celles-ci au cross-dock. Cela induit une charge supplémentaire de gestion.

2.3.4 Le transbordement

Le transbordement ¹¹ représente l'action de transférer des marchandises ou des voyageurs d'un bateau, d'un train, d'un véhicule à un autre. Dans le transport routier de marchandises, le transbordement est effectué entre véhicules dans un but de flexibilité et de réduction de coût. La flexibilité découle du principe même du transbordement.

En effet, en autorisant le transfert de marchandises entre véhicules, il est possible qu'une marchandise soit livrée par un véhicule qui ne l'a pas chargée en amont. Au moins deux raisons importantes peuvent justifier la pratique du transbordement : une panne du véhicule ayant collecté le produit peut nécessiter le transfert des marchandises qu'il transporte vers un autre véhicule. Une autre justification peut-être d'ordre économique voir écologique. En effet, dans une logique de planification des tournées de véhicules, le transbordement n'est autorisé que si cela permet de réduire le nombre de véhicules utilisés ou la distance parcourue. Dans ce cas, le transbordement est effectué de manière opportuniste. Le transbordement peut aussi être intéressant dans la réduction des kilomètres à vide.

Bien que pratiqué de manière plus importante par des compagnies de transport de courriers ou de colis, le transbordement peine à se développer.

À notre niveau de connaissance de la littérature, quelques raisons peuvent justifier ce fait : le coût de manutention lié au transfert des produits et la nécessité d'un outil d'aide à la décision pour aider les décisionnaires.

Le coût de manutention est élevé dans la mesure où contrairement au cross-docking, les produits ne sont pas obligatoirement transférés en totalité ou en masse au point de

¹¹ Définition issue du PETIT LAROUSSE.

transbordement. Il faut, localiser, décharger et recharger le bon produit, il faut ensuite aligner ou mettre à jour le système d'informations, etc. Sur le plan décisionnel, cela peut poser des décisions de gestion aux décisionnaires qui doivent choisir parmi toutes les marchandises, lesquelles transborder, à quelle date, et avec quels véhicules.

2.3.5 Le Transport Management System :

Le TMS¹² est un type de logiciel de gestion de transport de plus en plus utilisé par les entreprises et qui repose sur l'utilisation des NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de Communication) est le TMS.

Les TMS ou systèmes de gestion de transport sont des logiciels d'aide à la décision qui permettent au décisionnaire, de gérer le transport. Dans le détail, les TMS supportent de nombreux aspects liés à la gestion du transport : activité d'expéditions, document de travail, étiquetage des produits à transporter, facturation, etc. Les champs d'activités couverts par un TMS sont très variables et dépendent de la compagnie qui l'acquiert.

Certains champs peuvent être optionnels et certaines compagnies peuvent acheter plusieurs TMS pour assurer la gestion d'un ensemble d'activités.

Le TMS apporte une réponse à la plupart des questions posées par la gestion du transport suivant le niveau décisionnel considéré : stratégique, tactique, opérationnel, et temps réel.

L'ensemble de ces questions apparaît dans la figure 6. Ainsi, sur le plan stratégique, le TMS aidera le décisionnaire à faire des choix dans la conception du schéma optimal de transport, en mettant notamment l'accent sur le type et l'emplacement des plateformes logistiques. Sur le plan tactique le TMS fournit au décisionnaire des outils de simulation pour tester par avance différents plans de transport, le choix de flux : direct ou par cross-docking. Sur le plan opérationnel, il s'agit de l'élaboration des tournées sur le court terme généralement quelques heures ou une journée. À chaque niveau décisionnel, l'ensemble des contraintes portant sur les véhicules et les clients sont prises en compte de manière précise. Sur le plan de l'exécution et du suivi, l'évolution des NTIC permet au TMS de suivre en temps réel l'exécution des tournées

¹² Brewer Ann M., Button Kenneth J., and Hensher David "A Handbook of logistics and supply-chain management", Pergamon Amsterdam; New York, 2001.P.17.

et de capturer en quasi temps réel l'occurrence de tous les événements. Cela permet ainsi de garantir une meilleure traçabilité au niveau du transport.

Un autre avantage non négligeable du TMS est son interaction possible avec le WMC (Warehouse Management System). Le WMC est à l'entrepôt ce que le TMS est au transport. Le WMC présente de nombreuses fonctionnalités qui sont : la gestion générale de l'entrepôt, la gestion des stocks, la réception des articles dans le site d'entreposage, la préparation et les expéditions de commandes. En intégrant le TMS avec le WMC, on peut optimiser le taux de remplissage des véhicules. Au niveau du cross-docking, le TMC communique au WMC les produits en cours d'arrivée dans l'entrepôt ce qui permet ainsi d'anticiper certaines actions telles que la préparation des emplacements de stockage ; le WMC peut également informer le TMS du temps nécessaire pour traiter des commandes de manière à ce que celui-ci les intègre dans son plan de routage. L'analyse de l'historique des préparations de commande du WMC peut permettre au TMS d'anticiper certains besoins de transport à moyen terme.

Toutefois, le TMS du fait de son large spectre d'applications peut être complexe à utiliser. Son coût élevé de l'ordre de plusieurs milliers d'euros à des dizaines de millions d'euros empêche son déploiement et son utilisation dans la plupart des entreprises de transport.

Les analyses précédemment effectuées tant sur la structuration des niveaux de décisions, les pratiques actuelles et les nouvelles tendances dans le transport concourent toutes à améliorer la performance du transport.

Nous nous proposons d'affiner cette analyse par la mise en œuvre d'indicateurs permettant la mesure de performance.

L'évaluation de la performance du transport est une tâche nécessaire pour améliorer son efficacité et par voie de conséquence celle de la chaîne logistique dans son ensemble. Cette évaluation nécessite dans le domaine du transport de disposer des informations sur : l'efficacité avec laquelle les matières premières sont transformées en service ou produits ; la façon dont les produits sont fournis aux clients et leur degré de satisfaction.

Dans le cadre du transport routier, la mesure de la performance peut être déclinée en plusieurs axes. Sans avoir la prétention de l'exhaustivité, nous en citons quelques-uns : économique, environnemental, sécurité, qualité, flux, satisfaction des clients.

Le transport par voie routière joue un rôle clé dans la performance de la chaîne logistique. En effet, il est le support du déplacement des flux physiques dans cette chaîne depuis l'acquisition des matières premières, jusqu'à la distribution du produit

Chapitre 01: Le transport routier de marchandises au sein de la chaîne logistique

final aux clients ou consommateurs. Aujourd'hui, la maîtrise de l'activité du transport est une nécessité absolue pour des industries sujettes à une concurrence exacerbée et des problématiques environnementales et économiques.

Dans ce chapitre, le transport routier de marchandises a été présenté à travers un ensemble d'éléments qui le caractérise. Les axes qui ont été identifiés et pris en compte pour son analyse sont : le poids économique du transport routier de marchandises, les différents segments de métiers qui le constituent, quelques problématiques et son évolution actuelle. De cette analyse, il apparaît que l'organisation et la gestion du transport sont particulièrement complexes.

CHAPITRE 02 :
structure d'un
problème de transport

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

Les problèmes de transport et d'affectation ont été les premiers problèmes à être traités par la recherche opérationnelle⁹.

Le modèle de transport est un programme linéaire spécial dans lequel l'objectif est de minimiser le coût total de transport de biens qui sont disponibles dans certaines locations appelées « origines » vers des destinations diverses¹⁰.

De manière spécifique, les objectifs de ce chapitre sont : de formuler un problème de transport, de trouver une solution admissible au problème de transport, de déterminer la solution optimale, de déterminer et de résoudre le problème d'affectation ou de transbordement.

Section 1 : Techniques de résolution de problème de transport

Cette section traite la manière par laquelle un problème de transport peut être formulé ainsi que les différentes techniques de résolution et de recherche de solution optimale au problème formulé.

1- Formulation du problème de transport :

On peut décrire un problème de transport de la façon suivante. Une quantité donnée d'un produit uniforme est disponible à chacune des origines (par exemple des dépôts). Il s'agit d'en envoyer des quantités spécifiées à chacune des destinations (par exemple des points de vente). On connaît le coût de transport d'une unité de l'une des origines vers l'une des destinations. En supposant qu'il est possible d'expédier des produits depuis n'importe quelle origine vers n'importe quelle destination, il s'agit de déterminer le coût de transport minimum des origines vers les points de destination.

La variable X_{ij} représentera le nombre d'unités expédiées de l'origine i vers la destination j . $X_{ij} \geq 0$ pour tout i, j .

Pour chaque origine i donnée, il y a n valeurs de j possibles ; cela implique qu'il y a $(m \times n)$ X_{ij} différents.

⁹ A.Olmi, F.July, « *la réduction des coûts de distribution par la recherche opérationnelle* », éditions EYROLLES, éditions d'organisation, P.2.

¹⁰ Amor Farouk, Benghazal, « *programmation linéaire* », office des publications universitaires(OPU), 2006, P.2.

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

On note par a_i la quantité disponible du produit à l'origine i , et par b_j la quantité requise à la destination j .

Equations :

Cas 1 : Disponibilité = Demande

Les disponibilités seront totalement écoulees sur le marché.

Le total reçu par chacune des destinations est la somme des quantités reçues de chaque origine. Les besoins des destinations sont satisfaits si :

$$\sum_{i=1}^n a_i = \sum_{j=1}^m b_j \dots\dots\dots (1.1)$$

Source : Gerald Baillargeon « *programmation linéaire appliquée : outils d'optimisation et d'aide à la décision* », les éditions SMG, 1996.

Si C_{ij} est le coût de transport d'une unité de l'origine i vers la destination j , alors le coût total de l'expédition se traduit par l'équation :

$$Z = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} c_{ij}$$

Source : op.cit.

$$= (C_{11} X_{11} + C_{12} X_{12} + \dots + C_{1n} X_{1n}) + \dots + (C_{m1} X_{m1} + \dots + C_{mn} X_{mn}) \dots\dots\dots (1.2)$$

Dans le cas d'un problème de transport équilibré selon l'équation (1.1), nous devons donc résoudre le programme linéaire :

$$\text{Minimiser } Z = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} c_{ij}$$

Sous contraintes :

$X_{ij} \geq 0$ $i = 1, \dots, m$ et $j = 1, \dots, n$ L'indice « i » fait toujours référence à la ligne et l'indice « j », à la colonne.

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = a_i \quad i = 1, \dots, n \quad \text{Contraintes de disponibilité}$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = b_j \quad j = 1, \dots, m \quad \text{Contraintes liées à la demande}$$

Outre les $(n \times m)$ contraintes de non négativité, le premier ensemble de m contraintes garantit que la quantité envoyée depuis le dépôt i est égale au stock disponible à cette

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

origine. L'ensemble de n contraintes garantit que chaque destination reçoit la quantité demandée.

Ceci est un problème de programmation linéaire avec $m \times n$ variables et $m+n$ contraintes.

Nous ne faisons pas la restriction $a_i, b_j \geq 0$ car les variables X_{ij} sont ≥ 0 . Nous admettons cependant que les coûts C_{ij} sont positifs.

Cas 2 : Disponibilité > Demande

Les disponibilités ne seront totalement écoulées sur le marché.

Dans le problème de transport qui se présente avec des disponibilités supérieures à la demande, on a :

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} > \sum_{i=1}^n b_{ij}$$

Source : Gerald Baillargeon « *programmation linéaire appliquée : outils d'optimisation et d'aide à la décision* », les éditions SMG, 1996.

Le modèle de programmation linéaire correspondant est alors :

$$\text{Minimiser } Z = \sum_i^m \sum_j^n c_{ij} x_{ij}$$

Source :op.cit.

Sous contraintes :

$$\text{(Disponibilités)} \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq a_i, \quad a_i > 0, \quad i = 1, \dots, n$$

$$\text{(Demande)} \quad \sum_{j=1}^m x_{ij} = b_j, \quad b_j > 0, \quad j = 1, \dots, m$$

$$\text{(Non négativité)} \quad X_{ij} \geq 0, \text{ pour tout } i \text{ et } j.$$

On peut toujours retrouver le cas 1 en introduisant des variables d'écart $x_{i, n+1}$ avec des coefficients économiques $C_{i, n+1} = 0, i=1, \dots, m$. De cette façon, le surplus de disponibilité sera dirigé vers une destination fictive. L'indice j variera alors de $j = 1, \dots, n+1$. Ceci correspond à introduire une colonne additionnelle (colonne $n+1$) dans la structure du tableau 01 (voir page34).

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

Cas 3 : Disponibilité < Demande

La demande ne sera pas totalement satisfaite.

Lorsque la disponibilité est inférieure à la demande, on a :

$$\sum_{i=1}^n a_i < \sum_{j=1}^m b_j$$

Source : Gerald Baillargeon « *programmation linéaire appliquée : outils d'optimisation et d'aide à la décision* », les éditions SMG, 1996.

Certaines destinations ne pourront être satisfaites complètement.

Le modèle linéaire pour ce problème de transport s'écrit :

$$\text{Minimiser } Z = \sum_i^n \sum_j^m c_{ij} x_{ij}$$

Source : op.cit.

Avec les contraintes suivantes :

(Disponibilités) $\sum_{i=1}^n x_{ij} = a_i, \quad a_i > 0, \quad j=1, \dots, m$

(Demande) $\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq b_j, \quad b_j > 0, \quad i = 1, \dots, n$

(Non négativité) $x_{ij} \geq 0$, pour tout i et j.

Le tableau de transport peut se présenter de la façon suivante :

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

Tableau 01 : structure du problème de transport

		Destinations						disponibilité
		1	2	...	J	....	n	
Origines	1	c_{11}	c_{12}	.....	c_{1j}	...	c_{1n}	a_1
		X_{11}	X_{12}		X_{1j}		X_{1n}	
	2	c_{21}	c_{22}	.....	c_{2j}	.....	c_{2n}	a_2
		X_{21}	X_{22}		X_{2j}		X_{2n}	

	I	c_{i1}	c_{i2}	.....	c_{ij}	.....	c_{in}	a_i
		X_{i1}	X_{i2}		X_{ij}		X_{in}	

M	c_{m1}	c_{m2}	.....	c_{mj}	.....	c_{mn}	a_m	
	X_{m1}	X_{m2}		X_{mj}		X_{mn}		
Demande	b_1	b_2	.....	b_J	.....	b_n		

Source : Gerald Baillargeon, « *programmation linéaire appliquée : outils d'optimisation et d'aide à la décision* », les éditions SMG 1996, P. 312.

1-1- Etapes de résolution du problème de transport :

Trois étapes sont nécessaires pour résoudre le problème de transport.

Etape 1 :

Il faut d'abord avoir une solution de base admissible pour le programme de livraison. Pour obtenir une telle solution, il faut noter que seules $(m+ n-1)$ cellules de la matrice du problème de transport doivent être utilisées pour la livraison. Explicitons ceci dans l'exemple en question en considérant que la somme des demandes est égale à celle des capacités.

Etape 2 :

Ici, il s'agit de tester l'optimalité de la solution. Et cela avec la méthode de « stepping stone ». Cette méthode permet de voir quelles sont les cellules vides les plus aptes à entrer

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

dans la solution de base. S'il n'y a pas de cellules candidates cela signifie que la solution optimale a été atteinte.

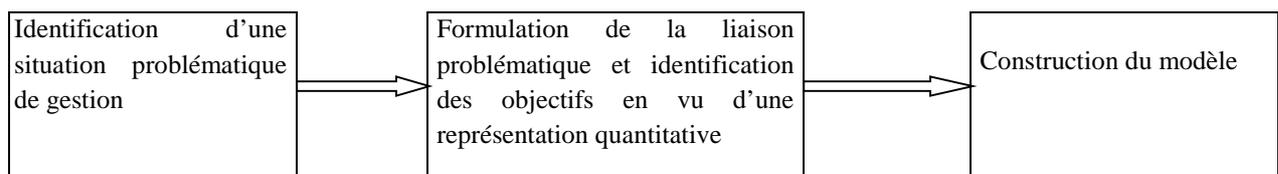
Etape 3 :

Au cours de celle-ci, il s'agit de déterminer une nouvelle solution de base admissible qui améliore la valeur de la fonction économique (réduction du coût total de transport). Pour ce faire, on choisit la cellule qui améliore le plus la valeur de la fonction économique admissible. On retourne à l'étape 1 pour obtenir une nouvelle solution de base.

1-1-2- Les méthodes heuristiques de calcul d'une solution de base admissible initiale :

La programmation linéaire est un ensemble des techniques rationnelles d'analyse et de résolution de programmes linéaires. Un programme linéaire, terminologie due à G.B. Dantzig, est un problème d'optimisation consistant à maximiser ou à minimiser une fonction-objectif (fonction économique) de n variables de décision soumises à un ensemble de contraintes exprimées sous forme d'équations ou d'inéquations linéaires. La solution à ce problème correspondra donc à une affectation de valeurs non négatives aux variables du problème¹¹.

Les tapes à suivre dans le processus de modélisation :



La notion du modèle : Un modèle est une construction mathématique utilisée pour représenter certains aspects significatifs de problèmes du monde réel. Il y a beaucoup de types différents

¹¹ Jean – Paul TSASA V. Kimbambu « *recherche opérationnelle : résumé des heuristiques et recueil d'applications pour étudiants en gestion* », copyright ©jptsasa-mars 2010, P. 2.

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

de modèles mathématiques, mais nous nous focaliserons dans un premier temps sur les modèles d'optimisation. Il y a trois composantes principales dans un modèle d'optimisation¹².

Les éléments d'un modèle de programmation linéaire :

- Variables de décision

La première étape dans le processus de modélisation est d'identifier correctement toutes les variables de décision (inconnues) de la situation à modéliser. On peut se poser immédiatement la question suivante : est ce que l'identification des variables de décisions (en nombre et en description) va nous permettre, suite à la résolution du problème (avec les techniques appropriées) une prise de décision adéquate compatible à l'aspect pratique de la décision ?

Les variables de décision représentent les composantes du modèle qui peuvent être modifiées pour créer des configurations différentes.

- Fonction-objectif

À chaque variable de décision qui a été identifiée dans le modèle correspond un coefficient indiquant la contribution unitaire de la variable correspondante à l'objectif poursuivi. Par la suite, on déduit la fonction-objectif que l'on veut optimiser (à maximiser ou minimiser). D'une façon générale, résoudre un problème de programmation linéaire consiste à déterminer les valeurs des variables de décision qui maximisent (ou minimisent selon le cas) une fonction économique soumise à un ensemble de contraintes (linéaires). Le terme "objectif" vient du fait que l'objectif est d'optimiser cette fonction.

- Contraintes

Dans la problématique de la prise de décision, il faut être en mesure d'identifier tout genre de restriction (main d'œuvre, espace, budget ...) qui peut limiter les valeurs que peuvent prendre les variables de décision. Existe-t-il également des restrictions ou exigences minimales sur les variables de décision (contraintes du marché, politique de l'entreprise) ? À chaque restriction,

¹² Fabian Bastin « *Modèles de Recherche Opérationnelle* », Département d'Informatique et de Recherche Opérationnelle, Université de Montréal, <http://www.iro.umontreal.ca/~bastin>. IFT-1575 Hiver 2010, P. 2.

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

limitation ou exigence, correspond habituellement une contrainte qui prendra la forme d'une équation ou d'inéquation.

L'ensemble des contraintes ainsi formulées constitue le domaine (région) des solutions possibles (valeurs possibles des variables de décision) au modèle.

La première étape de la méthode de solution du problème de transport consiste à trouver un programme de livraison qui soit admissible : il s'agit de donner des valeurs positives à X_{ij} dans $(m+n-1)$ cellules. Plusieurs approches pour obtenir une telle solution admissible sont proposées :

- L'approche du coin nord-ouest,
- L'approche du moindre coût,
- L'approximation de Vogel.

Soit le problème de transport suivant :

Une agence de location de voitures dispose de véhicules en surplus dans certaines agences et enregistre des besoins dans d'autres.

Agence	1	2	3	4	5	6	7	8
Voitures supplémentaires	240	160	260					
Voitures demandées				120	130	145	125	140

Le coût de transport d'un véhicule d'un lieu à un autre est :

Agences	4	5	6	7	8
1	1	8	1	5	4
2	5	5	3	6	7
3	2	9	5	9	8

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

La matrice des coûts ainsi que la disponibilité des véhicules en surplus et la demande:

	C1	C2	C3	C4	C5	ai
L1	1	8	1	5	4	240
L2	5	5	3	6	7	160
L3	2	9	5	9	8	260
bj	120	130	145	125	140	660

Le modèle de programmation linéaire pour ce problème de transport est :

$$\text{Minimiser } Z = X_{11} + 8X_{12} + 1X_{13} + 5X_{14} + 4X_{15} + 5X_{21} + 5X_{22} + 3X_{23} + 6X_{24} + 7X_{25} + 2X_{31} + 9X_{32} + 5X_{33} + 9X_{34} + 8X_{35}$$

Avec les contraintes suivantes :

$$\text{Disponibilités : } X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = 240$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} = 160$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} = 260$$

$$\text{Demandes: } X_{11} + X_{21} + X_{31} = 120$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} = 130$$

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} = 145$$

$$X_{14} + X_{24} + X_{34} = 125$$

$$X_{15} + X_{25} + X_{35} = 140$$

Non-négativité $X_{ij} \geq 0$, $i = 1 \dots 3$; $j = 1 \dots, 5$ où X_{ij} est la quantité à expédier de l'agence i vers l'agence j .

$$\text{De plus } \sum a_i = 660, \sum b_j = 660$$

Chacune d'elles est exposée et appliquée à notre exemple.

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

❖ Méthode du coin nord-ouest :

Elle consiste à effectuer la première allocation à la première cellule de la matrice, celle qui précisément se trouve au coin nord-ouest. Le reste de la procédure est décrit selon les étapes suivantes :

- Étape 1 :

À ce niveau, il faut comparer la quantité offerte à celle demandée et affecter la plus faible des deux à la cellule en question. Ensuite, il faut retrancher cette quantité allouée à la demande.

- Étape 2 :

Si la cellule qui vient d'être remplie est celle du coin sud-est, cela signifie qu'il s'agit d'une solution admissible. Si ce n'est pas le cas, il faut aller à l'étape 3.

- Étape 3 :

Se diriger à la cellule suivante selon les règles ci- après :

1. Si l'offre est supérieure à la demande, la prochaine allocation se fait à la cellule adjacente dans le sens de la ligne.
2. Si la demande excède l'offre, la prochaine allocation se fait avec la cellule adjacente dans le sens de la colonne.
3. Si l'offre et la demande sont égales, on devrait saturer et la ligne et la colonne ce qui débouche sur la dégénérescence. Pour éviter ce cas dégénéré, il va falloir décider de saturer soit la ligne soit la colonne. Ainsi, on utilisera ϵ lors de la soustraction d'une quantité de la demande ou de l'offre.
4. Retourner à l'étape 1.

Examinons comment s'applique la règle du coin nord-ouest pour obtenir une solution initiale à un problème de transport

- 1- Tracer la matrice indiquant les disponibilités et les demandes seulement :

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

	C1	C2	C3	C4	C5	ai
L1	1	8	1	5	4	240
L2	5	5	3	6	7	160
L3	2	9	5	9	8	260
bj	120	130	145	125	140	660

- 2- Égaler X_{11} (l'élément du coin nord-ouest) à la plus petite valeur entre la disponibilité de la première ligne et la demande de la première colonne. Réduire ces deux quantités de la valeur obtenue, $X_{11} = 120$

	C1	C2	C3	C4	C5	ai
L1	120	8	1	5	4	240
L2	5	5	3	6	7	160
L3	2	9	5	9	8	260
bj	120	130	145	125	140	660

0

La valeur prise par une variable de base X_{ij} est indiquée par le nombre reporté en gras dans la case $(i ; j)$: par exemple, $X_{11} = 120$, puisque le nombre 120 apparaît dans la case $(1 ; 1)$ située à l'intersection de la ligne L1 et la colonne C1. L'absence de valeur dans une case $(i ; j)$ signifie que la variable correspondante X_{ij} est hors base et, par conséquent, nulle.

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

- 3- À ce moment, où la disponibilité de la première ligne égale 0 ou la demande de la première colonne égale 0. On répète l'étape 2 en utilisant toujours l'élément du coin nord-ouest de la matrice résultante, mais cette fois on ne considère pas la ligne ou la colonne déjà satisfaite, cette route étant complètement utilisée.

Il résulte que $X_{12} = 120$

	C1	C2	C3	C4	C5	ai	
L1	1 120	8 120	1	5	4	240	120 0
L2	5	5	3	6	7	160	
L3	2	9	5	9	8	260	
bj	120	130	145	125	140	660	
	0	10					

- 4- Nous répétons l'étape 2 jusqu'à ce que la solution initiale soit obtenue :

	C1	C2	C3	C4	C5	ai	
L1	1 120	8 120	1	5	4	240	120 0
L2	5	5 10	3	6	7	160	150
L3	2	9	5	9	8	260	
bj	120	130	145	125	140	660	
	0	10 0					

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

	C1	C2	C3	C4	C5	ai	
L1	1 120	8 120	1	5	4	240	120 0
	5	5 10	3 145	6	7	160	150 5
L3	2	9	5	9	8	260	
bj	120	130	145	125	140	660	
	0	10 0	0				

	C1	C2	C3	C4	C5	ai	
L1	1 120	8 120	1	5	4	240	120 0
L2	5	5 10	3 145	6 5	7	160	150 5 0
L3	2	9	5	9	8	260	
bj	120	130	145	125 120	140	660	
	0	10 0	0				

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

	C1	C2	C3	C4	C5	ai	
L1	1 120	8 120	1	5	4	240	120 0
L2	5	5 10	3 145	6 5	7	160	150 5 0
L3	2	9	5	9 120	8 140	260	140 0
bj	120	130	145	125	140	660	
	0	10 0	0	120 0	0		

Il est facile de vérifier que la solution décrite dans le tableau est bien une solution de base admissible : on compte 7, dites cases de base, où sont reportées les valeurs des 7 variables présentes dans la base de la solution proposée ; la somme des nombres de chaque ligne i donne a_i et la somme des nombres de chaque colonne j donne b_j . Le total des coûts de transport correspondant à cette solution est 3795 UM.

La solution initiale à l'aide de la règle du coin nord-ouest est donc :

$$X_{11} = 120, X_{12} = 120, X_{22} = 10, X_{23} = 145, X_{24} = 5, X_{34} = 120, X_{35} = 140$$

Avec un coût :

$$\begin{aligned} Z &= (120 \cdot 1) + (120 \cdot 8) + (5 \cdot 10) + (145 \cdot 3) + (5 \cdot 6) + (120 \cdot 9) + (140 \cdot 8) \\ &= 120 + 960 + 50 + 435 + 30 + 1080 + 1120 \\ &= 3795 \text{ UM.} \end{aligned}$$

7 variables de base $X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{23}, X_{24}, X_{34}, X_{35}$

8 variables hors base $X_{14}, X_{15}, X_{21}, X_{22}, X_{25}, X_{31}, X_{32}, X_{33}$

Cette méthode a pour avantage de fournir rapidement et aisément une solution de base, mais l'inconvénient (puisqu'elle ne fait jamais intervenir les coûts) d'être en général assez loin de l'optimal donc de nécessiter ensuite de nombreuses itérations avant de l'atteindre.

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

❖ La méthode des coûts minimums (moindres coûts) :

Quatre étapes sont nécessaires à l'application de cette approche.

- Étape 1 :

Tout d'abord, la cellule qui possède le coût le plus faible est sélectionnée.

Si deux cellules répondent à ce critère, le choix de la cellule se fait de façon arbitraire.

- Étape 2 :

Pour la cellule sélectionnée, la capacité est comparée à la demande : la quantité la plus faible est allouée à la cellule. Ensuite, on réduit cette quantité de la demande et de la capacité correspondant à cette cellule. Enfin, si la demande ou la capacité restante est nulle on passe à l'étape suivante parce qu'aucune allocation ne peut être opérée.

- Étape 3 :

S'il n'y a plus d'allocation à réaliser, cela indique qu'une solution admissible vient d'être trouvée. Si ce n'est pas le cas, il faut se diriger vers l'étape 4.

- Étape 4 :

La cellule qui a le coût le plus bas est choisie et on revient à l'étape 2.

Appliquons cette méthode au problème. Initialement, toutes les cases sont disponibles. La matrice initiale est la suivante :

	C1	C2	C3	C4	C5	ai
L1	1	8	1	5	4	240
L2	5	5	3	6	7	160
L3	2	9	5	9	8	260
bj	120	130	145	125	140	660

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

Les deux cases de coût unitaire minimal sont (1 ; 1) et (1 ; 3). Cherchons donc à leur attribuer tour à tour le nombre le plus grand possible. Prenons d'abord la case (1 ; 1) ; comme illustré ci-dessous, on ne peut faire transiter plus de 120 unités. À la case (1 ; 3), il est possible d'attribuer un maximum de 145 unités. C'est donc cette dernière qui sera préférée, puisqu'on peut lui attribuer 25 unités de plus. On pose : $X_{13} = 145$. On obtient le tableau de transport suivant.

	C1	C2	C3	C4	C5	ai
L1	1	8	1 145	5	4	240 95
L2	5	5	/	6	7	160
L3	2	9	5	9	8	260
bj	120	130	145	125	140	660

Puisque 145 véhicules vont être expédiés de l'agence 1 vers l'agence 3, l'agence 1 dispose encore de $(245 - 145 = 95)$ véhicules qui seront destinés à d'autres agences. La demande en agence 3 est comblée : la colonne C_3 sera saturée. On indique l'attribution forcée de la valeur 0 aux cases (2 ; 3) et (3 ; 3) par des tirets, dont la présence indique la saturation de la colonne C_3 . C'est une raison technique liée à la dégénérescence, qui nous fait placer dans chacune de ces cases un tiret plutôt qu'un 0.

La première attribution du problème par un tableau de transport (voir tableau précédent) comportant une colonne saturée. La case (1 ; 1) est maintenant l'unique case disponible de coût minimal. La disponibilité 1 a été révisée à la baisse lors de la première attribution, de sorte que la quantité maximale que l'on peut expédier maintenant sur la route (L_1-C_1) est de 95 véhicules.

On pose donc : $X_{11} = 95$. On a maintenant disposé des 240 véhicules disponibles en agence L1 devient 0. Il faut également réviser à la baisse la demande de l'agence 1, demande qui ne sera plus de 25 véhicules. Enfin, comme on a épuisé les unités disponibles en L1, les cases de

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

la première ligne ne sont plus disponibles et l'on inscrit un tiret dans les cases (1 ; 2) (1 ; 4) et (1 ; 5). Le tableau ci-dessous décrit la situation résultant de la deuxième attribution :

	C1	C2	C3	C4	C5	ai
L1	1 95	8	1 145	5	4	240 95 0
L2	5	5	3	6	7	160
L3	2	9	5	9	8	260
bj	120 25	130	145 0	125	140	660

On poursuit cette démarche jusqu'à ce que tous les véhicules disponibles dans les agences aient été expédiés comme le résume le tableau suivant :

	C1	C2	C3	C4	C5	ai
L1	1 95	8	1 145	5	4	240 95 0
L2	5	5 130	3	6 30	7	160 30 0
L3	2 25	9	5	9 95	8 140	260 235 95 0
bj	120 25 0	130 0	145 0	125 95 0	140 0	660

Il est facile de vérifier que la solution décrite dans le tableau est bien une solution de base admissible : on compte 7, dites cases de base, où sont reportées les valeurs des 7 variables présentes dans la base de la solution proposée ; la somme des nombres de chaque ligne i donne a_i et la somme des nombres de chaque colonne j donne b_j . Le total des coûts de transport correspondant à cette solution est 3095 UM.

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

La solution initiale à l'aide de la règle du coût minimum est donc :

$$X_{11} = 95, X_{13} = 145, X_{22} = 130, X_{24} = 30, X_{31} = 25, X_{34} = 95, X_{35} = 140$$

Avec un coût :

$$\begin{aligned} Z &= (95*1) + (145*1) + (130*5) + (30*6) + (25*2) + (95*9) + (140*8) \\ &= 95 + 145 + 650 + 180 + 50 + 855 + 1120 \\ &= 3095 \text{ UM.} \end{aligned}$$

7 variables de base $X_{11}, X_{13}, X_{22}, X_{24}, X_{31}, X_{34}, X_{35}$

8 variables hors base $X_{12}, X_{14}, X_{15}, X_{21}, X_{23}, X_{25}, X_{32}, X_{33}$.

❖ Approximation de Vogel :

Dans cette approche on calcule la différence entre les deux coûts les plus faibles dans chaque ligne et chaque colonne. Ceci indique que si on s'éloigne du coût le plus bas, cela se traduit par une perte plus grande. Regardons comment fonctionne cette approche dans l'exemple. Pour cela, il faut partir de la matrice des coûts de transport de la source i à la destination j .

La méthode de Vogel peut avoir certains avantages sur la règle du coin nord-ouest pour déterminer une solution initiale de base. En effet, elle peut permettre d'obtenir une solution optimale en moins d'itérations et parfois la solution initiale peut être optimale. La démarche est la suivante :

Démarche à suivre méthode de Vogel :

1. Construire la matrice des coûts en incluant les disponibilités et demandes. Ajouter une destination fictive ou une origine fictive pour que $\sum a_i = \sum b_j$
2. évaluer la différence entre les deux coûts les plus petits pour chaque ligne et chaque colonne. Nous obtenons ainsi m différences pour les lignes et n différences pour les colonnes.
3. Choisir la colonne ou la ligne ayant le maximum des différences ; faire un choix arbitraire si le maximum des différences n'est pas unique.
4. Allouer la quantité la plus grande possible (tout en respectant les contraintes) à la cellule possédant le coût le plus faible de la ligne ou la colonne obtenue en 3.

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

5. Rayer la ligne ou la colonne qui est saturée.
6. Retourner à 2. Mais cette fois en effectuant les calculs sur la matrice résultante.

La procédure se termine lorsque toutes les lignes et colonnes sont saturées.

Utilisons à nouveau le modèle appliqué à la règle coin nord-ouest et évaluons la solution initiale à l'aide de la méthode de Vogel. La matrice de départ est la suivante :

	C1	C2	C3	C4	C5	ai
L1	1	8	1	5	4	240
L2	5	5	3	6	7	160
L3	2	9	5	9	8	260
bj	120	130	145	125	140	660

Une pénalité est définie comme suit¹³ :

La pénalité associée à une rangée est la valeur absolue de la différence entre les deux coûts unitaires minimaux des cases disponibles apparaissant dans cette rangée. Elle mesure l'augmentation minimale du coût de transport d'une unité si celle-ci n'empruntait pas la route de coût minimal de cette rangée.

Les pénalités-lignes et les pénalités-colonnes associées au problème de transport sont données au tableau suivant :

¹³ Alain Martel « techniques et application de la recherche opérationnelle », Gaëtan Morin éditeur, 2^e édition, P.303.

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

	C1	C2	C3	C4	C5	ai	
L1	1	8	1	5	4	240	3
L2	5	5	3	6	7	160	2
L3	2	9	5	9	8	260	3
bj	120	130	145	125	140	660	
	1	3	2	1	3		

La pénalité maximale 3 est associée à trois rangées : la ligne L₃, les colonnes C₂ et C₅. La première attribution se fera dans l'une d'entre elles : on choisira la case de coût minimale dans la ligne L₃, colonnes C₂ et C₅. Il s'agit de la case (3 ; 1), dans laquelle on reporte la valeur 120. La demande de l'agence 1 est entièrement comblée par cette première attribution : par conséquent, les cases (1 ; 1) et (2 ; 1) ne seront désormais plus disponibles. De plus, des 260 véhicules disponibles dans l'agence 3, 120 sont destinés à l'agence 1, de sorte que la disponibilité de l'agence 3 s'établit maintenant à 140 véhicules seulement. Enfin, il faut réviser les pénalités pour tenir compte de la non-disponibilité des cases de la colonne C₁. Le tableau suivant décrit la situation après cette première attribution.

	C1	C2	C3	C4	C5	ai	
L1	1	8	1 145	5	4	240 95	0 3
L2	5	5	3	6	7	160	2 2
L3	2	9	5	9	8	260 140	3 3
bj	120 0	130	145 0	125	140	660	
	1	3	2	1	3		
	-	3	2	1	3		

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

La plus grande pénalité apparaissant au tableau précédant est égale à 3, comme précédemment. Cette fois, elle est associée à quatre rangées : les lignes L_1 et L_3 , les colonnes C_2 et C_5 .

Le choix de la case où s'effectuera l'attribution se fait selon la règle hiérarchique suivante :

On retient parmi les cases disponibles

- 1- Celles dont la rangée est associée à la pénalité la plus élevée ;
- 2- Celles de coût minimal ;
- 3- Celles auxquelles on peut attribuer le nombre maximal.

S'il reste encore plus d'une case candidate, le choix se fait de façon aléatoire parmi les candidates encore en lice.

Dans le cas du tableau précédent, on retient la case (1 ; 3), à laquelle on attribue la valeur 145.

On poursuit cette démarche jusqu'à ce que tous les véhicules disponibles dans les agences aient été expédiés. Le tableau suivant résume les 7 attributions du problème de l'agence (un trait indique que la rangée est saturée). Noter que la dernière attribution ($X_{34} = 95$) se fait dans la case située à l'intersection d'une seule ligne L_3 et de la seule colonne C_4 encore disponibles et qu'elle sature ces deux rangées simultanément. C'est pourquoi la solution initiale résultante comporte seulement 7 variables de base, soit une de moins que le nombre total de rangées.

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

	C1	C2	C3	C4	C5	ai	
L1	1	8	1 145	5	4 95	240 95 0	0 3 1 - -
L2	5	5 130	3	6 30	7	160 30 0	2 2 1 1 1
L3	2 120	9	5	9 95	8 45	260 140 45	3 3 1 1 1
bj	120 0	130 0	145 0	125 95 0	140 45 0	660	

	1	3	2	1	3
-		3	- 2	1	3
-		3	-	1	3
-	3	4	<u>2</u>	3	3
-	-	-	-	3	1

La solution initiale à l'aide de la méthode de Vogel est donc :

$$X_{13} = 145, X_{15} = 95, X_{22} = 130, X_{24} = 30, X_{31} = 120, X_{34} = 95, X_{35} = 45$$

Avec un coût :

$$Z = (145 \cdot 1) + (95 \cdot 4) + (130 \cdot 5) + (30 \cdot 6) + (120 \cdot 2) + (95 \cdot 9) + (45 \cdot 8)$$

$$= 145 + 380 + 650 + 180 + 240 + 855 + 360$$

$$= 2810 \text{ UM.}$$

7 variables de base $X_{13}, X_{15}, X_{22}, X_{24}, X_{31}, X_{34}, X_{35}$

8 variables hors base $X_{11}, X_{12}, X_{14}, X_{21}, X_{23}, X_{25}, X_{32}, X_{33}$

Toutes les lignes et les colonnes sont saturées avec cette dernière affectation.

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

1-1-3-Recherche de solution optimale :

La recherche de la solution optimale se fait avec la combinaison de deux méthodes celle de Bales Hamer (coûts duals) et celle de Stepping Stone.

Nous allons utiliser les coûts marginaux C_{ij} des variables hors base, référant pour une méthode systématique de calcul de ces coûts. Nous allons également indiquer comment le cycle de changement d'une variable entrante X_{ij} permet de retrouver le coût marginal C_{ij} associé. On pourrait déterminer de même les coûts marginaux de chaque variable hors base, en établissant son cycle de changement. Cependant, cette approche est fastidieuse. Montrons comment on peut s'y prendre plus rapidement.

Partons de la solution de base admissible trouvée par la méthode du coin nord-ouest. Et construisons le tableau suivant, appelé tableau de calcul. Les u_i et les v_j sont des variables auxiliaires, dites variables duales, qui permettent d'obtenir rapidement le coût marginal associé à chacune des variables hors base. Mais indiquons tout d'abord comment déterminer les valeurs des variables duales. On peut montrer que les coûts marginaux C_{ij} des différentes cases s'écrivent sous la forme :

$$C_{ij} = C_{ij} - (U_i + V_j) \dots \dots \dots (*)$$

Comme le coût marginal de toute variable de base est nul, il résulte de (*) que :

Si X_{ij} est variable de base, $U_i + V_j = C_{ij}$.

		V = -2	V = 5	V = 3	V = 6	V = 5	
		C1	C2	C3	C4	C5	ai
U1 = 3	L1	1 120	8 120	1	5	4	240
U2 = 0	L2	5	5 10	3 145	6 5	7	160
U3 = 3	L3	2	9	5	9 120	8 140	260
	bj	120	130	145	125	140	660

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

Pour la solution donnée au tableau précédant, on obtient successivement :

Case de base	Équation	(♣)
(1 ; 1)	$u_1 + v_1 = 1$	
(1 ; 2)	$u_1 + v_2 = 8$	
(2 ; 2)	$u_2 + v_2 = 5$	
(2 ; 3)	$u_2 + v_3 = 3$	
(2 ; 4)	$u_2 + v_4 = 6$	
(3 ; 4)	$u_3 + v_4 = 9$	
(3 ; 5)	$u_3 + v_5 = 8$	

L'ensemble (♣) forme un système linéaire de 7 équations indiquant 8 variables duales. Comme le nombre de cases de base dans une solution de base est égal à $(m + n - 1)$, alors qu'un tableau de transport comporte $(m + n)$ rangées, les systèmes tels que (♣) qui sont associés à un tableau de transport comportent toujours une variable de plus que d'équations et admettent un nombre infini de solutions. Pour en déterminer une, il convient de donner une valeur arbitraire à l'une des variables duales et de déduire les valeurs des autres variables à l'aide du système. L'usage est de poser :

$$u_3 = 0. \quad (\spadesuit) \text{ (On peut choisir n'importe quelle variable).}$$

Aussitôt posé $u_3 = 0$, les valeurs des autres variables du système (♣) se déduisent rapidement.

Puisque	et que	alors
$u_3 = 0$	$u_3 + v_1 = 1$	$v_1 = 1$
$u_1 = 0$	$u_1 + v_2 = 8$	$v_2 = 8$

- la valeur prise par v_2 sert à trouver celle de u_2 :

$v_2 = 8$	$u_2 + v_2 = 5$	$u_2 = -3$
-----------	-----------------	------------
- cette valeur de u_2 permet maintenant d'obtenir v_3 et v_4 :

$u_2 = -3$	$u_2 + v_3 = 3$	$v_3 = 6$
$u_2 = -3$	$u_2 + v_4 = 6$	$v_4 = 9$

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

- on obtient ensuite :

$$v_4 = 9 \qquad u_3 + v_4 = 9 \qquad u_3 = 0$$
- puis finalement v_5 :

$$u_3 = 0 \qquad u_3 + v_5 = 8 \qquad v_5 = 8$$

Remarque : les valeurs prises par les U_i et les V_j dépendent de (\diamond), mais les coûts marginaux associés aux variables hors base restent les mêmes, quelque soit la variable duale considérée dans (\diamond) et quelque soit la valeur qu'on lui assigne.)

		V = -2	V=5	V=3	V=6	V=5	
		C1	C2	C3	C4	C5	Ai
U = 3	L1	1 120	8 120	1	5	4	240
U = 0	L2	5	5 10	3 145	6 5	7	160
U = 3	L3	2	9	5	9 120	8 140	260
bj		120	130	145	125	140	660

Pour obtenir une solution plus avantageuse, il s'agit de considérer les cases qui ne sont pas utilisées (ce sont les variables hors base), si l'on introduit une nouvelle variable dans la base, il faut nécessairement qu'une variable actuelle dans le tableau soit réduite à zéro pour obtenir une autre solution de base, on ne peut avoir plus de $m + n - 1$ variables positives.

Une fois qu'on a obtenu les valeurs des variables duales, on utilise (*) pour le calcul des coûts marginaux associés aux variables hors base. À titre d'exemple, calculons les coûts marginaux C_{13} et C_{21}

$$C_{13} = 1 - (3+3) = -5$$

$$C_{31} = 2 - (3-2) = 1$$

Même procédure pour le calcul des coûts marginaux associés aux variables hors base restantes.

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

		V = -2	V = 5	V = 3	V = 6	V = 5	
		C1	C2	C3	C4	C5	ai
U = 3	L1	1 120	8 120	1 > 5	5 > 4	4 > 4	240
U = 0	L2	5 <	5 10	3 145	6 5	7 <	160
U = 3	L3	2 <	9 <	5 > 1	9 120	8 140	260
bj		120	130	145	125	140	660

La solution du tableau précédent n'est pas optimale, car les variables hors base X_{13} , X_{14} , X_{15} et X_{33} admettent des coûts marginaux négatifs. On pourra donc diminuer les coûts de transport en assignant à l'une des variables hors base une valeur positive. Les ajustements devront n'affecter que des variables de base.

Supposons que l'on veut occuper la case (1, 3), donc introduire X_{13} à une valeur positive. Soit Θ , cette valeur de X_{13} . Pour respecter les contraintes de disponibilité et de demande, il faut soustraire cette valeur Θ de X_{12} , l'ajouter à X_{22} , et enfin la soustraire de X_{23} . Cette opération forme un parcours (+, -) que nous indiquons au tableau suivant ; de plus, ce parcours est unique.

Remarque : conditions que doit respecter un parcours. Une suite de cases (cellules) est qualifiée de parcours en autant que :

- 1- Chaque paire de cases consécutives sur un parcours est soit dans la même ligne, soit dans la même colonne ;
- 2- Il ne peut y avoir trois cases consécutives dans la même ligne ou la même colonne ;
- 3- La première case et la dernière case du parcours sont sur la même ligne ou sur la même colonne ;
- 4- Une case n'apparaît jamais plus d'une fois dans le parcours.

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

		V = -2	V = 5	V = 3	V = 6	V = 5	
		C1	C2	C3	C4	C5	ai
U = 3	L1	1 120	8 120	1 > 5	5 > 4	4 > 4	240
			(-θ)	(+θ)			
U = 0	L2	5 <	5 10	3 145	6 5	7 <	160
			(+θ)	(-θ)			
U = 3	L3	2 <	9 <	5 > 1	9 120	8 140	260
	bj	120	130	145	125	140	660

Le tableau donne le cycle de changement, ou **stepping stone**, associé à la variable hors base X_{13} : quand X_{13} passe du zéro à une variable positive, trois variables de base sont affectées, soit X_{12} , X_{22} et X_{23} ; l'effet unitaire net sur Z est égal à (-5) .

Ainsi, le cycle de changement, qui explicite les modifications des variables de base induites par le fait de donner une valeur positive à la variable entrante X_{13} , permet de retrouver la valeur de C_{13} . Cependant, il serait fastidieux de calculer de cette façon les coûts marginaux des huit variables hors base de ce tableau ; la méthode des coûts duals (méthode de Bales Hamer) est plus rapide :

La non-négativité des variables de base X_{12} et X_{23} implique que θ ne peut dépasser les valeurs de ces variables dans le tableau :

$$\theta \leq \min \{120, 145\} = 120.$$

On pose donc : $\theta = 120$. Par conséquent, X_{12} sera la variable sortante ; et les coûts de transport de la prochaine solution de base s'établiront à 3195UM.

$$3795 - (5 \times 120) = 3195 \text{ UM.}$$

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

	C1	C2	C3	C4	C5	ai
L1	1 120	8	1 120	5	4	240
L2	5	5 130	3 25	6 5	7	160
L3	2	9	5	9 120	8 140	260
bj	120	130	145	125	140	660

On utilise à nouveau la méthode de BALAS Hamer dans le calcul des coûts duals :

$$V_1 = 3 \quad V_2 = 5 \quad V_3 = 3 \quad V_4 = 6 \quad V_5 = 5$$

	C1	C2	C3	C4	C5	ai	
U1 = -2	L1	1 120	8 <	1 120	5 <	4 <	240
U2 = 0	L2	5 <	5 130	3 25	6 5	7 <	160
U3 = 3	L3	2 >4	9 <	5 >1	9 120	8 140	260
bj	120	130	145	125	140	660	

Dans le tableau précédant, les coûts marginaux de certaines variables hors base sont négatifs. Il semble donc que la solution optimale n'est pas encore atteinte, une autre itération sera nécessaire. On choisira la variable entrante dont le coût négatif est le plus élevé en valeur absolue. Ici, il s'agit de X_{31} , dont le changement est reproduit au tableau suivant.

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

	C1	C2	C3	C4	C5	ai
L1	1 120 (-θ)	8	1 120 (+θ)	5	4	240
L2	5	5 130	3 25 (-θ)	6 5 (+θ)	7	160
L3	2 (+θ)	9	5	9 120 (-θ)	8 140	260
bj	120	130	145	125	140	660

La valeur maximale que l'en peut attribuer à Θ est 25 :

$$\Theta \leq \min \{120 ; 25 ; 120\} = 25.$$

On pose donc : $\Theta = 25$. La variable sortante est X_{23} cette fois. La solution de base résultant de l'itération est donnée au tableau suivant :

	C1	C2	C3	C4	C5	ai
L1	1 95	8	1 120	5	4	240
L2	5	5 130	3	6 30	7	160
L3	2 25	9	5	9 95	8 140	260
bj	120	130	145	125	140	660

Le coût de transport associé s'élève à 3095 UM.

Testons l'optimalité de la solution à travers le calcul des coûts duals :

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

		V1 = 2	V2 = 8	V3 = 2	V4 = 9	V5 = 8	
		C1	C2	C3	C4	C5	ai
U1 = -1	L1	1 95	8 <	1 120	5 >3	4 >3	240
U2 = -3	L2	5 <	5 130	3 <	6 30	7 <	160
U3 = 0	L3	2 25	9 <	5 <	9 95	8 140	260
	bj	120	130	145	125	140	660

La solution décrite au tableau précédent n'est pas optimale, car les coûts marginaux de certaines variables hors base sont négatifs. Il serait donc possible de diminuer davantage la valeur de Z en entrant dans la base soit X_{14} , soit X_{15} . Laquelle choisir ?

Comme $C_{14} = C_{15} = -3$.

En cas d'égalité, le choix s'effectuera en fonction de Θ compte tenu des circuits identifiés. Ici, la variable entrante sera X_{14} ; et le cycle de changement sera composé des cases (1 ; 4) (1 ; 1) (3 ; 1) et (3 ; 5). Le tableau suivant donne la solution de base résultant de l'itération.

		C1	C2	C3	C4	C5	ai
L1		1 95 (- θ)	8	1 120	5 (+ θ)	4	240
L2		5	5 130	3	6 30	7	160
L3		2 25 (+ θ)	9	5	9 95 (- θ)	8 140	260
	bj	120	130	145	125	140	660

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

Le coût de transport associé est de $3095 - (3 \times 95) = 2810$ UM. Enfin, le tableau ne montre aucun coût marginal négatif, ce qui permet de conclure l'optimalité de la solution.

Le cycle de changement sur ce tableau indique que θ ne peut excéder 95 et que deux variables de base, soit X_{11} et X_{34} deviendront nulles simultanément lorsqu'on posera $X_{14} = 95$. Mais on ne peut admettre que X_{11} et X_{34} seront toutes les deux hors base dans le tableau résultant de l'itération, car celui-ci ne comporterait que six cases de base au lieu des sept attendues. Il faut donc que l'une seulement des variables X_{11} et X_{34} soit déclarée hors base et que l'autre reste dans la base. Pour contourner cette difficulté, soit ϵ une quantité infinitésimale allouée à une cellule vide de telle manière que cette cellule entre dans la base mais n'affecte en aucun cas la capacité ou la demande totale ou le coût globale. Par conséquent, si une cellule vide reçoit une allocation ϵ elle deviendra une partie intégrale de la base sans changer la solution. On convient généralement de conserver dans la base celle des variables candidates dont le coût unitaire est minimal. Ici, $C_{11} < C_{34}$: ainsi, X_{11} restera dans la base et X_{34} agira à titre de variable sortante. Le résultat de l'itération est donné au tableau suivant :

	C1	C2	C3	C4	C5	ai
L1	1 ϵ	8	1 145	5 95	4	240
L2	5	5 130	3	6 30	7	160
L3	2 120	9	5	9	8 140	260
bj	120	130	145	125	140	660

$$Z = 145 + 95*5 + 130*5 + 30*6 + 120*2 + 140*8$$

$$= 2810 \text{ UM.}$$

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

La méthode de Vogel s'est révélée fort efficace dans le présent exemple, car elle mène immédiatement à une solution optimale. Il n'en est pas toujours ainsi. On peut cependant énoncer les deux principes généraux suivants :

- 1- La méthode de Vogel fournit une solution admissible de coût plus faible que celle donnée par la méthode des coûts minimums.
- 2- La méthode de Vogel conduit souvent à une solution dont le coût est voisin de celui d'une solution optimale. On dit de cette méthode qu'elle est une méthode heuristique « quasi optimale »¹⁴.

¹⁴ Alain Martel « *techniques et application de la recherche opérationnelle* », Gaëtan Morin éditeur, 2ème édition, P. 305.

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

Section 02 : Traitement d'un problème de transport avec des cas particuliers

Deux cas se présentent :

2-1- Le modèle d'affectation :

Le programme d'affectation a trait à une catégorie spéciale de programmes linéaires dans laquelle la fonction économique consiste à affecter un nombre de sources (ou origines) au même nombre de destinations à un coût minimum ou à un profit maximum. Ainsi, chaque source associée à une et une seule destination. Cette spécificité implique deux particularités à ce programme linéaire :

- La fonction économique correspond à une matrice carrée.
- La solution optimale (ou n'importe quelle solution admissible) est telle qu'il y a une seule affectation dans chaque colonne et chaque ligne.

Où :

$$a_i = 1, i = 1, \dots, n \text{ et } b_j = 1, j = 1, \dots, m ; \text{ de plus } m = n.$$

Le modèle mathématique d'un problème d'affectation est le suivant :

$$\text{Minimiser } Z = \sum_i^n \sum_j^n c_{ij} x_{ij}$$

Avec les contraintes :

$$\sum_j^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n$$

$$\sum_i^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, \dots, n$$

$$x_{ij} = 0 \text{ ou } 1 \text{ pour tout } i \text{ et } j,$$

Où :

X_{ij} correspond à l'affectation éventuelle de la source i à l'activité j où $X_{ij} = 1$ si la source i est affectée à l'activité j , sinon $X_{ij} = 0$ si la source i n'est pas affectée à l'activité j .

C_{ij} correspond au coût associé à l'affectation de la source i à l'activité j .

Le schéma suivant représente la structure du problème d'affectation, dans un tableau à double entrée :

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

Tableau n°02 : Structure du problème d'affectation

		Activités					
		1	2	3	...	n	a_i
1		C_{11}	C_{12}	C_{13}	...	C_{1n}	1
		X_{11}	X_{12}	X_{13}		X_{1n}	
2		C_{21}	C_{22}	C_{23}	...	C_{2n}	1
		X_{21}	X_{22}	X_{23}		X_{2n}	
3		C_{31}	C_{32}	C_{33}	...	C_{3n}	1
		X_{31}	X_{32}	X_{33}		X_{3n}	
.	
		
n		C_{n1}	C_{n2}	C_{n3}	...	C_{nn}	1
		X_{n1}	X_{n2}	X_{n3}		X_{nn}	
b_j		1	1	1	...	1	

Source : Gerald Baillargeon, « *programmation linéaire appliquée : outils d'optimisation et d'aide à la décision* », les éditions SMG 1996, P.344.

La méthode « hongroise » :

La méthode hongroise est un algorithme employé pour obtenir une affectation optimale, cet algorithme consiste à modifier les coûts C_{ij} de la structure originale en augmentant ou diminuant d'une même quantité tous les éléments d'une même ligne (ressource) ou d'une même colonne (destination). Cette modification de la matrice originale des coûts conduit à une matrice équivalente à partir de laquelle l'affectation optimale est obtenue.

Étape 1 :

Il faut trouver une solution admissible au problème dual, c'est-à-dire trouver un ensemble de nombres U_i et V_j de telle façon que $C_{ij} - U_i - V_j \geq 0$; ce qui peut être acquis par l'utilisation de la règle 1 présentée ci-dessous.

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

Étape 2 :

Étant donné une solution duale admissible et donc des coûts canoniques C^o_{ij} il faut tenter de trouver une solution primale de manière que :

- X_{ij} soit positif uniquement quand $C^o_{ij} = 0$ ¹⁵.
- La matrice $X = [X_{ij}]$ est admissible pour le programme primal si une allocation $X = [X_{ij}]$ peut être trouvée de façon à satisfaire aussi bien l'admissibilité primale que le théorème des écarts complémentaires ; cela signifie qu'il s'agit bien de la solution . Dans le cas contraire, procéder à l'étape trois¹⁶.

Étape 3 :

Les valeurs des coefficients C^o_{ij} doivent être modifiées pour avoir une autre solution duale admissible au moyen de la règle 2. Retourner à l'étape 2.

Application numérique :

On recherche l'affectation optimale machine-travail qui minimiserait le temps de mise en train des quatre machines.

Temps de mise en train (heures).

		Travaux				a_i
		T1	T2	T3	T4	
machines	1	15	6	9	8	1
	2	3	13	7	6	1
	3	8	9	4	10	1
	4	3	5	7	11	1
b_j		1	1	1	1	

¹⁵ Amor Farouk, Benghazal, « *programmation linéaire* », office des publications universitaires (OPU), 2006, P. 194.

¹⁶ Ibid. P.194.

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

Puisque $n = 4$, on aura au plus $4 + 4 - 1 = 7$ variables de base dont 4 variables de base seront égales à 1 et trois variables de base seront égales à 0.

Les règles dont il est question dans l'algorithme sont à présent décrites :

Réduction des lignes : on crée une nouvelle matrice des coûts en choisissant le coût minimal sur chaque ligne et en le soustrayant de chaque coût sur la même ligne.

Soit : $\Pi_i = \min \{C_{ij}, j = 1, \dots, n\}$

		Travaux				
		T1	T2	T3	T4	π_i
machines	1	15	6	9	8	6
	2	3	13	7	6	3
	3	8	9	4	10	4
	4	3	5	7	11	3

On aura:

$$C'_{ij} = C_{ij} - \Pi_i, C' = [C'_{ij}]$$

		Travaux			
		T1	T2	T3	T4
machines	1	9	0	3	2
	2	0	10	4	3
	3	4	5	0	6
	4	0	2	4	8

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

De façon similaire :

Réduction des colonnes : on crée une nouvelle matrice des coûts en choisissant le coût minimal dans chaque colonne et en le soustrayant de chaque coût dans la même colonne.

Soit :

$$V_j = \min \{C_{ij}, i = 1, \dots, n\}$$

		Travaux			
		T1	T2	T3	T4
machines	1	9	0	3	2
	2	0	10	4	3
	3	4	5	0	6
	4	0	2	4	8

$$V_j \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 2$$

On aura:

$$C^{\circ}_{ij} = C'_{ij} - V_j, \quad C^{\circ} = [C_{ij}]$$

		Travaux			
		T1	T2	T3	T4
machines	1	9	0	3	0
	2	0	10	4	1
	3	4	5	0	4
	4	0	2	4	6

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

Maintenant, il faut déterminer le nombre minimal de traits nécessaires sur les lignes et les colonnes pour couvrir tous les zéros.

Si ce nombre est égal au nombre de lignes (ou de colonnes); alors l'affectation optimale est déjà possible. Si ce nombre est inférieur au nombre de lignes (ou de colonnes), aller à l'étape suivante.

		Travaux			
		T1	T2	T3	T4
Machines	1	9	0	3	0
	2	0	10	4	1
	3	4	5	0	4
	4	0	2	4	6

Dans l'exemple en question, le nombre de traits est de 3 qui est inférieur au nombre de lignes ou de colonnes qui est de 4, alors :

Soit f la valeur la plus faible qui ne soit pas couverte par les traits.

Soit $C^{\circ}_{ij}' = C^{\circ}_{ij}$ si l'élément (i, j) est couvert par un trait vertical ou horizontal.

$C^{\circ}_{ij}' = C^{\circ}_{ij} - f$ si l'élément (i, j) n'est pas du tout couvert.

$C^{\circ}_{ij}' = C^{\circ}_{ij} + f$ si l'élément (i, j) est couvert verticalement et horizontalement.

L'application de cette règle donne : $f = 1$.

On recommençant l'étape précédente on obtient :

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

		Travaux			
		T1	T2	T3	T4
machines	1	10	0	3	0
	2	0	9	3	0
	3	5	5	0	4
	4	0	3	5	7

Maintenant, le nombre minimal de traits est égal à 4.

Pour chaque ligne ou colonne contenant un zéro, réserver une position pour une affectation et éliminer les autres zéros dans cette ligne ou colonne, commençant par la ligne ou colonne qui contient le moins de zéros.

Répéter cette opération jusqu'à ce que tous les zéros soient réservés ou éliminés. Si un ensemble complet d'affectation est obtenu, la solution est optimale.

		Travaux			
		T1	T2	T3	T4
machines	1	10	0	3	0
	2	0	9	3	0
	3	5	5	0	4
	4	0	3	5	7

Le résultat donné par la méthode hongroise est :

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

		Travaux			
		T1	T2	T3	T4
machines	1		1		
	2				1
	3			1	
	4	1			

La solution a pour coût :

		Travaux			
		T1	T2	T3	T4
machines	1	15	6	9	8
	2	3	13	7	6
	3	8	9	4	10
	4	3	5	7	11

Ce qui signifie que : la machine 01 est affectée au travail 02 et cela pour un temps de mise en train de 6h, la machine 02 avec 6h de mise en train mais pour le travail 04, les machines 03 et 04 pour les travaux 03 et 01 respectivement.

$$Z = 6+6+4+3 = 19h$$

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

2-2- Le modèle de transbordement :

Le modèle du transbordement est un cas spécial de celui du transport dans lequel sont incluses des destinations intermédiaires entre les sources et les destinations finales. En fait, chaque destination intermédiaire est également une source. Le problème de transbordement est illustré par l'exemple suivant où une entreprise dispose de deux usines P_1 et P_2 et de quatre marchés M_1 à M_4 . Le tableau suivant fournit les données des coûts de transport des offres et des demandes.

Données pour un problème de transport simple :

	M1	M2	M3	M4	Offre
P1	15	18	12	10	500
P2	21	25	19	24	800
Demande	300	400	200	400	

La solution à ce problème est la suivante après avoir arrondi les résultats :

	M1	M2	M3	M4	Offre
P1			100	400	500
P2	300	400	100		800
demande	300	400	200	400	

Le coût total est de 23 400 UM.

Supposons à présent que cette entreprise dispose de deux entrepôts E_1 et E_2 qui peuvent recevoir de chaque usine des marchandises qu'ils peuvent livrer à chacun des marchés. Le tableau suivant indique les coûts de livraison de chaque usine vers chaque entrepôt ou marché et de chaque entrepôt vers chaque marché.

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

Données du problème de transbordement :

	M1	M2	M3	M4	E1	E2	Offre
P1	15	18	12	10	8	6	500
P2	21	25	19	24	11	12	800
E1	3	8	5	6	0	4	600
E2	7	15	12	8	4	0	600
demande	300	400	200	400	600	600	

La capacité de chaque entrepôt est de 600 unités. Nous supposons également que la demande de chaque entrepôt est identique à sa capacité soit 600 unités.

Nous supposons aussi que chaque entrepôt peut livrer à n'importe quel marché et à l'autre entrepôt ; par exemple, livrer des biens de E₁ à E₂ coûte 4UM et vice versa. La solution de ce problème figure au tableau suivant :

Solution au problème de transbordement :

	M1	M2	M3	M4	E1	E2	Offre
P1			100	400			500
P2			100		600	100	800
E1	200	400					600
E2	100					500	600
demande	300	400	200	400	600	600	

Le coût total de transport est de 19 400 UM en baisse de 4000 UM.

Notons également que l'entrepôt E₂ ne reçoit que 100 unités de l'usine P₂ (aucune livraison n'est effectuée de l'usine P₂). L'entrepôt E₂ opère donc 500 unités en deçà de sa capacité qui

Chapitre 02 : structure d'un problème de transport

est de 600 unités. Ceci est indiqué par la livraison que cet entrepôt se fait lui-même : 500 unités livrées de E_2 à E_2 comme figurent au tableau précédent.

Afin de mettre en valeur ces techniques de résolution des problèmes de transport, nous proposons dans le chapitre suivant une étude effectuée au niveau de Sovac.

CHAPITRE 03 :
structure d'un
problème de transport
au niveau de Sovac

Chapitre 03 : Structure d'un problème de transport au niveau de Sovac

Dans ce chapitre, nous essayerons de décrire l'entreprise **Sovac** d'après son historique, son organisation, sa fiche technique, ses marques et sa politique des ressources humaines. Ensuite nous exposerons les différents travaux que nous avons effectués au sein du service transport.

Section 01 : Présentation de l'organisme d'accueil

Petite leçon d'histoire :

- 1904 L'idée de la « Volkswagen » (en allemand, « voiture populaire ») une voiture bon marché
- Juin 1934 : Mission confiée à Ferdinand Porsche
- Décembre 1945 : Démarrage de la production en série de la Coccinelle, avec 55 voitures montées
- Juin 1986 : Rachat de 51 pour-cent du capital de SEAT
- Avril 1991 : Reprise de la « ŠKODA, automobilová a.s. »
- Juillet 1995 : Lancement de la marque « Volkswagen Véhicules utilitaires »
- **Ferdinand Porsche**
- Juillet 1998 : Reprise de Bugatti et de Bentley Septembre 1998 Audi rachète Lamborghini



Le groupe Volkswagen en Algérie :

SOVAC importateur officiel



Sovac Algérie Spa, Représente officiellement six marques du groupe Volkswagen : Volkswagen, Volkswagen Utilitaires, Audi, Seat, Porsche et Skoda dont les activités principales sont :

- La commercialisation des véhicules neufs particuliers et utilitaires,
- La commercialisation de la pièce de rechange d'origine via son réseau de distribution,
- Le service après vente via son propre réseau de concessionnaires implanté sur le territoire national.

Fiche technique :

•**Statut Juridique** : SPA

•**Capital Social** : 1 720 372 000 DA

•**Adresse Direction Générale** : Autoroute Sud les Grands Vents, Chéraga

•**Activités** : Importation et distribution de véhicules VP, VU, leurs accessoires et pièces de rechange

•**Date de début d'activité** : 01/02/2004

•**Effectif de départ** : 92

•**Effectif au 31/10/2013** : 659

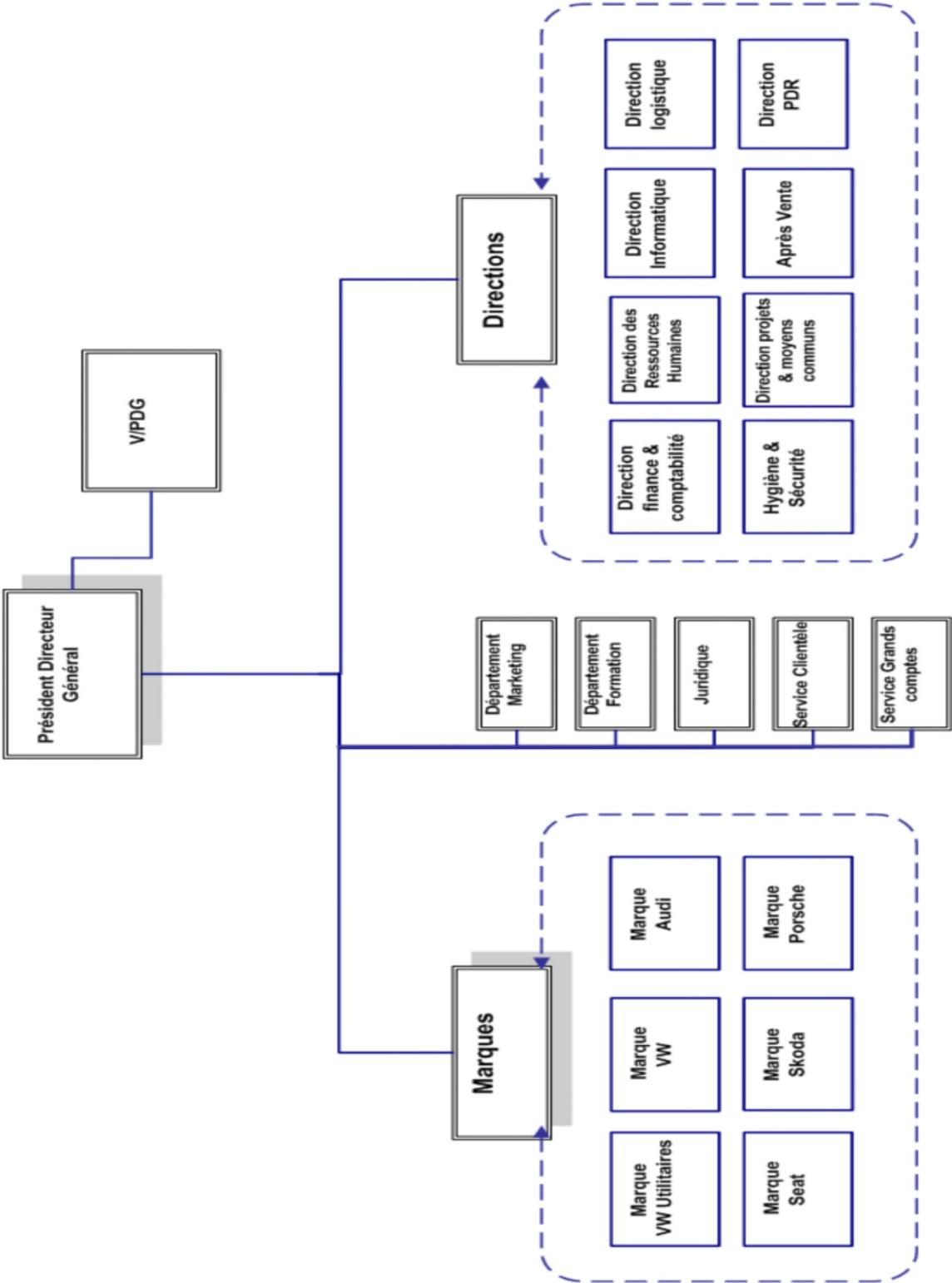
Historique de Sovac :

- **En 1996** : Le Directeur Général de Sovac s'est lancé dans le marché automobile en important des véhicules rachetés.
- **En 1999** : L'équipe de Sovac s'est mise au service de la clientèle Volkswagen en assurant la distribution des véhicules et le service après vente.
- **Depuis 2003** : Une expertise menée par Volkswagen AG a abouti à la signature d'un contrat de concession exclusif pour l'Algérie.
- **En 2004**: La société a été nommée « SOVAC» et sa gamme a été élargie par l'adaptation de la marque Audi.
- **En 2006** : Le lancement de la marque espagnole « Seat »
- **En 2008** : La marque Skoda rejoint le groupe Sovac
- **En 2011** : Lancement de la marque Porsche
- **En 2013**: Transfert de SAV VW vers Sovac distribution.

Organisation :

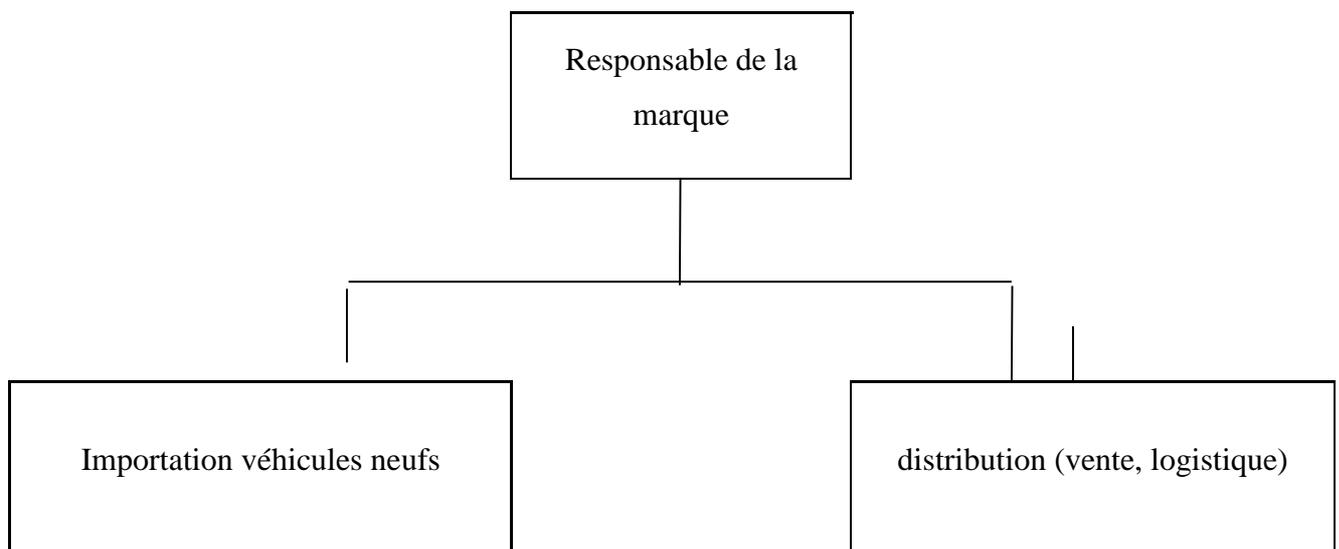
Pour atteindre pleinement ses objectifs, Sovac s'est doté d'une organisation claire et efficace qui permet à ses équipes de mettre en œuvre tous leurs talents dans la réussite de leurs missions.

L'organisation de Sovac vise l'efficacité : efficacité des équipes dédiées à chacune de ses six marques, efficacité des équipes transverses et spécialisées se mettant à leur service et à celui de leurs réseaux. Du marketing à la logistique, de l'animation commerciale au juridique, des ressources humaines au support technique et à bien d'autres fonctions encore.



Marques :

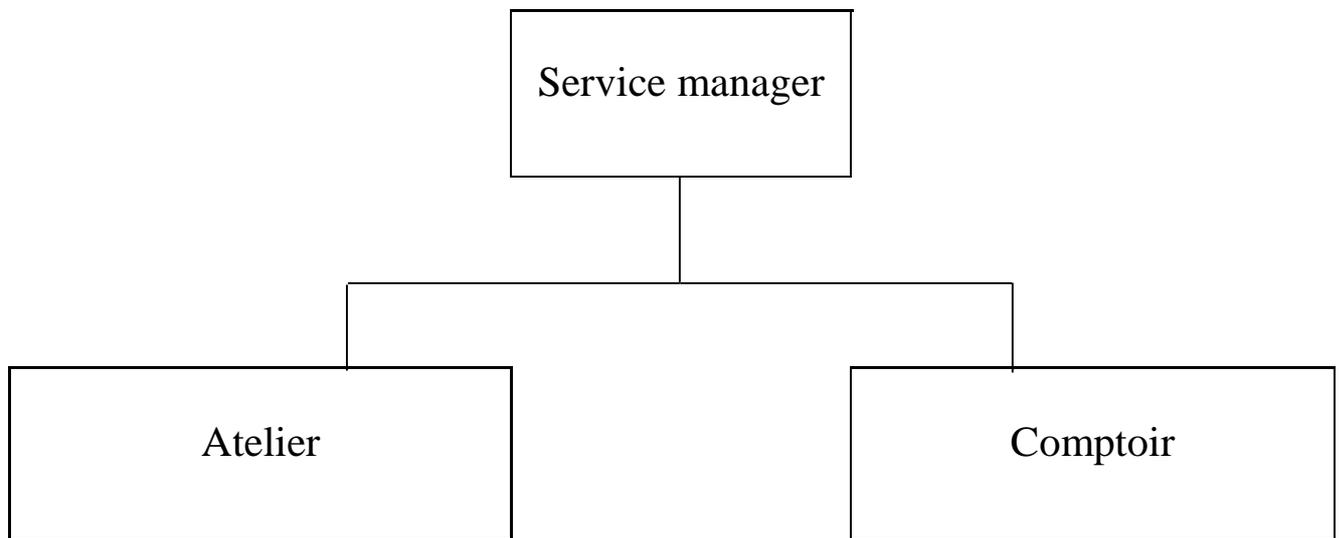
Les six marques voient leur cohérence renforcée par les liens quotidiens entretenus avec les équipes transverses. Celles-ci poursuivent leur mission de distribution / importation de véhicules neufs en liaison étroite avec leurs directions, afin de les aider à atteindre leurs objectifs. A la tête de chaque marque un Brand Manager qui pilote les objectifs stratégiques de la marque et coordonne les activités des deux services Responsable de la marque Importation Véhicules Neufs Distribution (Administration des ventes, Logistique)



Services après vente :

Chaque marque détient son propre service après vente dont l'objectif est:

- Résoudre tout problème technique dans les plus brefs délais grâce à une équipe formée selon les normes du constructeur ;
- Assurer la disponibilité des pièces de rechange à travers un processus d'approvisionnement ;
- développer le business après vente et la satisfaction de la clientèle.



Politique des Ressources Humaines :

- **Recrutement** : Accorder davantage de l'importance aux jeunes diplômés issus des grandes écoles ayant un potentiel et leur offrir un plan de carrière.
- **Formation** : A travers son département de formation constitué de formateurs certifiés par les constructeurs, Sovac assure un programme de formation continue, adapté aux plus récentes innovations technologiques.
- **Evolution** : L'accompagnement des collaborateurs tout au long de leur parcours professionnel et les faire évoluer à travers un plan de développement et de motivation personnalisée

Axes de développement stratégiques :

- Se positionner dans le Top 3 ;
- Elargir l'horizon géographique des marchés actuels afin d'arriver à 35 agents agréés ;
- Mettre à niveau le réseau de distribution (séparation des marques SAV / Brand)
- Atteindre un objectif de 65 000 véhicules ;
- Assurer une prestation à l'écoute des besoins de la clientèle et de sa fidélisation (satisfaction clients SAV).

Section 02 : Formulation et résolution d'un problème de transport au niveau de Sovac

Dans cette section nous essayerons d'appliquer les techniques du modèle de programmation linéaire de résolution du problème de transport au niveau de l'entreprise d'accueil « Sovac ».

Sovac dispose d'un lot de véhicules à livrer aux différents concessionnaires implantés dans les différentes wilayas, la livraison s'effectue selon la disponibilité des deux types de véhicules (utilitaires et particuliers) au niveau des trois parcs situés à Alger, Mostaganem et Bordj bouariridj.

Les plans de distribution de Sovac des différents parcs vers les différentes destinations du mois de janvier 2015 sont indiqués sur les tableaux suivants :

Tableau N° 3 : Etat de livraison du parc Bordj bouairirdj du mois de janvier 2015 :

	Parc BBA					
	VP			VU		
	Quantité	Coût unitaire	Montant	Quantité	Coût unitaire	Montant
Alger	126	3700	466200	135	5000	675000
Blida	18	4000	72000	5	5300	26500
Boumerdes	19	3100	58900	11	4200	46200
Annaba	7	6200	43400	1	8300	8300
Ain mlila	14	3500	49000	1	4700	4700
Oran	46	10600	487600	34	19200	652800
Constantine	9	3500	31500	1	4600	4600
Batna	7	3700	25900	8	5000	40000
	Total		1234500	Total		1458100

Source : Annexe n°1 et n°4

D'après le tableau nous déduisons :

La totalité des véhicules livrés du parc BBA vers les différentes destinations est de 442 véhicules avec un coût total de 2 692 600 DA, dont 196 véhicules utilitaires avec un coût de 1 458 100 DA et 246 véhicules particuliers avec un coût de 1 234 500 DA.

Tableau N° 4 : Etat de livraison du parc Alger du 01/01/2015 au 31/01/2015

	Parc Alger					
	VP			VU		
	Quantité	Coût unitaire	Montant	Quantité	Coût unitaire	Montant
Alger	263	1000	263000	70	1500	105000
Blida	19	2000	38000	5	2600	13000
Boumerdes	36	2000	72000	5	2600	13000
Annaba	13	8700	113100	5	11600	58000
Ain mlila	7	6800	47600	5	9100	45500
Oran	59	6600	389400	33	8800	290400
Constantine	86	6600	567600	38	8800	334400
Batna	22	6600	145200	4	8800	35200
	Total		1635900	Total		894500

Source : Annexe n°2 et n°4

D'après le tableau on déduit :

La totalité des véhicules livrés du parc Alger vers les différentes destinations est de 670 véhicules avec un coût total de 2 530 400 DA, dont 165 véhicules utilitaires avec un coût de 894 500 DA et 505 véhicules particuliers avec un coût de 1 635 900 DA.

Tableau N° 4 : Etat de livraison du parc Mostaganem du 01/01/2015 au 31/01/2015

	Parc MOSTA					
	VP			VU		
	Quantité	Coût unitaire	Montant	Quantité	Coût unitaire	Montant
Alger	48	6000	288000	9	8000	72000
Blida	132	6000	792000	4	8000	32000
Boumerdes	91	6600	600600	46	8800	404800
Annaba	29	14300	414700	9	19100	171900
Ain mlila	91	12500	1137500	80	16600	1328000
Oran	97	2500	242500	28	3300	92400
Constantine	51	12500	637500	10	16600	166000
Batna	22	11200	246400	8	15000	120000
	Total		4359200	Total		2387100

Source : Annexe n°3 et n°4

D'après le tableau on déduit :

La totalité des véhicules livrés du parc Alger vers les différentes destinations est de 755 véhicules avec un coût total de 6 746 300 DA, dont 194 véhicules utilitaires avec un coût de 2 387 100 DA et 561 véhicules particuliers avec un coût de 4 359 200 DA.

Le coût total de distribution des trois parcs vers les différentes destinations est de 11 969 300 DA.

Dans un tel contexte, notre travail a pour objectif de contribuer à l'amélioration du processus décisionnel dans la gestion du transport des véhicules. Cette contribution passe par

Chapitre 03 : Structure d'un problème de transport au niveau de Sovac

la proposition d'un ensemble d'algorithmes destinés à être intégrés dans un outil d'aide à la décision.

La formulation du problème de transport de l'entreprise selon le principe de la programmation linéaire s'effectue comme suit :

- Élaboration de la matrice des coûts :

Remarque : les cases qui contiennent des coûts « $C_{ij} = M$ » sont des cases pénalisées avec un coût très élevé dû aux cas d'interdiction de livraison, on parle de la méthode de pénalités ou méthode de big M.

	Destinations	Alger		Blida		Boumerdes		Annaba		Ain mlila		Oran		Constantine		Batna		Disponibilité
	Type veh	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	
Alger	VU	M	15	M	26	M	26	M	116	M	91	M	88	M	88	M	88	165
	VP	10	M	20	M	20	M	87	M	68	M	66	M	66	M	66	M	505
BBA	VU	M	50	M	53	M	42	M	83	M	47	M	192	M	46	M	50	196
	VP	37	M	40	M	31	M	62	M	35	M	106	M	35	M	37	M	246
Most	VU	M	80	M	80	M	88	M	191	M	166	M	33	M	166	M	150	194
	VP	60	M	60	M	66	M	143	M	125	M	25	M	125	M	112	M	561
	Demande	437	214	169	14	146	62	49	15	112	86	202	95	146	49	51	20	1867

Chapitre 03 : Structure d'un problème de transport au niveau de Sovac

La fonction économique de ce problème de transport est :

$$\begin{aligned} \text{Minimiser } Z = & 15X_{12} + 26X_{14} + 26X_{16} + 116 X_{18} + 91X_{110} + 88X_{112} + 88X_{114} + 88X_{116} + \\ & 10X_{21} + 20X_{23} + 20X_{25} + 87X_{27} + 68X_{29} + 66X_{211} + 66X_{213} + 66 X_{215} + \\ & 50X_{32} + 53X_{34} + 42X_{36} + 83X_{38} + 47X_{310} + 192X_{312} + 46X_{314} + 50 X_{316} + \\ & 37X_{41} + 40X_{43} + 31X_{45} + 62X_{47} + 35X_{49} + 106X_{411} + 35X_{413} + 37 X_{415} + \\ & 80X_{52} + 80X_{54} + 88X_{46} + 191X_{58} + 166X_{510} + 33X_{512} + 166X_{514} + 150 X_{516} + \\ & 60X_{61} + 60X_{63} + 66X_{65} + 143X_{67} + 125X_{69} + 25X_{611} + 125X_{613} + 112 X_{615} \end{aligned}$$

Avec les contraintes suivantes :

Disponibilités :

$$\begin{aligned} 15X_{12} + 26X_{14} + 26X_{16} + 116 X_{18} + 91X_{110} + 88X_{112} + 88X_{114} + 88X_{116} &= 165 \\ 10X_{21} + 20X_{23} + 20X_{25} + 87X_{27} + 68X_{29} + 66X_{211} + 66X_{213} + 66 X_{215} &= 505 \\ 50X_{32} + 53X_{34} + 42X_{36} + 83X_{38} + 47X_{310} + 192X_{312} + 46X_{314} + 50 X_{316} &= 196 \\ 37X_{41} + 40X_{43} + 31X_{45} + 62X_{47} + 35X_{49} + 106X_{411} + 35X_{413} + 37 X_{415} &= 246 \\ 80X_{52} + 80X_{54} + 88X_{46} + 191X_{58} + 166X_{510} + 33X_{512} + 166X_{514} + 150 X_{516} &= 194 \\ 60X_{61} + 60X_{63} + 66X_{65} + 143X_{67} + 125X_{69} + 25X_{611} + 125X_{613} + 112 X_{615} &= 561 \end{aligned}$$

Demandes :

$$\begin{aligned} 10X_{21} + 37X_{41} + 60X_{61} &= 437 \\ 15X_{12} + 50X_{32} + 80X_{52} &= 214 \\ 20X_{23} + 40X_{43} + 60X_{63} &= 169 \\ 26X_{14} + 53X_{34} + 80X_{54} &= 14 \\ 20X_{25} + 31X_{45} + 66X_{65} &= 146 \\ 26X_{16} + 42X_{36} + 88X_{56} &= 62 \\ 87 X_{27} + 62X_{47} + 143X_{67} &= 49 \\ 116X_{18} + 83X_{38} + 191X_{58} &= 15 \\ 68X_{29} + 35X_{49} + 125X_{69} &= 112 \\ 91X_{110} + 47X_{310} + 166X_{510} &= 86 \\ 66X_{211} + 106X_{411} + 25X_{611} &= 202 \\ 88X_{112} + 192X_{312} + 33X_{512} &= 65 \\ 66X_{213} + 35X_{413} + 125X_{613} &= 146 \\ 88X_{114} + 46X_{314} + 166X_{514} &= 49 \\ 66X_{215} + 37 X_{415} + 112 X_{615} &= 51 \\ 88 X_{116} + 50 X_{316} + 150 X_{516} &= 20 \end{aligned}$$

Chapitre 03 : Structure d'un problème de transport au niveau de Sovac

Non-négativité : $X_{ij} \geq 0$, $i = 1 \dots 6$; $j = 1 \dots 16$.

Où X_{ij} est le nombre de véhicules à expédier de chacun des parcs vers les différentes destinations.

De plus, $\sum a_i = 1867$ véhicules, $\sum b_j = 1867$ véhicules.

Pour résoudre ce problème de transport, la première étape à suivre est la recherche d'une solution de base admissible par l'application des méthodes heuristiques.

- La recherche de la solution de base admissible à travers la méthode des coûts minimums :

	Destinations	Alger		Blida		Boumerdes		Annaba		Ain mlila		Oran		Constantine		Batna		Disponibilité							
		Type veh	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU									
Alger	VU	M	15	165	M	26	M	26	M	116	M	91	M	88	M	88	M	88	165						
	VP	10	437	M	20	68	M	20	M	87	M	68	M	66	M	66	M	66	M	66	505				
BBA	VU	M	50	M	53	M	42	62	M	83	M	47	85	M	192	M	46	49	M	50	196				
	VP	37	M	40	M	31	146	M	62	M	35	M	106	M	35	100	M	37	M	37	246				
Mosta	VU	M	80	49	M	80	14	M	88	M	ε	191	15	M	166	1	M	33	95	M	166	M	150	20	194
	VP	60	M	60	101	M	66	M	143	49	M	125	112	M	25	202	M	125	46	M	112	51	M	51	561
	Demande		437	214	169	14	146	62	49	15	112	86	202	95	146	49	51	20		1867					



Chapitre 03 : Structure d'un problème de transport au niveau de Sovac

La solution de base admissible de la fonction-objectif est de :

$$\text{Min } Z = X_{12} + X_{21} + X_{23} + X_{36} + X_{310} + X_{314} + X_{45} + X_{413} + X_{52} + X_{54} + X_{58} + X_{510} + X_{512} + X_{516} + X_{63} + X_{67} + X_{69} + X_{611} + X_{613} + X_{615}$$

$$\text{Min } Z = (165*15) + (437*10) + (68*20) + (62*42) + (85*47) + (49*46) + (146*31) + (100*35) + (49*80) + (14*80) + (15*191) + (1*166) + (95*33) + (20*150) + (101*60) + (49*143) + (112*125) + (202*25) + (46*125) + (51*112)$$

$$\text{Min } Z = 84\ 669$$

La valeur de la fonction économique est de $84\ 669 * 10^2$ DA

- Testons l'optimalité en utilisant la méthode Balas Hamer (calcul des coûts duals) :

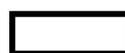
		V1=M-93	V2=80	V3=M-83	V4=80	V5=M-22	V6=161	V7=M	V8=191	V9=M-18	V10=166	V11=M-18	V12=33	V13=M-18	V14=165	V15=M-43	V16=150		
		Alger		Blida		Boumerdes		Annaba		Ain mlila		Oran		Constantine		Batna			
		VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	Disponibilité	
Alger	U1=-65	VU	15 165															165	
	U2=103-M	VP	437	68														505	
BBA	U3=-119	VU																196	
	U4=53-M	VP	37	40	146	62	35	106	100	37								246	
Mosta	U5=0	VU																194	
	U6=143-M	VP	60	101	66	143	49	125	112	25	202	125	46	112	51			561	
Demande			437	214	169	14	146	62	49	15	112	86	202	95	146	49	51	20	1867

Chapitre 03 : Structure d'un problème de transport au niveau de Sovac

La solution du tableau précédent n'est pas optimale, car les variables hors base X_{18} , X_{110} , X_{114} , X_{25} , X_{27} , X_{29} , X_{211} , X_{213} , X_{215} , X_{56} et X_{65} admettent des coûts marginaux négatifs. On pourra donc diminuer les coûts de transport en assignant à l'une des variables hors base une valeur positive.

- Déterminons la solution de base admissible à travers la méthode du coin nord-ouest.

	Dest	Alger		Blida		Boumerdes		Annaba		Ain mlila		Oran		Constantine		Batna		Disponibilités
		T. Veh	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU		
Alger	VU	M	13 165	M	76	M	76	M	116	M	01	M	88	M	88	M	88	165
	VP	10 437	M	20 68	M	20	M	87	M	68	M	66	M	66	M	66	M	66	505
BBA	VU	M	20 10	M	21 14	M	17 62	M	21 15	M	17 56	M	192	M	46	M	50	196
	VP	37	M	40 101	M	31 145	M	62	M	35	M	106	M	35	M	37	M	37	246
Mosta	VU	M	80	M	80	M	88	M	191	M	166 30	M	33 95	M	166 49	M	150 20	194
	VP	80	M	80	M	66 1	M	143 49	M	125 112	M	25 202	M	125 146	M	112 51	M 8	561
	Demande	437	214	169	14	146	62	49	15	112	86	202	95	146	49	51	20	



Chapitre 03 : Structure d'un problème de transport au niveau de Sovac

La solution de base admissible de la fonction-objectif est de :

$$\text{Min } Z = X_{12} + X_{21} + X_{23} + X_{32} + X_{34} + X_{36} + X_{38} + X_{310} + X_{43} + X_{45} + X_{510} + X_{512} + X_{514} + X_{516} + X_{65} + X_{67} + X_{69} + X_{611} + X_{613} + X_{615}$$

$$\text{Min } Z = (165*15) + (437*10) + (68*20) + (49*50) + (14*53) + (62*42) + (15*83) + (56*47) + (101*40) + (145*31) + (30*166) + (95*33) + (49*166) + (20*150) + (1*66) + (49*143) + (112*125) + (202*25) + (146*125) + (51*112)$$

$$\text{Min } Z = 95\,747$$

La valeur de la fonction économique est de $95\,747 * 10^2$ DA

- Testons l'optimalité en utilisant la méthode Balas Hamer (calcul des coûts duals)

		V1=65	V2=M+19	V3=75	V4=M-22	V5=66	V6=M-11	V7=143	V8=M+52	V9=125	V10=M+16	V11=25	V12=M-17	V13=125	V14=M+16	V15=112	V16=M		
		Dest	Alger		Blida		Boumerdes		Annaba		Ain mlila		Oran		Constantine		Batna		
		T. veh	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	Dispo
Alger	U1=-4-M	VU	M	15 165	M	26 <	M	26 <	M	116 <	M	91 <	M	88 <	M	88 <	M	88 <	165
	U2=-55	VP	10 437	M	20 68	M	20 <	M	87 <	M	68 >2	M	66 <	M	66 >4	M	66 <	M	505
BBA	U3=31-M	VU	M	50 49	M	53 14	M	42 62	M	83 15	M	47 56	M	192 <	M	46 >1	M	50 <	196
	U4=-35	VP	37 <	M	40 101	M	31 145	M	62 >46	M	35 >55	M	106 <	M	35 >55	M	37 >40	M	246
Mosta	U5=150-M	VU	M	80 >89	M	80 >48	M	88 >51	M	191 >11	M	166 30	M	33 95	M	166 49	M	150 20	
	U6=0	VP	60 >5	M	60 >15	M	66 1	M	143 49	M	125 112	M	25 202	M	125 146	M	112 51	M	561
Demande			437	214	169	14	146	62	49	15	112	86	202	95	146	49	51	20	1867

Chapitre 03 : Structure d'un problème de transport au niveau de Sovac

La solution du tableau précédent n'est pas optimale, car les variables hors base X_{29} , X_{213} , X_{314} , X_{49} , X_{413} , X_{415} , X_{52} , X_{56} , X_{58} , X_{61} et X_{63} admettent des coûts marginaux négatifs. On pourra donc diminuer les coûts de transport en assignant à l'une des variables hors base une valeur positive.

- Déterminons la solution de base admissible à travers la méthode Vogel.

	Destinations	Alger		Blida		Boumerdes		Annaba		Ain mlila		Oran		Constantine		Batna		Disponibilité
	Type veh	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	
Alger	VU	M	15 165	M	26	M	26	M	116	M	91	M	88	M	88	M	88	165
	VP	10 437	M	20	M	20 7	M	87 49	M	68	M	66	M	66 12	M	66	M	505
BBA	VU	M	50	M	53	M	42 26	M	83 15	M	47 86	M	192	M	46 49	M	50 20	196
	VP	37	M	40	M	31	M	62	M	35 112	M	106	M	35 134	M	37	M	246
Mosta	VU	M	80 49	M	80 14	M	88 36	M	191	M	166	M	33 95	M	166	M	150	194
	VP	60	M	60 169	M	66 139	M	ε 143	M	125	M	25 202	M	125	M	112 51	M	561
	Demande	437	214	169	14	146	62	49	15	112	86	202	95	146	49	51	20	1867

Chapitre 03 : Structure d'un problème de transport au niveau de Sovac

La solution de base admissible de la fonction-objectif est de :

$$\text{Min } Z = X_{12} + X_{21} + X_{25} + X_{27} + X_{213} + X_{36} + X_{38} + X_{310} + X_{314} + X_{16} + X_{49} + X_{413} + X_{52} + X_{54} + X_{56} + X_{512} + X_{63} + X_{65} + X_{611} + X_{615}$$

$$\text{Min } Z = (165*15) + (437*10) + (7*20) + (49*87) + (12*66) + (26*42) + (15*83) + (86*47) + (49*46) + (20*50) + (112*35) + (134*35) + (49*80) + (14*80) + (36*88) + (95*33) + (169*60) + (139*66) + (202*25) + (51*112)$$

$$\text{Min } Z = 71\,702$$

La valeur de la fonction économique est de $71\,702 * 10^2$ DA

- Testons l'optimalité en utilisant la méthode Balas Hamer (calcul des coûts duals)

		V1=56	V2=M-8	V3=60	V4=M-8	V5=66	V6=M	V7=133	V8=M+41	V9= 112	V10=M+5	V11=25	V12=M-55	V13=112	V14=M+4	V15=112	V16=M+8		
Destinations		Alger		Blida		Boumerdes		Annaba		Ain mlila		Oran		Constantine		Batna			
Type veh		VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	VP	VU	Disponibilité	
Alger	U1=23-M	M	15 165	M	26 <	M	26 <	M	116 <	M	91 <	M	88 <	M	88 <	M	88 <	165	
	U2= -46	10 437	M	20 <	M	20 7	M	87 49	M	68 <	M	66 <	M	66 12	M	66 =	M	505	
BBA	U3=42-M	M	50 <	M	53 <	M	42 26	M	83 15	M	47 86	M	192 <	M	46 49	M	50 20	196	
	U4= -77	37 <	M	40 <	M	31 <	M	62 <	M	35 112	M	106 <	M	35 134	M	37 <	M	246	
Mosta	U5=88-M	M	80 49	M	80 14	M	88 36	M	191 <	M	166 <	M	33 95	M	166 <	M	150 <	194	
	U6= 0	60 <	M	60 169	M	66 139	M	ε	143 <	M	125 <	M	25 202	M	125 <	M	112 51	M	561
Demande		437	214	169	14	146	62	49	15	112	86	202	95	146	49	51	20	1867	

Chapitre 03 : Structure d'un problème de transport au niveau de Sovac

La solution du tableau précédent est optimale, car aucune des variables hors base n'admet un coût marginal négatif.

Méthodes heuristiques	Coûts minimums	Coin nord-ouest	Vogel
Coût total (DA)	8 466 900	9 574 700	7 170 200

L'utilisation de l'approche de Vogel permet de réduire le nombre de calcul ce qui constitue une compensation pour sa plus grande complexité.

Tableau N° 6 : État de livraison des véhicules du parc BBA après l'application du modèle

	Parc BBA					
	VP			VU		
	Quantité	Coût unitaire/DA	Montant/DA	Quantité	Coût unitaire/DA	Montant/DA
Boumerdes				26	4200	109200
Annaba				15	8300	124500
Ain mlila	14	3500	49000	86	4700	404200
Constantine	134	3500	469000	49	4600	225400
Batna				20	5000	100000
	Total		518 000	Total		963 300

Le coût total de transport pour le parc Bordj bouariridj est de 1 481 300 DA, nous enregistrons une baisse de 1 211 300 DA soit 44,98% par rapport à celui de l'entreprise estimé à 2 692 600 DA.

Après l'application des techniques de programmation linéaire conçues pour la résolution des problèmes de transport, le nouveau plan d'expédition pour le parc BBA est d'alimenter cinq destinations en VU dont seulement deux destinations en VP.

Tableau N° 7 : État de livraison des véhicules du parc Mostaganem après l'application du modèle

Parc MOSTA						
	VP			VU		
	Quantité	Coût unitaire/DA	Montant/DA	Quantité	Coût unitaire/DA	Montant/DA
Alger				49	8 000	392 000
Blida	169	6 000	1 014 000	14	8 000	112 000
Boumerdes	139	6 600	917 400	36	8 800	316800
Oran	202	2 500	505 000	95	3 300	313500
Batna	51	11 200	571 200	8	15 000	120 000
	Total		3 007 600	Total		1 254 300

Le coût total de transport pour le parc de Mostaganem est de 4 261 900DA nous enregistrons une baisse de 2 484 400 DA soit 36,82% par rapport a celui de l'entreprise estimé à 6 746 300 DA.

Après l'application des techniques de programmation linéaire conçues pour la résolution des problèmes de transport, le nouveau plan d'expédition pour le parc MOSTA est d'alimenter cinq destinations en VU dont seulement quatre destinations en VP.

Chapitre 03 : Structure d'un problème de transport au niveau de Sovac

Tableau N° 8 : État de livraison des véhicules du parc Mostaganem après l'application du modèle :

	Parc Alger					
	VP			VU		
	Quantité	Coût unitaire/DA	Montant/DA	Quantité	Coût unitaire/DA	Montant/DA
Alger	437	1 000	437 000	165	1500	247 500
Boumerdes	7	2 000	14 000			
Annaba	49	8 700	426 300			
Constantine	12	6 600	79 200			
	Total		956 500	Total		247 500

Le coût total de transport pour le parc d'Alger est de 1 204 000DA nous enregistrons une baisse de 1 326 400 DA soit 52,41% par rapport a celui de l'entreprise estimé à 2 530 400 DA.

Après l'application des techniques de programmation linéaire conçues pour la résolution des problèmes de transport, le nouveau plan d'expédition pour le parc Alger est d'alimenter quatre destinations en VP dont une seule destination en VU.

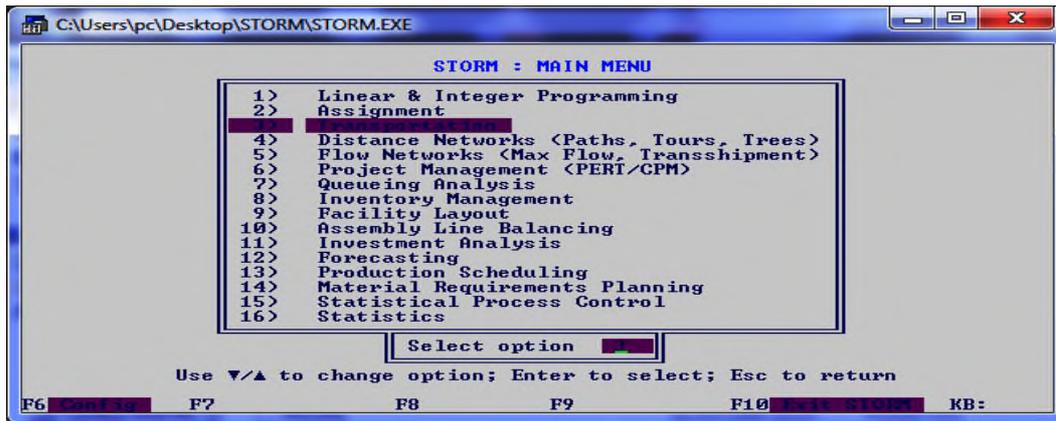
Après l'application du modèle de programmation linéaire, le coût total de transport est de 7 170 200 DA, nous observons une baisse de 4 799 100 DA, soit 40.09 % du coût total de transport selon l'entreprise Sovac qui est estimé à 11 969 300 DA.

Les résultats obtenus ont approuvé l'efficacité de l'ensemble des méthodes heuristiques dans la résolution des modèles de transport.

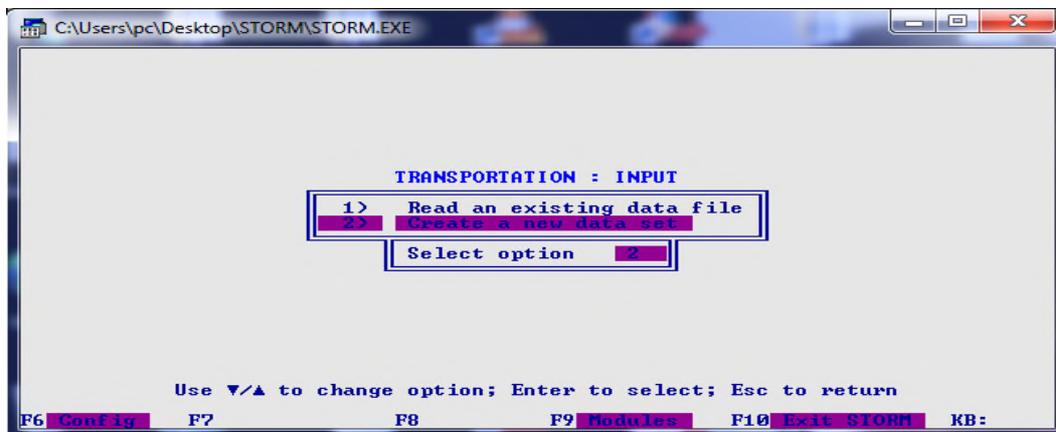
Solution informatique avec le logiciel STORM :

Dans cette étape, nous exposons la solution du problème de transport de en utilisant le logiciel STORM :

D'abord, ouvrons une fenêtre STORM et sélectionnons « transportation » :



En deuxième lieu choisissons « creat a new data set » :



Ensuite, nous introduisons les données du problème :

Chapitre 03 : Structure d'un problème de transport au niveau de Sovac

STORM EDITOR : Transportation Module

Title : sssqc
 Capacitated (CAP/UNCP) : UNCP
 Number of columns : 16
 Bounds (ROW/COL/BOTH/NONE) : NONE
 Number of rows : 6
 Objective type (MAX/MIN) : MIN

RB	C4	COLUMN 4	COLUMN 5	COLUMN 6	COLUMN 7	COLUMN 8	COLUMN 9
ROW 1		26.	1000.	26.	1000.	116.	1000.
ROW 2		1000.	20.	1000.	87.	1000.	68.
ROW 3		53.	1000.	42.	1000.	83.	1000.
ROW 4		1000.	31.	1000.	62.	1000.	35.
ROW 5		80.	1000.	88.	1000.	191.	1000.
ROW 6		1000.	66.	1000.	143.	1000.	125.
DUMMY							
DEMAND	14	146	62	49	15	112	

Enter the demand for COLUMN 4

F1 Block F2 GoTo F3 InsR F4 DelR F5 InsC F6 DelC F7 Done F8 Help KB:

Les résultats obtenus à l'aide du logiciel STORM :

- Avec la méthode coin nord-ouest :

TRANSPORTATION - OPTIMAL SOLUTION - DETAILED REPORT

Row	Cell	Column	Amount	Unit Cost	Cell Cost	Reduced Cost
ROW 6	COLUMN 1	1	0	60.0000	0.0000	4.0000
ROW 6	COLUMN 2	2	0	1000.0000	0.0000	49.0000
ROW 6	COLUMN 3	3	169	60.0000	10140.0000	0.0000*
ROW 6	COLUMN 4	4	0	1000.0000	0.0000	49.0000
ROW 6	COLUMN 5	5	139	66.0000	9174.0000	0.0000*
ROW 6	COLUMN 6	6	0	1000.0000	0.0000	41.0000
ROW 6	COLUMN 7	7	0	143.0000	0.0000	10.0000
ROW 6	COLUMN 8	8	0	1000.0000	0.0000	0.0000*
ROW 6	COLUMN 9	9	0	125.0000	0.0000	13.0000
ROW 6	COLUMN 10	10	0	1000.0000	0.0000	36.0000
ROW 6	COLUMN 11	11	202	25.0000	5050.0000	0.0000*
ROW 6	COLUMN 12	12	0	1000.0000	0.0000	96.0000
ROW 6	COLUMN 13	13	0	125.0000	0.0000	13.0000
ROW 6	COLUMN 14	14	0	1000.0000	0.0000	37.0000
ROW 6	COLUMN 15	15	51	112.0000	5712.0000	0.0000*
ROW 6	COLUMN 16	16	0	1000.0000	0.0000	33.0000
ROW 6	Subtotal =		30076.0000			

Total Cost = 71702.0000
 Number of iterations = 21

* Basic cells

La solution optimale est atteinte après 21 itérations comme l'indique le tableau ci-dessus.

- Avec la méthode des coûts minimums :

TRANSPORTATION - OPTIMAL SOLUTION - DETAILED REPORT

Row	Cell	Column	Amount	Unit Cost	Cell Cost	Reduced Cost
ROW 6	COLUMN 1	1	0	60.0000	0.0000	4.0000
ROW 6	COLUMN 2	2	0	1000.0000	0.0000	49.0000
ROW 6	COLUMN 3	3	169	60.0000	10140.0000	0.0000*
ROW 6	COLUMN 4	4	0	1000.0000	0.0000	49.0000
ROW 6	COLUMN 5	5	139	66.0000	9174.0000	0.0000*
ROW 6	COLUMN 6	6	0	1000.0000	0.0000	41.0000
ROW 6	COLUMN 7	7	0	143.0000	0.0000	10.0000
ROW 6	COLUMN 8	8	0	1000.0000	0.0000	0.0000*
ROW 6	COLUMN 9	9	0	125.0000	0.0000	13.0000
ROW 6	COLUMN 10	10	0	1000.0000	0.0000	36.0000
ROW 6	COLUMN 11	11	202	25.0000	5050.0000	0.0000*
ROW 6	COLUMN 12	12	0	1000.0000	0.0000	96.0000
ROW 6	COLUMN 13	13	0	125.0000	0.0000	13.0000
ROW 6	COLUMN 14	14	0	1000.0000	0.0000	37.0000
ROW 6	COLUMN 15	15	51	112.0000	5712.0000	0.0000*
ROW 6	COLUMN 16	16	0	1000.0000	0.0000	33.0000
ROW 6	Subtotal =		30076.0000			

Total Cost = 71702.0000
 Number of iterations = 9

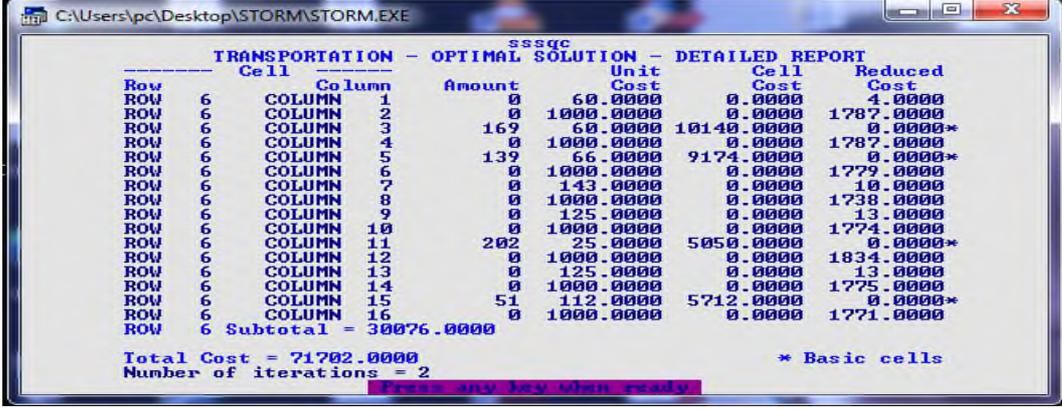
* Basic cells

La solution optimale est atteinte après 9 itérations comme l'indique le tableau ci-dessus.

Comme nous pouvons le constater pour les deux méthodes, la procédure reste très laborieuse si nous devons l'effectuer manuellement.

Chapitre 03 : Structure d'un problème de transport au niveau de Sovac

- Avec la méthode Vogel :



TRANSPORTATION - OPTIMAL SOLUTION - DETAILED REPORT

Row	Cell	Column	Amount	Unit Cost	Cell Cost	Reduced Cost
ROW 6	COLUMN 1	1	0	60.0000	0.0000	4.0000
ROW 6	COLUMN 2	2	0	1000.0000	0.0000	1707.0000
ROW 6	COLUMN 3	3	169	60.0000	10140.0000	0.0000*
ROW 6	COLUMN 4	4	0	1000.0000	0.0000	1787.0000
ROW 6	COLUMN 5	5	139	66.0000	9174.0000	0.0000*
ROW 6	COLUMN 6	6	0	1000.0000	0.0000	1779.0000
ROW 6	COLUMN 7	7	0	143.0000	0.0000	10.0000
ROW 6	COLUMN 8	8	0	1000.0000	0.0000	1738.0000
ROW 6	COLUMN 9	9	0	125.0000	0.0000	13.0000
ROW 6	COLUMN 10	10	0	1000.0000	0.0000	1774.0000
ROW 6	COLUMN 11	11	202	25.0000	5050.0000	0.0000*
ROW 6	COLUMN 12	12	0	1000.0000	0.0000	1834.0000
ROW 6	COLUMN 13	13	0	125.0000	0.0000	13.0000
ROW 6	COLUMN 14	14	0	1000.0000	0.0000	1775.0000
ROW 6	COLUMN 15	15	51	112.0000	5712.0000	0.0000*
ROW 6	COLUMN 16	16	0	1000.0000	0.0000	1771.0000
ROW 6	Subtotal				30076.0000	

Total Cost = 71702.0000
Number of iterations = 2

* Basic cells

Press any key when ready

La solution optimale est atteinte seulement après deux itérations ce qui prouve l'efficacité de cette méthode.

CONCLUSION
GENERALE

Conclusion générale

La contribution principale de ce travail a été de concevoir, spécifier et développer un système d'aide à la décision qui puisse assister un décisionnaire du transport dans sa prise de décision.

Le premier chapitre nous a permis d'exposer les différentes offres de transport ainsi de mettre en évidence l'importance du transport dans la chaîne logistique.

Le second chapitre a mis en exergue l'intérêt que peuvent représenter les différentes méthodes de programmation linéaire ainsi que leur efficacité dans la résolution des problèmes de transport.

La dernière phase a résidé dans l'application de la méthode de résolution développée en situation réelle. Notre étude a commencé en premier lieu par l'identification du problème de transport à résoudre pour ensuite le transformer en programme linéaire traité avec les différentes techniques assignées au modèle du transport. Elle s'est basée sur le plan de distribution d'une seule marque de véhicule composée de deux types.

Sur notre analyse des résultats obtenus, nous vérifions, d'une part, que les techniques de la programmation linéaires et particulièrement les techniques de transport permettent de trouver la meilleure façon d'acheminer les véhicules importés depuis les parcs vers les différents concessionnaires ; ce qui se traduit par la mise en œuvre d'un nouveau plan de distribution permettant d'atténuer le coût total de transport de 4 799 100 DA soit 40,09 % du coût total estimé à 11 969 300 DA, ce qui débouche par voie de conséquence sur l'amélioration de la performance de l'entreprise.

D'autre part, l'entreprise Sovac ne dispose pas d'un personnel ayant des compétences et qualifications suffisantes leur permettant de mettre en œuvre les techniques modernes de gestion notamment les techniques de recherche opérationnelle conçues pour la résolution des problèmes de transport.

Comme nous avons constaté l'absence d'une structure chargée de la collecte et traitement de données utiles et détaillées pour répondre aux besoins informationnels des dirigeants et sur lesquels ils peuvent s'appuyer pour appliquer ces techniques de transport.

La mise en œuvre des techniques de programmation linéaire notamment les méthodes de recherches opérationnelles conçues pour la résolution des problèmes de transport se détermine principalement par les deux facteurs qui sont le coût unitaire de transport et le chiffre d'affaire réalisé, suite à la non disponibilité des informations sur le chiffre d'affaire

Conclusion générale

que le service comptabilité et finance considère comme étant des données internes confidentielles , notre analyse s'est fondée sur un seul indice qui est le coût de transport.

Le recours de cette entreprise aux techniques de programmation linéaire notamment celles conçues pour la résolution des problèmes de transport lui permettra de minimiser ses coûts de transport et donc d'améliorer sa rentabilité ainsi sa performance, pour cela, Sovac doit être doté d'un personnel compétant ayant des connaissances dans le domaine.

Ceci dit, une nouvelle piste de recherche peut être appréhendée, dans le futur, en explorant toujours le même thème mais en utilisant l'un des modèles précédemment cités.

Bibliographie

Ouvrages

- 1- Alain Martel « *techniques et application de la recherche opérationnelle* », Gaëtan Morin éditeur, 2ème édition.
- 2- Baillargeon Gerald « *programmation linéaire appliquée : outils d'optimisation et d'aide à la décision* », les éditions SMG, 1996.
- 3- Benghazal Amor Farouk, « *programmation linéaire* », office des publications universitaires (OPU) ,2006.
- 4- Brewer Ann M., Button Kenneth J., and Hensher David “A.Handbook of logistics and supply-chain management”, Pergamon Amsterdam; New York, 2001.
- 5- D. J. Bowerson D. J. Closs “*Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process*”, McGraw-Hill, 1996.
- 6- D. Tixier, H. Mathe et J. Colin « *La Logistique au service de l'entreprise : moyens, mécanismes et enjeux* », Paris (France), Dunod, 1988.
- 7- D. Tixier, H.Mathe et J. Collin, « *La logistique d'entreprise* », Dunod, 1996.
- 8- Daniel THIEL, « *Recherche opérationnelle et management des entreprises* », economica.
- 9- Gerd Finke, « *recherche opérationnelle et réseaux* », Lavoisier.
- 10- Heskett J.L., « *Logistics : essential to strategy* », *Harvard Business Review*, nov.-déc. 1977, traduit par « La logistique, élément clé de la stratégie », *Harvard-L'Expansion*, n°8.
- 11- Jean – Paul TSASA V. Kimbambu « *recherche opérationnelle : résumé des heuristiques et recueil d'applications pour étudiants en gestion* », copyright ©jptsasa-mars 2010.
- 12- Morana Joëlle « *de la logistique au supply chain management* », e-thèque 2003.
- 13- Olmi A., July F. « *la réduction des coûts de distribution par la recherche opérationnelle* », éditions EYROLLES, éditions d'organisation.
- 14- Simchi-Levi D., Kaminsky P., and Simchi-Levi E. *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies. Irwin/McGraw-Hill series in operations and decision sciences.* McGraw-Hill/Irwin, 2003.
- 15- Stadler Hartmut and Kilger Christoph “*Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software, and Case Studies*”, Springer Publishing Company, Incorporated, 4th edition, 2010.

- 16- Theghem Jacques, « *recherche opérationnelle : méthodes d'optimisation* », tome 1.
- 17- Yves Nobert, Roch Ovellet, Régis Parent ; « *méthodes d'optimisation pour la gestion* », Gaëtan Morin éditeur, CHENELIERE EDUCATION.
- 18- Yves Pimor « *logistique : techniques et mise en œuvre* », DUNOD, 2ème édition.
- 19- Yves Pimor, Michel Fender « *logistique ; production, distribution, soutien* », DUNOD, 5ème édition.

Mémoires

- 1- Rodrigue Tchapnga Takoudjou « *Méthodes de modélisation et d'optimisation par recherche a voisinages variables pour le problème de collecte et de livraison avec transbordement* », Université de Bordeaux, 2014, (thèse Doctorat).

Revue et sites internet

- 1- Dictionnaire Larousse en ligne :
<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/logistique/47678>.
- 2- Dodé Ludovic « *La gestion des transports et les TMS* ».
http://www.acteos.com/build/client/Article_Presse/PDF/20100616-TIL-dossier.special.TMS. PDF, 2010.
- 3- Fabian Bastin « *Modèles de Recherche Opérationnelle* », Département d'Informatique et de Recherche Opérationnelle, Université de Montréal
<http://www.iro.umontreal.ca/~bastin>. IFT-1575 Hiver 2010.
- 4- Les spécialistes transport-logistique.org.