

2/91
Tn
2e

وزارة الجامعات
Ministère aux Universités

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE INDUSTRIEL

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

APPROCHE DE RESOLUTION HEURISTIQUE
D'UN PROBLEME D'AFFECTION D'UNE FLOTTE
MARITIME. APPLICATION AU RESEAU
D'EXPORTATION GPL/SONATRACH.

TOME 1

Proposé par :

Mr A. ZERROUKI

Etudié par :

Mr BAHLAT HAMZA
Mr BELKHIRI FOUAD

Dirigé par :

M^{elle} N. ABOUN
Mr M. SARI

PROMOTION

Juin 1991

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Projet de Fin d'études intitulé:

APPROCHE DE RESOLUTION HEURISTIQUE D'UN PROBLEME D'AFFECTATION
D'UNE FLOTTE MARITIME
APPLICATION AU RESEAU D'EXPORTATION GPL/SONATRACH

Presenté par: M.^{RS} BAHLAT HAMZA,

et BELMIRI LOUAD,

En vue de l'obtention du diplôme:

INGENIEUR D'ETAT EN GENIE INDUSTRIEL

سعى هذا المشروع إلى دراسة إمكانية الحل الأمثل لاستغلال بحري لفائدة إدارة التسويق التابعة
لسونترات. تمنا بتطبيق رياضي خطي مزدوج تم عرضناه وتقسيمناه إلى صافنا
إلى عدة تشكلات تقريبية فقد انتهينا إلى حل هورستكي تمكين
من تطبيقه في نطاق التصدرات التي تقوم بها إدارة التسويق في سونترات
و كانت النتائج جيدة جدا.

Le projet concerne l'étude d'un problème d'affectation d'une
flotte maritime pour le compte de la direction MARKETING-LPG de
l'entreprise SONATRACH. Une formulation en un problème linéaire
mixte est présentée et discutée. Plusieurs autres formulations
approchées ont été proposées suivies d'une approche heuristique.
Celle dernière, après avoir été évaluée sur une série de problèmes
tests, a permis de l'appliquer au cas de l'exportation
GPL/SONATRACH. Les résultats se sont révélés très satisfaisants.

This project is aimed to study the probleme of the optimal
assignment of the maritime fleet in cas of LPG distribution on
SONATRACH direction MARKETING-LPG's. A mixed linear programming
formulation of the problem is given and discussed. Several others
approximates formulations are given followed by an heuristique
procedure. The last, initially tested on series of tests problems,
proved to be very successful in resolving the problem. The
results found were very satisfactory.

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Projet de fin d'études intitulé:

APPROCHE DE RESOLUTION HEURISTIQUE D'UN PROBLEME D'AFFECTATION
D'UNE FLOTTE MARITIME.
APPLICATION AU RESEAU D'EXPORTATION GPL/SONATRACH

Présenté par: M^{rs} BAHLAT HAMZA.

et BELKHIRI FOUAD.

En vue de l'obtention du diplôme:
INGENIEUR D'ETAT EN GENIE INDUSTRIEL

Ce projet concerne l'étude d'un problème d'affectation d'une flotte maritime pour le compte de la direction MARKETING-GPL de l'entreprise SONATRACH. Une formulation en un problème linéaire mixte est présentée et discutée. Plusieurs autres formulations approchées ont été proposées suivies d'une approche heuristique. Cette dernière, après avoir été évaluée sur une série de problèmes tests, a permis de l'appliquer au cas de l'exportation GPL/SONATRACH. Les résultats se sont révélés très satisfaisants.

This project is aimed to study the probleme of the optimal assignement of the maritime fleet in cas of LPG distribution on SONATRACH direction MARKETING-LPG's. A mixed linear programming formulation of the problem is given and discussed. Several others approximates formulations are given followed by an heuristique procedure. The last, initially tested on series of tests problems, proved to be very successful in resolving our problem. The results found were very satisfactory.

DEDICACES

Je dedie cette thèse, qui cloture mes études supérieures

d'ingéniorat à:

-mes parents.

-mes frères et soeurs.

A toute ma famille ainsi qu'a tous les amis.

HAMZA

Je dédie ce travail;

A la mémoire de mon frère CHAFIK;

A mon père;

son esprit de sacrifice demeure pour moi un exemple.

A ma mère;

*qu'elle trouve ici un faible témoignage de ma profonde
affection.*

A toute ma famille.

FOUAD

REMERCIEMENTS

Permettez-nous tout d'abord de remercier les enseignants M^{lle} N.ABOUN et M H.SARI, nos promoteurs d'avoir bien voulu nous prendre en charge pour l'élaboration de ce travail qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

Un vif remerciement se doit d'être également adressé à l'ensemble de la direction Marketing de l'entreprise SONATACH, et principalement à M A.ZERROUKI et M LARBI CHERIF pour avoir bien voulu nous suivre et nous conseiller tout au long de ce travail.

Nous ne saurions oublier le grand mérite des enseignants qui ont contribué à notre formation pendant ses cinq laborieuses années et particulièrement ceux du département: GENIE INDUSTRIEL.

Nous ne pourrions au terme de notre tâche oublier nos parents et tous nos amis pour leur aide et leur soutien.

TABLES DES MATIERES :



- *Resumé*
- *Dedicaces*
- *Remerciements*
- *introduction*1

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCEUIL ET
POSITION DU PROBLEME 7

1.1. *Présentation du département ventes GPL*.....7
1.2. *Description du système de distribution*.....12
1.3. *Position du problème*.....24

CHAPITRE 2 : REVUE DE LITTERATURE 30

2.1. *Introduction*.....30
2.2. *Problème d'élaboration de tournées*.....31
2.3. *Problèmes d'horaires de véhicules*.....32
 2.3.1. *VSP*.....36
 2.3.2. *VSPLPR*.....36
 2.3.3. *VSPMVT*.....37
 2.3.4. *VSPMD*.....38
2.4. *Problème d'élaboration de tournées de distribution
avec fenêtres de temps*.....41
2.5. *Approches de résolution des problèmes d'élaboration
de tournées avec fenêtres de temps*.....44

CHAPITRE 3: FORMULATION DU PROBLEME	50
3.1. Introduction.....	50
3.2. Données du problème.....	52
3.2.1. Analyse des inputs.....	52
3.2.2. Notations utilisées.....	57
3.3. Les contraintes du problème.....	59
3.4. Formulation du problème.....	62
3.4.1. Variables de décisions.....	62
3.4.2. Détermination des réseaux pour chaque navire.....	63
3.4.3. Modélisation du problème.....	65
3.4.4. Analyse de l'objectif de l'entreprise.....	71
3.4.5. Cas avec plusieurs ports de déchargement.....	72
3.4.6. Evaluation de la taille du modèle de la formulation.....	76
 CHAPITRE 4: METHODOLOGIE ET MODELE DE LA FORMULATION	 81
4.1. Approche en programmation linéaire mixte.....	81
4.2. Approche basée sur le modèle de collecte et livraison..	83
4.3. Approche basée sur une discrétisation du temps.....	89
4.4. Méthode approximative de la résolution du problème.....	94
4.4.1. Présentation de l'heuristique.....	95
4.4.2. Exemple illustratif.....	107
4.4.3. Analyse du programme d'affectation.....	118

CHAPITRE 5: PROBLEMES TESTS ET APPLICATION AU CAS ACTUEL

DE L'ENTREPRISE

121

<i>5.1.Introduction.....</i>	<i>121</i>
<i>5.2.Analyse de la methode heuristique.....</i>	<i>121</i>
<i>5.2.1.Problèmes tests.....</i>	<i>121</i>
<i>5.2.2.Résultats et interprétation.....</i>	<i>129</i>
<i>5.2.4.Application au cas réel.....</i>	<i>133</i>
<i>5.2.5.Conclusion générale.....</i>	<i>139</i>
<i>5.2.6.Suggestions.....</i>	<i>141</i>

- *Bibliographie*

- *Annexes.*

INTRODUCTION

Initialement réservée à la logistique militaire, l'étude des fonctions de distribution touche aujourd'hui tous les secteurs d'activité. Au fur et à mesure que les systèmes de distribution se développaient, leur gestion devenait de plus en plus complexe et échappait au contrôle des méthodes artisanales. Le besoin de stocker et de transporter des quantités de marchandises de plus en plus importantes et l'augmentation des coûts ont poussé les chercheurs à développer des outils analytiques rigoureux, seuls à même d'assurer une gestion efficace. Le nombre, la taille, et la localisation des dépôts dans un système de distribution, l'analyse des fonctions des coûts de transport, et le tracé des tournées de distribution sont devenus depuis, autant de sujets d'intérêt.

Pour beaucoup d'entreprises industrielles, le problème de transport (collecte et/ou livraison d'objets allant des matières premières aux produits finis) revêt une importance capitale, puisqu'il participe pour une part non négligeable dans les coûts supportés. L'utilisation efficace du parc de véhicules ou de la flotte maritime comme dans notre cas, est donc souvent le centre des préoccupations des gestionnaires, auxquels une question naturelle se pose en particulier: comment affecter leurs navires durant un horizon de temps fini pour

satisfaire la demande de manière optimale? Ce processus de décision est particulièrement important pour les entreprises qui affrètent des navires, sur les mouvements desquels elles n'ont pas un contrôle absolu et qui sont limitées par un calendrier. Cette question, à laquelle il est difficile de répondre en raison du nombre énorme de combinaisons "navires-tournées", montre tout l'intérêt de cette étude, qui s'insère dans le domaine de l'optimisation combinatoire.

Vers la fin du siècle dernier, le gaz, l'électricité, le pétrole et ses principaux dérivés étaient couramment utilisés aux Etats Unies d'Amérique. Ce n'est qu'en 1922 qu'on commençait à parler de l'existence d'un corps qui n'était qu'un sous produit de traitement du gaz naturel: le butane stockable à l'état liquide utilisé sous la forme de gaz riche.

En traversant l'Atlantique, le premier butanier du monde "AGNITA" est arrivé en France en 1932, date à partir de laquelle l'industrie du "Gaz de pétrole liquéfié" ou GPL [annexell] est née en Europe. De 1932 à 1939, cette industrie s'est développée successivement en France, en Belgique, au Danemark, en Italie, aux Pays bas, en Allemagne, en Grande Bretagne, au Portugal et un peu plus tard en Espagne et au Japon notamment.

Dès lors, la production européenne s'est progressivement substituée aux importations à partir des U.S.A. et le propane a fait son apparition sur le marché industriel.

Sur la scène énergétique internationale, les hydrocarbures ont encore de beaux jours devant eux, alors que les autres sources d'énergie, charbon et nucléaire essentiellement, sont pénalisées par des coûts de production élevés et un souci accru pour la protection de l'environnement.

Les G.P.L suscitent alors un intérêt croissant qui tient essentiellement autant à leurs qualités propres qu'aux perspectives favorables de faire de l'énergie (butane et/ou propane) une énergie à part entière. C'est ainsi qu'en 1990, la consommation mondiale annuelle dépasse 125 millions de tonnes. Elle est constituée pour 40% de butane et 60% de propane.

L'Algérie occupe une place de choix dans le concert des pays producteurs et exportateurs des hydrocarbures, elle se trouve du fait de sa situation géographique aux portes de l'Europe du sud (gros consommateur potentiel du G.P.L dans des domaines divers: combustion, carburation, pétrochimie, etc...). Pour cela, elle dispose outre des champs pétrolifères importants dont les gisements recèlent des ressources énergétiques diversifiées en gaz et en pétrole brut, des installations de raffinage, de liquéfaction, et de transport

importantes qui répondent ainsi aux besoins de consommation intérieure et d'exportation.

Cependant, si par le passé, l'Algérie s'orientait vers une stratégie de développement et d'utilisation rationnelle de ses ressources énergétiques dans une conjoncture de marché très favorable, à l'heure actuelle les données de base ayant développé cette stratégie dans le commerce extérieur des hydrocarbures ont changé de part la concurrence très intensive dans ce domaine d'autant plus que la récente crise du GOLFE met en relief la dépendance en matière d'approvisionnement énergétique à l'égard de certaines parties du globe et ravive de ce fait, la politique de diversification énergétique. Ainsi, devant une telle situation, l'entreprise SONATRACH a choisi une attitude de type "offensive" afin de tirer le meilleur parti du marché mondial en adoptant une règle de ponctualité dans la livraison de son produit [21], surtout que toutes les estimations avancées sur le marché du G.P.L offrent les perspectives d'accroissement de la consommation dans le monde [17].

Si les solutions à moyen et long termes sont envisageables par l'acquisition d'une flotte maritime adéquate en corrélation avec la politique de développement de SONATRACH [21], à terme, il y a lieu de situer cette institution en un vendeur FOB [annexell] de fait ne disposant pas de moyens de transport maritime de G.P.L conséquents.

Cette situation conjoncturelle continuera à soumettre SONATRACH à une dépendance parfois désavantageuse vis à vis des armateurs qui ne satisfait le plus souvent ni ses propres intérêts ni ceux de ses clients.

L'organisation d'une telle flotte affrêtée dans la perspective d'une optimisation dans sa rotation implique une planification dans sa disponibilité, dans son affectation et dans sa rotation modulée dans l'espace et dans le temps. Nous nous proposons d'étudier cette modulation tout en tenant compte du temps réel d'utilisation.

C'est dans ce contexte, et à partir d'un exemple concret sur l'exportation du G.P.L au sein de l'entreprise SONATRACH, que nous allons essayer de déterminer un modèle d'affectation optimale des navires composant la flotte affrêtée, de manière à maximiser le bénéfice total. Pour atteindre notre objectif, nous adopterons le plan de travail suivant:

En premier lieu, une présentation du département ventes G.P.L de l'entreprise SONATRACH, suivie d'une définition de la problématique feront l'objet du chapitre 1. Le chapitre 2 sera consacré à la revue de littérature où nous présenterons un tour d'horizon de quelques travaux dans le domaine des problèmes d'affectation avec contraintes de temps. Par la suite, la formulation mathématique du problème qui se présente comme un problème linéaire mixte sera faite au chapitre 3. Au chapitre 4, nous procéderons à la description des approches utilisées,

ainsi que de l'exemple illustrant les différentes étapes de la méthode utilisée. Le bien fondé de cet outil de résolution sera analysé en fin de ce chapitre.

Les données à entrer en chapitre 5 pour la validation seront celles du programme d'affectation concernant le mois de Mai. Les résultats obtenus seront discutés. Par la suite des recommandations quant à la gestion de l'actuelle flotte maritime découleront: on essayera de conclure sur l'efficacité de cette étude et des diverses perspectives d'amélioration que l'on aurait entrevues.

CHAPITRE 1

PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCEUIL ET POSITION DU PROBLEME

1.1. Présentation du département ventes G.P.L.

Les premières années de la décennie 80 ont vu l'entreprise nationale SONATRACH se réorganiser, engendrant la création de dix-sept autres entreprises industrielles, de réalisation et de service. Depuis, SONATRACH a recentré ses activités autour de ses missions essentielles de recherche, de production, de transport, de traitement (du gaz naturel) et de commercialisation des hydrocarbures. Cette ligne de conduite joue un rôle prédominant dans le financement du développement et la détermination du niveau de croissance du pays. Actuellement, SONATRACH s'occupe de la commercialisation de plusieurs produits énergétiques parmi lesquels nous pouvons citer:

--Le pétrole brut,

--Le gaz naturel, par canalisation vers l'ITALIE et plus tard le MAROC et l'ESPAGNE,

--le gaz naturel liquéfié (G.N.L) par voie maritime,

--Les produits raffinés (essences, gaz oil, etc...),

--Les gaz de pétrole liquéfiés,

--Le condensat.

Au moment où chacun des producteurs pousse ses pions en cherchant à améliorer ses positions, comment l'Algérie prépare-t-elle la nouvelle conjoncture énergétique des années 90?

La production d'hydrocarbures en Algérie s'appuie sur deux piliers: le pétrole brut et le gaz. La composition de la production nationale d'hydrocarbures a évolué considérablement depuis le début des années 80. Elle connaîtra au cours de la décennie à venir des transformations orientées dans le même sens. D'une part, la part du pétrole brut qui représentait en 1980 encore les 3/4 de l'activité du secteur régresse constamment au profit des produits raffinés, d'autre part, le gaz et ses dérivés occupent une place croissante qui fera de plus en plus de l'Algérie un pays "gazier" plus que pétrolier (voir tableau suivant). (12)

PRODUITS	89(réalisation)	91	93	95	98
PETROLE BRUT	13.0	13.5	15.7	15.0	14.0
PRODUITS RAFFINES	13.4	13.0	12.5	12.0	11.0
CONDENSAT	16.5	17.0	18.0	18.5	18.3
GPL	3.4	3.5	5.7	5.5	9.5
GNL	17.0	21.0	30.0	34.0	38.0
GAZ NATUREL	12.0	12.0	13.5	16.0	23.0

PERSPECTIVES D'EXPORTATION ALGERIENNE
D'HYDROCARBURES EN VOLUME (89-98)
(en milliards de m³)

C'est ainsi qu'à la fin de la présente décennie, l'Algérie devrait produire près de 35 millions de tonnes de pétrole brut (contre 36 en 1990), 14 millions de tonnes étant exportés sous cette forme et 21 millions de tonnes transformés dans les raffineries Algériennes. Les exportations de produits raffinés devraient diminuer, en raison de l'augmentation de la consommation intérieure, passant de 11 millions de tonnes actuellement à environ 13 millions vers la fin des années 90. Mais c'est surtout dans le domaine du gaz et de ses dérivés que les changements les plus importants vont intervenir. Alors que Sonatrach a exporté 33 milliards de m³ de gaz en 1990, elle s'attend sur la base surtout des contrats déjà conclus ainsi que de quelques contrats potentiels à des exportations voisines de 60 milliards de m³ dès 1998; (entre 35 et 40 milliards de m³ sous forme GNL et de 20 à 25 sous forme GN). A cette date, l'Algérie sera le deuxième fournisseur mondial de gaz derrière l'Union Soviétique.

Les dérivés liquides de l'extraction du gaz (condensats et GPL) doivent, eux aussi, connaître un développement sensible et voir leurs exportations passer de près de 20 millions de tonnes actuellement à près de 30 millions (dont 11 de GPL) en 1998. Le pétrole brut ne représentera plus alors qu'environ 15 % de nos exportations d'hydrocarbures.

De ce point de vue, le secteur connaîtra deux étapes nécessitant des mobilisations très inégales. La première phase vise à la pleine utilisation des capacités existantes. La deuxième phase se traduira par le lancement de nouveaux projets de développement. Il y en a trois essentiellement. Le premier est le gazoduc euro-maghrébin qui amènera le gaz de Hassi R'Mel jusqu'en Europe par le Maroc et l'Espagne. Un programme de valorisation des condensats et des GPL dans les champs gaziers du sud de Hassi Messaoud devrait également être réalisé sur 7 à 8 ans. Enfin, le projet le plus coûteux et à plus long terme concerne le développement des champs gaziers à l'extrême sud et la construction des canalisations pour les relier à Hassi R'Mel qui jouera le rôle de centre de collectes et de distribution [17].

Compte tenu de l'objectif de production retenu et des prévisions de la consommation, en particulier, celle de l'Europe, Sonatrach table ainsi sur une stratégie offensive.

La question de l'exportation des G.P.L est confiée au département "ventes G.P.L", structure appartenant à la direction **MARKETING** de **SONATRACH** et auprès de laquelle nous avons effectué notre stage. Au cours de ce stage, négociations, transport maritime, contrats, marchés mondiaux du G.P.L, prix **SPOT**, techniques de ventes, etc... ont été pour la plupart les centres de nos investigations auprès des responsables, au cours des interviews qu'ils nous ont accordées. Il nous a fallu nous familiariser, tout d'abord, avec le lexique important et difficile propre à cet immense domaine de l'énergie. Cependant, nos recherches ont pu se concrétiser en une importante masse d'informations sur l'économie des hydrocarbures, sur l'entreprise **SONATRACH** en tant qu'acteur international et surtout sur la Direction Marketing et notamment le Département Ventes de G.P.L. Ce dernier, comprenant quatre personnes, a pour mission les tâches suivantes:

-- Analyse des paramètres du marché international qui influencent les résultats de l'activité du département et prévision de leur évolution probable à court et moyen terme.

-- Adaptation de stratégies et de programmes de ventes aux conditions du marché international par l'amélioration constante de la position de l'entreprise sur ce marché. Contacts avec la clientèle existante et potentielle, promotion des produits de la gamme confiée au département, négociations et recommandations pour la conclusion de nouveaux contrats de vente.

-- Evaluation périodique des termes des contrats conclus, recommandations de révisions tendant à l'amélioration de la valorisation des ressources nationales.

Jusqu'en 1988, SONATRACH demeurait un vendeur FOB (annexell), tous ses clients récupéraient leurs produits G.P.L dans les ports algériens. Après cette date, l'entreprise a commencé à affréter des navires concrétisant ainsi sa nouvelle stratégie, dès lors, la planification de cette flotte dans le cadre des ventes contractuelles faisait état d'une nouvelle mission confiée au département, lequel procédait dans la mesure du possible à son affectation; ainsi, l'organisation d'une telle flotte sera l'objet de notre étude dans le domaine du transport maritime intercontinental.

Afin d'éclaircir l'objectif de l'entreprise et de comprendre la structure et la dynamique du problème, nous nous sommes intéressés au fonctionnement du système de distribution actuel dont voici la description.

1.2. Description du système de distribution

1.2.1. Produits

La gamme de G.P.L comprend le butane, le propane et le bupro (mélange butane et de propane). Il existe deux types de

conditionnement pour ces produits:

- Le G.P.L "réfrigéré", et
- Le G.P.L "ambiant".

1.2.2. Origine du produit

La production de G.P.L en Algérie résulte de l'agrégation de différents flux, provenant des installations localisées à:

- Hassi R'Mel;
- Hassi Messaoud;
- Dans les gisements "Sud de Hassi R'Mel" situés respectivement à Alrar et Rhourdenouss;
- Dans les usines de G.N.L à Arzew et Skikda.

Toute la charge est renvoyée vers le Nord par Gazoducs sous forme de Bupro [annexell] pour être séparée soit à SKIKDA soit à ARZEW, dans les usines de séparation tel que le Jumbo G.P.L phasel et la raffinerie RA2Z.

Compte tenu de ces sources diversifiées, le potentiel de production du G.P.L pourrait atteindre huit (08) millions de tonnes par an [21].

1.2.3. Réseau de transport

Les quantités de G.P.L produites empruntent le réseau qui comprend deux canalisations, l'une en provenance de Hassi

Messaoud vers Hassi R'Mel qui fait jonction avec une autre canalisation reliant Hassi R'Mel à Arzew avant d'arriver aux dépôts de stockage situés dans les ports Algériens, et l'autre reliant Hassi R'mel à Skikda.

1.2.4. Dépôts de stockage

Des dépôts de stockage existent dans les ports Algériens afin d'assurer l'approvisionnement régulier des navires. Actuellement, trois ports de chargement sont destinés, entre autre, au G.P.L : Arzew, Bethioua, Skikda et dont les caractéristiques sont :

* Port d'Arzew

...Capacité de stockage

-Butane: 22500 tonne metrique (1 tm = 1000 kg),

-Propane: 22500 tm,

...deux quais de chargement,

...débit de chargement égal à 300 tm par heure.

* Port de Bethioua (situé à proximité de celui d'Arzew)

...Capacité de stockage

-Butane: 120000 tm,

-Propane: 120000 tm,

...deux quais de chargement,

...débit de chargement égal à 2000 tm par heure.

* Port de Skikda

...Capacité de stockage

-Propane: 2500 tm,

...un seul quai de chargement,

...débit de chargement égal à 300 tm par heure.

Les capacités de stockage existantes s'élèvent à 330000 tm représentant environ 18 jours de production. Nous ferons remarquer qu'actuellement, les responsables prévoient toujours 24 heures en moyenne pour le passage des navires dans les ports Algériens.

1.2.5. Techniques de ventes

Le marché international des produits GPL est, en volume, relativement faible. Les raisons de son étroitesse résident essentiellement dans le fait que les grandes zones consommatrices telle que les Etats Unis d'Amérique couvrent la majeure partie de leurs besoins grâce à leur propre outil de production [15].

Les flux internationaux de GPL correspondent en fait à trois types principaux de transactions:

- transactions entre filiales de groupes internationaux dans le but de satisfaire une demande globale au moindre coût;

- transactions faisant l'objet de contrats à durée déterminée (six mois, un an);

- transactions Spot, c'est à dire vente du moment et du lieu. Elles sont issues de cinq principaux centres de production qui sont:

- le Golfe Persique, particulièrement l'Arabie Saoudite,
- les Etats Unis d'Amérique,
- l'Europe du sud,
- l'Algérie, et
- l'U.R.S.S.

les principaux centres de consommation sont:

- les marchés de nord ouest de l'Europe, en l'occurrence ceux d'Amsterdam, Rotterdam et Anvers, et celui de la mer du nord connu sous le vocable de marché de "Seagoing";
- les marchés en méditerranée (Lavera, Livourne, Brindisi, Naples)
- les marchés de l'extrême orient, surtout celui du Japon;
- les Etats Unis d'Amérique;
- le marché Brésilien;

Ces marchés dits "marchés libres" disposent généralement de systèmes de cotations. Parmi ces cotations, citons celles

établies par PLATT'S LPGWIRE publiées chaque vendredi soir. Le tableau 1 donne successivement les cotations pour une période relativement calme, du 7 au 13 Juillet 1990 et les cotations du 1er au 7 Septembre 1990, période troublée, suite au conflit du Golfe. Les écarts sont comme, on le constate, considérables.

PRIX USD/TM	7/07/90 AU 13/07/90		1/9/90 AU 7/9/90	
	PROPANE	BUTANE	PROPANE	BUTANE
NORTH WEST EUROPE.....				
FOB. SEAGOING	75-81	80-90	215-260	245-270
FOB. ARA	122-125	116-119	239-268	237-279
CIF. 1-3000MT	105-115	100-115	280-283	275-290
CIF. 3000+MT	116-118	110-113	250-265	260-265
WEST MED.....				
FOB. EX-REF/STOR	105-115	75-83	250-260	240-250
CIF. 1-3000 MT	160-165	/	205-210	/
CIF. 3000 + MT	105-115	/	245-255	/
JAPAN.....				
EX-RM. STOR	217-224	197-204	207-214	185-193
US GULF. FOB MT. BELV	141-142	136-137	208-211	224-227
POSTING CONTRACTS.....				
FOB SEA (BP/SHELL)	99	100	236	205
FOB ALGERIA	105/110	110	230/235	230
FOB S ARABIA	90.46	89.22	165.88	163.61
FOB ABU DHABI	90.46	89.22	165.88	163.61
FOB QATAR	90.46	89.22	165.88	163.61
FOB KUWAIT	90.46	89.22	101.11	99.72
FOB VENEZUALA	190	180	285	280

T A B L E A U 1

Ces écarts nous conduisent tout naturellement à analyser les comportements des marchés internationaux de produit GPL. Schématiquement, deux types de réactions interviennent:

1-En période de crise, anticipant les risques de pénurie (réels ou imaginaires), les prix augmentent brutalement pour atteindre des niveaux 2 à 3 fois plus élevés. La période d'Aout 1990 est, à cet égard, significative par suite de la disparition totale du GPL Kowétien sur le marché. Cette situation est caractéristique d'un marché dominé par les vendeurs. Le producteur, durant cette période, réalise alors des marges confortables. Néanmoins ses profits sont de courte durée.

2-En période normale, les prix fluctuent autour de valeurs moyennes relativement stables. Cet état est caractéristique d'un marché déprimé, traduisant la sur-capacité structurelle de l'industrie de GPL, le marché est aux mains des acheteurs.

1.2.6. Types de livraisons:

Il y a trois types de livraison: [annexell]

-FOB,

-C et F, et

-CIF.

Les plus utilisés actuellement sont FOB et C et F, mais celles qui nous concernent sont C et F et CIF, compte tenu du fait que SONATRACH est vendeur et transporteur.

1.2.7. Contrats

S'agissant dans cette étude de ventes contractuelles, il convient de rappeler quelques notions concernant un contrat type que l'entreprise SONATRACH établit avec ses clients, ceci nous permettra de mieux appréhender les informations nécessaires à la modélisation du problème.

Généralement, l'entreprise établit avec ses clients des contrats d'une année répartie en six mois d'hiver et six mois d'été, dont l'objet est la livraison par le vendeur et l'achat et la réception par l'acheteur, C et F ou CIF, de G.P.L aux termes et conditions fixés dans ledit contrat. Au plus tard soixante jours avant son expiration, les parties se rencontrent pour étudier les modalités et conditions d'un éventuel renouvellement.

Dans un contrat, sont consignés principalement:

--la durée du contrat;

--le type de produit ainsi que sa qualité répondant aux spécifications stipulées par la "National Gas Processors Association" des Etats Unis d'Amérique.

--la quantité annuelle de base prévue. Toutefois les deux parties peuvent, d'un commun accord, augmenter à tout moment ces quantités.

--la destination du produit qui peut comporter un ou plusieurs ports de déchargement chez un même client.

--le prix de facturation sera celui résultant de l'application de la formule suivante: $PF = PS + F$, avec

PF = prix de facturation (C et F) en dollars par tonne métrique formée de deux éléments:

PS = prix FOB en vigueur au marché sur lequel le client s'aligne à la date de chargement du navire, traduisant le prix de vente au port d'embarquement.

F = frêt en dollars US/TM pour la relation Algérie-client traduisant les frais de transport.

Dans le cas d'une livraison en CIF, le prix de facturation comporte un troisième membre relatif aux assurances.

--Les forces majeures où les deux parties sont exonérées de responsabilités, qui peuvent survenir indépendamment de leurs volontés respectives, telles que les tremblements de terre, tempêtes, embargos, ...etc.

--la Programmation des livraisons

a- La quantité contractuelle du produit prévue sera livrée par le vendeur comme suit $X * | Q \pm DQ |$; avec

X = nombre de livraisons fermes par mois, qui peut être égale à 1, 2, ... Notons ici que le navire de SONATRACH ne peut accéder au port client que X fois par mois. Ce nombre est négocié et peut être différent entre l'été et l'hiver.

Q = la quantité nominale pour chaque livraison tenant compte des besoins du client. Cette quantité est négociée.

DQ = la variation de la quantité nominale du client, due essentiellement à la gamme limitée des tonnages des navires que possède le vendeur. Ce niveau est aussi négocié.

b- Au plus tard, le 10 du mois M , le vendeur propose à l'acheteur la (ou les) semaine(s) de livraison du produit pour le mois $M+1$.

Au plus tard, le 15 du mois M , l'acheteur notifie son acceptation ou son refus. En cas de refus de sa part, il propose de nouvelles dates qui devront être acceptables pour le vendeur. Si les deux parties ne parviennent pas à fixer les dates dans la deuxième décade du mois précédent le mois d'enlèvement, les planches d'enlèvement seront déterminées comme suit:

ⓐ- Lorsque les dates du vendeur sont prévues plus tard que celles de l'acheteur, le dernier jour de la planche initiale de l'acheteur, augmenté de deux jours devient le premier jour de la planche définitive, et le dernier jour de la planche initiale du vendeur diminué de deux jours devient le dernier jour de la planche définitive.

ⓑ- Lorsque les dates du vendeur sont prévues plus tôt que celles de l'acheteur, le dernier jour de la planche initiale du vendeur augmenté de deux jours devient le premier jour de la planche

définitive et le dernier jour de la planche initiale de l'acheteur diminué de quatre jours devient le dernier jour de la planche définitive.

c- Le vendeur notifiera à l'acheteur, au plus tard 10 jours avant la semaine de livraison, le nom du navire et les dates de son arrivée exprimées en fourchettes de cinq jours.

--le Temps de planche

le temps de planche alloué pour le déchargement d'un navire de 3500 tm est de 48 heures. Si le navire arrive dans la fourchette agréée, le temps de planche commence après l'expiration des six heures de notice ou à l'accostage du navire selon l'événement qui se réalise le premier, et se termine à la déconnexion des flexibles (lignes de chargement), ce qui correspond à l'appareillage du navire. Si le navire arrive après la fourchette convenue, le temps de planche ne commencera qu'à l'accostage lannexell.

1.2.8-Transport par voie de mer

SONATRACH utilise généralement l'affrètement au "time charter" lannexell pour louer ses navires. Les capacités de ces derniers varient actuellement entre 1000 et 4000 tm.

Les produits G.P.L. à livrer se présentent sous une forme physique liquide et sont souvent dangereux. La variété des produits et la précision des spécifications font que l'aspect qualitatif de la distribution est une contrainte très importante au stade final de la production pour le stockage mais aussi pour le transport. C'est dire que l'aspect global de la distribution des produits G.P.L. sera relativement simple, mais que la réalisation au moindre coût du détail des opérations concrètes correspond à une complexité que les plus gros ordinateurs actuels pourraient difficilement appréhender. Par suite, le transport de ces produits est d'une grande technicité nécessitant des manipulations très prudentes [15].

Les navires possèdent plusieurs citernes séparées les unes des autres, chacune ayant une capacité bien déterminée et pouvant être remplie par l'un ou l'autre des produits ou les deux; c'est ce qu'on appelle respectivement procédé ségrégué et Mixte.

1.2.9- Les coûts de transport

De par leur utilisation, les navires engendrent des coûts, parmi ceux là, seuls les frais d'exploitation sont à la charge de l'entreprise; nous avons:

* Le coût d'affrètement, payé par l'entreprise avant chaque mois,

* Les frais de ports: ils comportent une partie fixe et une autre proportionnelle au tonnage, et concernent les taxes, le remorquage et les services divers.

* Consommation fuel oil en mer.

* Consommation diesel oil en port.

Nous dirons que les navires rentrant dans l'activité du transport du G.P.L sont en général de petites cargaisons bien adaptées aux ports clients et Algériens.

1.2.10-Débouchés à l'étranger

Le butane et le propane connaissent actuellement un développement remarquable; celui-ci a permis de mettre un terme aux tensions que connaissait le marché national et de dégager des quantités appréciables pour la commercialisation sur les marchés extérieurs. Actuellement, environs 1,2 millions de tonnes métriques par an de G.P.L sont destinés à la consommation nationale dont 95% de butane, alors que près de 3,5 millions t.m par an de G.P.L sont exportés dont 60% de propane et 40% de butane. La part des exportations Algériennes dans le marché international est de l'ordre de 4% [22]. Par zone géographique, elle est répartie comme suit:

* Le marché Européen (France, Belgique, Espagne, Portugal, Italie) qui importe 55% des G.P.L;

* Le marché Américain (côte Est) qui importe 25% des G.P.L;

* 5% à 6% des G.P.L sont destinés au Maroc, à la Tunisie et à la Mauritanie;

* L'Extrême orient dont le Japon est le principal client, importe 2% des G.P.L;

* Enfin, L'Amérique du Sud, notamment le Brésil, importe le reste soit 12 à 13% des G.P.L.

1.3. Position du problème

A cet égard, nous pouvons résumer les caractéristiques du problème comme suit:

--Le département ventes G.P.L s'occupe de la commercialisation de trois produits, le butane, le propane et le bupro.

--Les navires peuvent charger dans trois ports de chargement (Arzew, Bethioua et Skikda) dont les caractéristiques ont été résumées dans la section 2.2.

--La flotte est hétérogène. Chaque navire est caractérisé par sa capacité en TM et sa vitesse en Noeuds Annexell. Plusieurs navires sont regroupés dans une même classe quand ils ont les mêmes couts d'exploitation.

--Chaque client contractuel a son programme de livraison constitué *

* du type de produit;

* du nombre de livraisons fermes par mois;

* de la quantité voulue exprimée sous forme d'intervalle qui tient compte de ses capacités de stockage et de sa consommation.

--En plus du programme de livraisons, chaque client paye un fret pour le transport de ces produits, ainsi que le montant de la cargaison.

--les clients contractuels actuels sont du Nord Est de l'Europe, de l'Europe du Sud ou de l'Afrique. Les distances reliant chaque client aux différents ports de chargement en Algérie sont données (en miles).

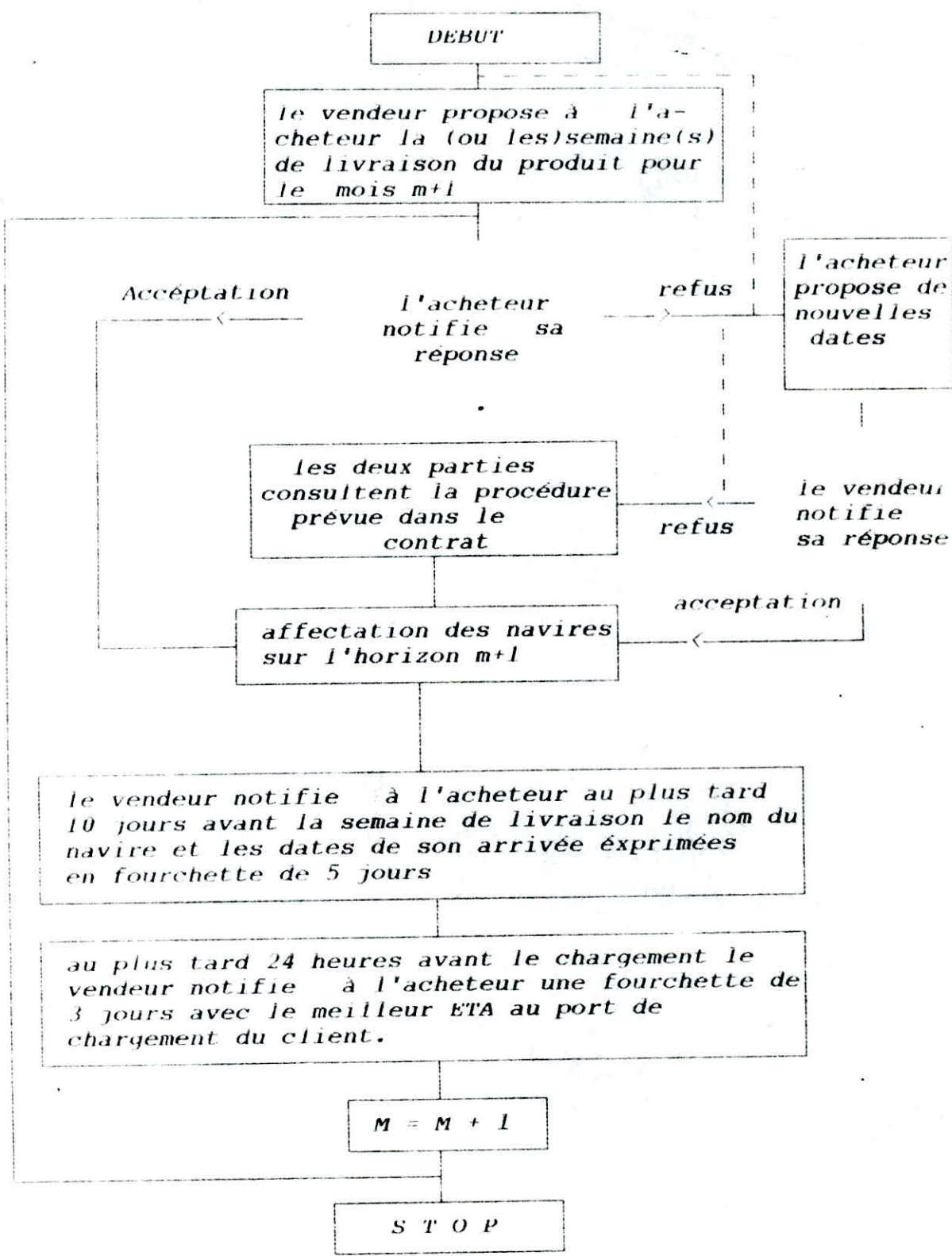
--Certains clients possèdent plusieurs ports de déchargement, entre lesquels, le navire devra répartir sa cargaison. Les différentes quantités à livrer sont connues.

--Et enfin pour ses livraisons, le client négocie chaque mois avec les responsables du département ventes G.P.L. les intervalles de temps d'arrivée des navires à son port. Après livraison, ces navires sont de nouveau disponibles pour d'autres livraisons pour lesquelles ils doivent revenir en Algérie afin de charger les produits nécessaires. Nous faisons remarquer, qu'actuellement, SONATRACH prévoit toujours dans ces affectations, une durée moyenne de passage des navires dans les ports clients. Cette dernière comprend trois termes:

- . les heures de notices,
- . le temps de planche, et même parfois
- . les temps d'attentes.

Tenant compte de toutes ces contraintes, le responsable doit élaborer chaque mois l'affectation des navires affrétés qui doit être acceptée par les deux parties: SONATRACH et les clients.

En fait, cette affectation passe par plusieurs étapes que nous avons résumées dans l'organigramme ci-après:



avec ETA désignant une estimation du temps d'arrivée du navir anglais "estimate time arriving".

A la lecture de cet organigramme, il s'agira, en fait, d'élaborer un modèle de programmation des navires tenant compte de leurs positions initiales issues de la précédente affectation. Ce modèle devra répondre à toutes les étapes citées ci-dessus.

Il est clair que cet organigramme constitue un processus itératif dans lequel le responsable se verra, à chaque proposition, faire la nouvelle affectation des navires.

Partant de là, si nous appelons la fourchette de temps durant laquelle un navire doit arriver au port du client fenêtre de temps, nous analyserons le problème sous la forme de routage des navires avec fenêtres de temps connu sous l'expression "Vehicle routing and scheduling problem with time windows". Compte tenu du fait que la flotte est hétérogène d'une part, et que d'autre part après avoir réalisé une livraison, le navire peut charger dans l'un des trois ports Algériens avant de repartir pour une autre livraison, le problème devient plus compliqué, comme nous allons le voir dans le chapitre suivant.

Ce problème n'a pas encore été étudié globalement sous cette forme mais plutôt sous des formes plus simples telles que:

- * le problème d'horaire de véhicules
- * le problème d'élaboration de tournées avec fenêtres de temps
- * ou encore le problème de collecte et livraison avec fenêtres de temps, etc...

Nous préciserons que nos recherches bibliographiques se sont portées sur les problèmes de transport par véhicule. Ceci n'a pas d'importance, car comme pour le cas de l'affectation des avions, des trains, des bus, etc... les chercheurs ont plus ou moins utilisé les modèles développés dans le cas des véhicules. Nous allons voir que ces travaux s'appliquent très bien au transport maritime, avec la particularité suivante: le transport maritime, à l'inverse des transports terrestre, n'est pas guidé par le réseau de routes existantes.

Dans le chapitre 3, nous donnerons une formulation globale du problème à laquelle nous avons ajouté un autre aspect relatif au procédé ségrégué de remplissage du navire; ceci n'exclut pas le fait que cette formulation tienne compte du procédé actuel dans lequel un navire part rempli d'un seul produit, utilisé actuellement pour l'exportation du G.P.L.

Dans le chapitre suivant nous donnerons un résumé des principales réalisations dans le domaine des problèmes d'affectation sous contraintes horaires, relativement à certaines variantes.

REVUE DE LITTERATURE

2.1. Introduction

Depuis quelques années, la littérature concernant les problèmes de tournées sous contraintes horaires n'a cessé de se développer. Voyageur(s) de commerce, problème du plus court chemin, tournées de livraison, tournées avec cueillete et livraison, etc... ont été autant de modèles théoriques d'application pour des problèmes pratiques tels que le ramassage scolaire, le transit urbain, l'affectation d'une flotte d'avions, l'affectation de m machines à n opérations quand chacune d'elles doit être réalisée dans un intervalle de temps bien défini, etc.

Avant de commencer à décrire ce domaine, il faut préciser qu'il ne s'agit pas d'une description intégrale de tous les types de problèmes de cette classe, de leurs formulations mathématiques, de leurs caractéristiques propres, et de leurs approches de résolution exactes ou approchées, mais plutôt d'une description qualitative dans le sens où nous allons examiner la nature de quelques contraintes et de quelques variantes de problèmes en rapport avec la modélisation de notre problème. Nous commencerons ce tour d'horizon par le problème d'élaboration de tournées qui est à la base des modèles avec

Nous préciserons que nos recherches bibliographiques se sont portées sur les problèmes de transport par véhicule. Ceci n'a pas d'importance, car comme pour le cas de l'affectation des avions, des trains, des bus, etc... les chercheurs ont plus ou moins utilisé les modèles développés dans le cas des véhicules. Nous allons voir que ces travaux s'appliquent très bien au transport maritime, avec la particularité suivante: le transport maritime, à l'inverse des transports terrestre, n'est pas guidé par le réseau de routes existantes.

Dans le chapitre 3, nous donnerons une formulation globale du problème à laquelle nous avons ajouté un autre aspect relatif au procédé ségrégué de remplissage du navire; ceci n'exclut pas le fait que cette formulation tienne compte du procédé actuel dans lequel un navire part rempli d'un seul produit, utilisé actuellement pour l'exportation du G.P.L.

Dans le chapitre suivant nous donnerons un résumé des principales réalisations dans le domaine des problèmes d'affectation sous contraintes horaires, relativement à certaines variantes.

REVUE DE LITTERATURE

2.1. Introduction

Depuis quelques années, la littérature concernant les problèmes de tournées sous contraintes horaires n'a cessé de se développer. Voyageur(s) de commerce, problème du plus court chemin, tournées de livraison, tournées avec cueillette et livraison, etc... ont été autant de modèles théoriques d'application pour des problèmes pratiques tels que le ramassage scolaire, le transit urbain, l'affectation d'une flotte d'avions, l'affectation de m machines à n opérations quand chacune d'elles doit être réalisée dans un intervalle de temps bien défini, etc.

Avant de commencer à décrire ce domaine, il faut préciser qu'il ne s'agit pas d'une description intégrale de tous les types de problèmes de cette classe, de leurs formulations mathématiques, de leurs caractéristiques propres, et de leurs approches de résolution exactes ou approchées, mais plutôt d'une description qualitative dans le sens où nous allons examiner la nature de quelques contraintes et de quelques variantes de problèmes en rapport avec la modélisation de notre problème. Nous commencerons ce tour d'horizon par le problème d'élaboration de tournées qui est à la base des modèles avec

contraintes horaires; ensuite nous décrirons les problèmes d'horaires de véhicule où les tâches doivent être accomplies à des moments et dans des délais imposés. Une tâche pouvant être une collecte, une livraison, une tournée, etc...; nous continuerons par analyser la combinaison de ces deux types de problèmes. Enfin, nous terminerons par citer quelques méthodes exactes et heuristiques qui ont été développées dans tel ou tel cas et que le lecteur intéressé pourra consulter dans les ouvrages cités en bibliographie. Néanmoins, dans le chapitre 4, nous analyserons quelques approches qui pourraient être appliquées à notre cas particulier.

2.2. le problème d'élaboration de tournées

Connu sous l'expression "the vehicle routing problem" (VRP), il consiste à déterminer les itinéraires d'un ensemble de véhicules de même capacité opérant à partir d'un point central, pour la livraison et/ou la collecte de produits en certains points de demande géographiquement dispersés. Il donne une importance aux caractéristiques spatiales des tâches, en particulier, les mouvements successifs d'un véhicule correspondent généralement aux déplacements dans l'espace.

Dans les problèmes avec contraintes horaires, le temps est associé à chaque tâche. Par exemple, chaque client peut exiger une livraison durant un intervalle de temps bien précis. Ainsi, les aspects horaires des mouvements de véhicules doivent être

considérés explicitement; désormais, la réalisation d'une tâche est influencée également par les caractéristiques spatiales et temporelles: un même véhicule ne peut pas servir deux clients différents au même moment. Le partitionnement des tâches dans l'espace et dans le temps est appelé problème d'horaires de véhicules.

2.3. Problème d'horaires de véhicules

Connu sous l'expression "the vehicle scheduling problem", (VSP) ce problème a été présenté et analysé par Bodin et al [11] sous la forme des quatre variantes suivantes:

a- Problème d'horaire de véhicules avec dépôt unique, connu sous l'expression "the single depot vehicle scheduling problem" noté VSP.

b- Problème d'horaire de véhicules avec dépôt unique et restriction sur le temps alloué à chaque véhicule, connu sous l'expression "the single depot vehicle scheduling problem with length of path restrictions node" noté VSFLPR.

c- Problème d'horaire de véhicules avec un seul dépôt et plusieurs types de véhicules, connu sous l'expression "the single depot vehicle scheduling problem with multiple vehicle types" noté VSPMVT.

d- Problème d'horaire de véhicule avec plusieurs dépôts, connu sous l'expression "the multiple depot vehicle scheduling problem" noté VSPMD.

Avant de décrire tous ces modèles, nous allons examiner de plus près la nature de la contrainte horaire. Supposons que nous voulons livrer une marchandise à un certain client et que nous savons qu'une fois le véhicule arrivé chez le client, la livraison durera exactement 10 minutes. Si le client n'a aucune restriction sur l'heure de ladite livraison, nous pourrions représenter l'aspect horaire comme un poids (10 minutes) associé à la livraison ainsi qu'à la contrainte sur la durée totale admissible d'une tournée, disons 9 heures. Nous pourrions utiliser un algorithme de tournées de distribution (Routing algorithm [1]) pour résoudre ce problème. Nous remarquerons que le client peut être servi à n'importe quelle heure de la journée. Maintenant, supposons que le client exige que la livraison se fasse exactement à 14h10. Dans ce cas, l'instant de départ et celui d'arrivée seront associés à la livraison et nous devons alors utiliser un algorithme tenant compte des aspects temporels (scheduling algorithm [1]) pour résoudre ce problème. Ce dernier aura à affecter au client un véhicule à 14h10, véhicule qui ne sera disponible pour une autre livraison qu'à partir de 14h20.

En général, les inputs du problème d'horaire de véhicule sont un ensemble de tâches. Chaque tâche est caractérisée par

son instant de départ, son instant d'arrivée, son lieu de départ et son lieu d'arrivée ainsi que par sa durée. Dans l'exemple suivant, un ensemble de 10 clients est présenté sur la figure 3.1.

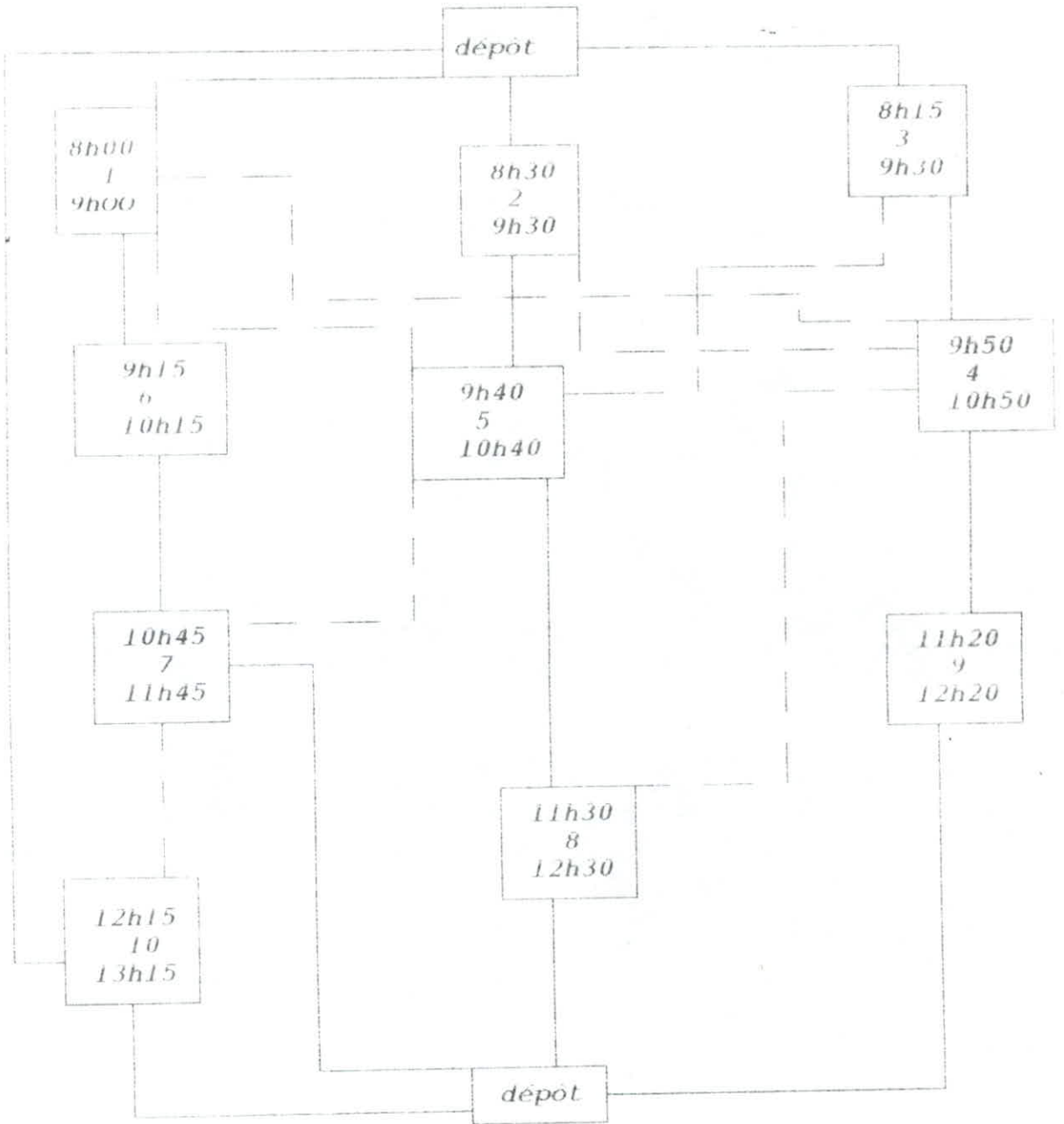


fig 3.1

Les instants de départ et d'arrivée sont donnés sur un noeud représentant la livraison du client. Une branche en trait continu dessinée entre deux noeuds indique que ces derniers sont reliés par le même véhicule. La branche en trait pointillé indique une connection réalisable non utilisée dans la solution. Dans cet exemple, une branche va du noeud i vers le noeud j si j peut être réalisé après i et si l'instant de départ de la livraison j est inférieur ou égal à l'instant d'arrivée de la livraison i augmenté d'une heure. Donc, il n'y a pas de branche de 6 à 5 car l'instant de départ de 5 est inférieur à celui de 6, et ainsi de suite. Une tournée faite par un même véhicule ne doit pas dépasser 5 heures au total. Notons que cette restriction élimine l'inclusion du noeud 10 avec les autres séquences.

Trois contraintes augmentent la complexité des problèmes d'horaires de véhicules. Ces restrictions sont :

a- La contrainte sur la longueur de la tournée ou la séquence durant laquelle un véhicule est en service avant de retourner au dépôt.

b- La contrainte que certains clients ne peuvent être servis que par certains types de véhicules.

c- Et enfin, la présence de plusieurs dépôts où les véhicules peuvent retourner.

Nous allons examiner l'effet de ces contraintes en considérant les variantes citées au début de la section 3.3.

2.3.1. VSP : Il s'agit de partitionner les tâches représentées par les nœuds d'un réseau en un ensemble de séquences, tout en optimisant un certain objectif, tel que la minimisation du nombre de véhicules par exemple. Chaque séquence correspond aux horaires d'un véhicule. La figure 3.2 donne une solution à ce problème sans y inclure la restriction sur les longueurs des tournées des véhicules.

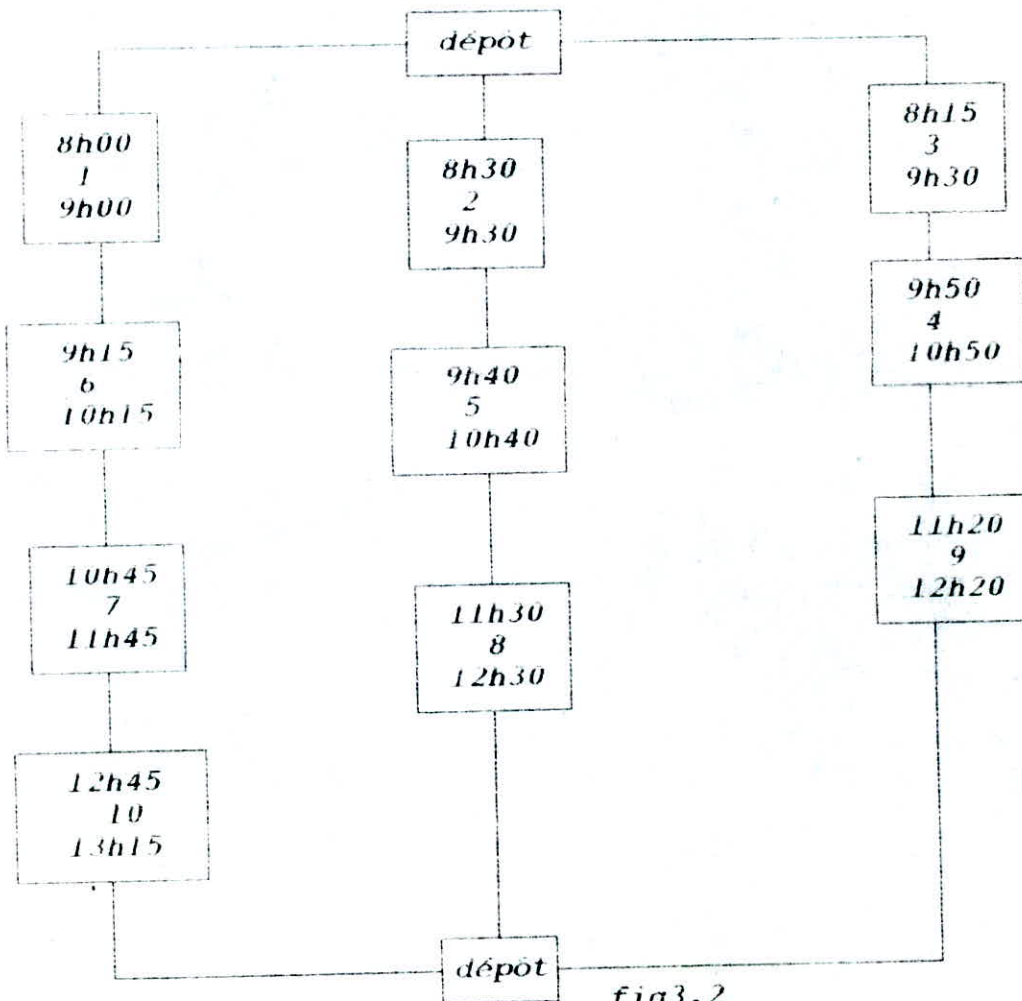


fig3.2

2.3.2. VSPLPR : Dans ce problème apparaissent des contraintes sur le temps total qu'un véhicule peut passer en dehors du dépôt. Ces contraintes apparaissent dans la pratique et correspondent généralement au besoin du véhicule de se ravitailler en carburant ou à la maintenance etc... Une solution de ce problème est illustrée dans la figure 3.1 où la durée admissible considérée est de 5 heures.

2.3.3: VEPNT : Dans ce problème, plusieurs véhicules sont en mesure de réaliser une même tâche. Dans la majorité des cas, les caractéristiques des véhicules sont leur capacité (par exemple, dans les réseaux urbains, les minibus peuvent servir les lignes avec une faible demande, les autres bus serviront les lignes avec une forte demande et chacun des deux types peut servir les lignes avec une demande moyenne). Donc pour chaque tâche, l'ensemble des véhicules qui peuvent la réaliser est connu à l'avance. Considérons l'exemple sur la figure 3.3 où les noeuds 2, 6 et 7 peuvent être parcourus par des véhicules de type 1; les noeuds 1, 3 et 4 par les véhicules de type 2 et les noeuds 8, 9 et 10 par les deux types. Il n'y a pas de restriction sur la longueur des tournées.

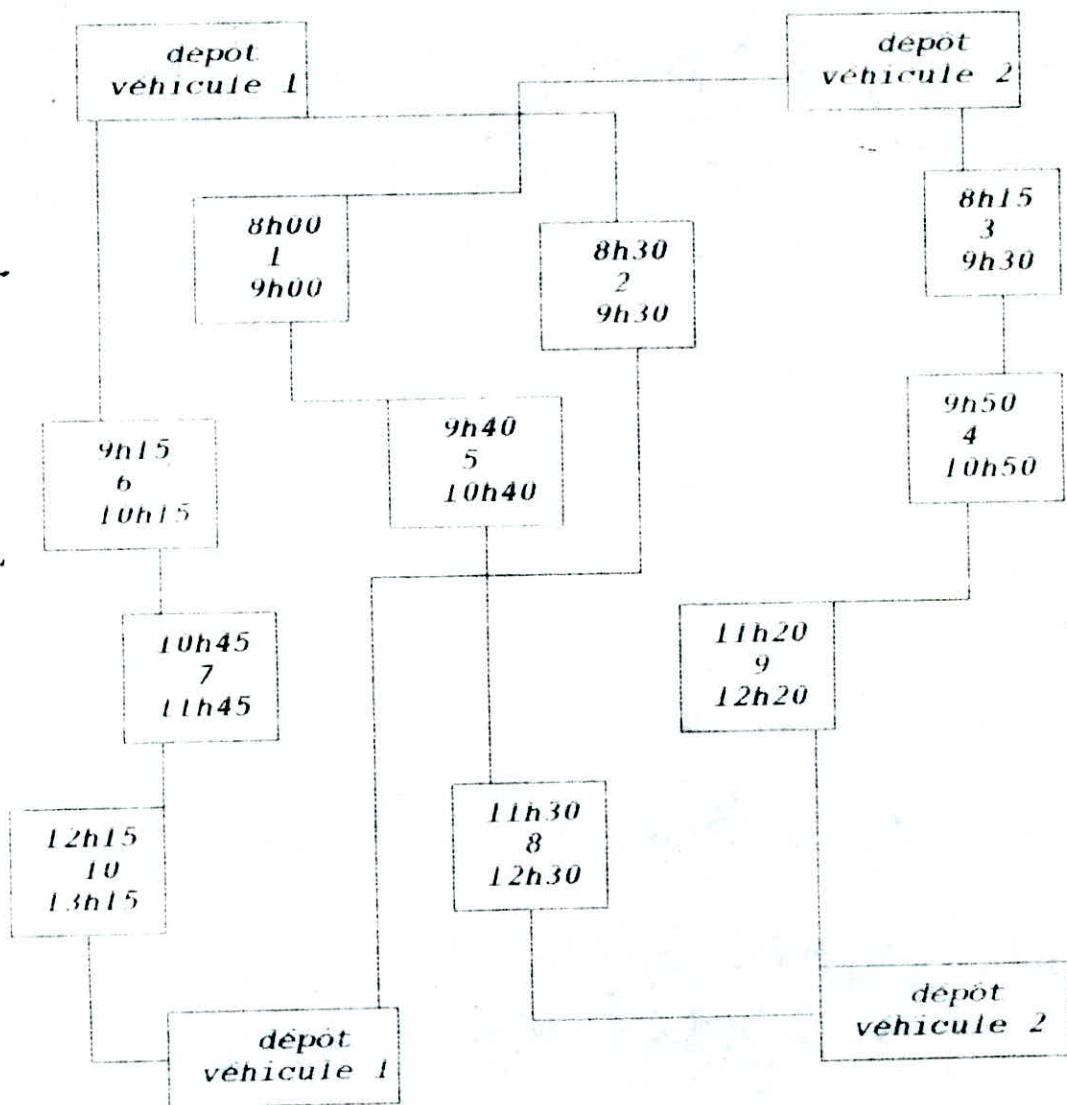


fig 3.3

2.3.4. VSPMD : Dans ces problèmes, les tâches peuvent être réalisées à partir de plusieurs dépôts. Comme dans le VRP, chaque véhicule doit partir et revenir au même dépôt, les dimensions de la flotte doivent correspondre à celle des dépôts. L'exemple de la figure 3.4 illustre une solution réalisable pour le VSPMD. Dans cette solution, les noeuds 1, 5, 6, 7, 8 et 10 sont parcourus par deux véhicules, à partir du

depôt 1. Les noeuds 2, 3, 4 et 9 sont parcourus par deux autres véhicules, à partir du dépôt 2.

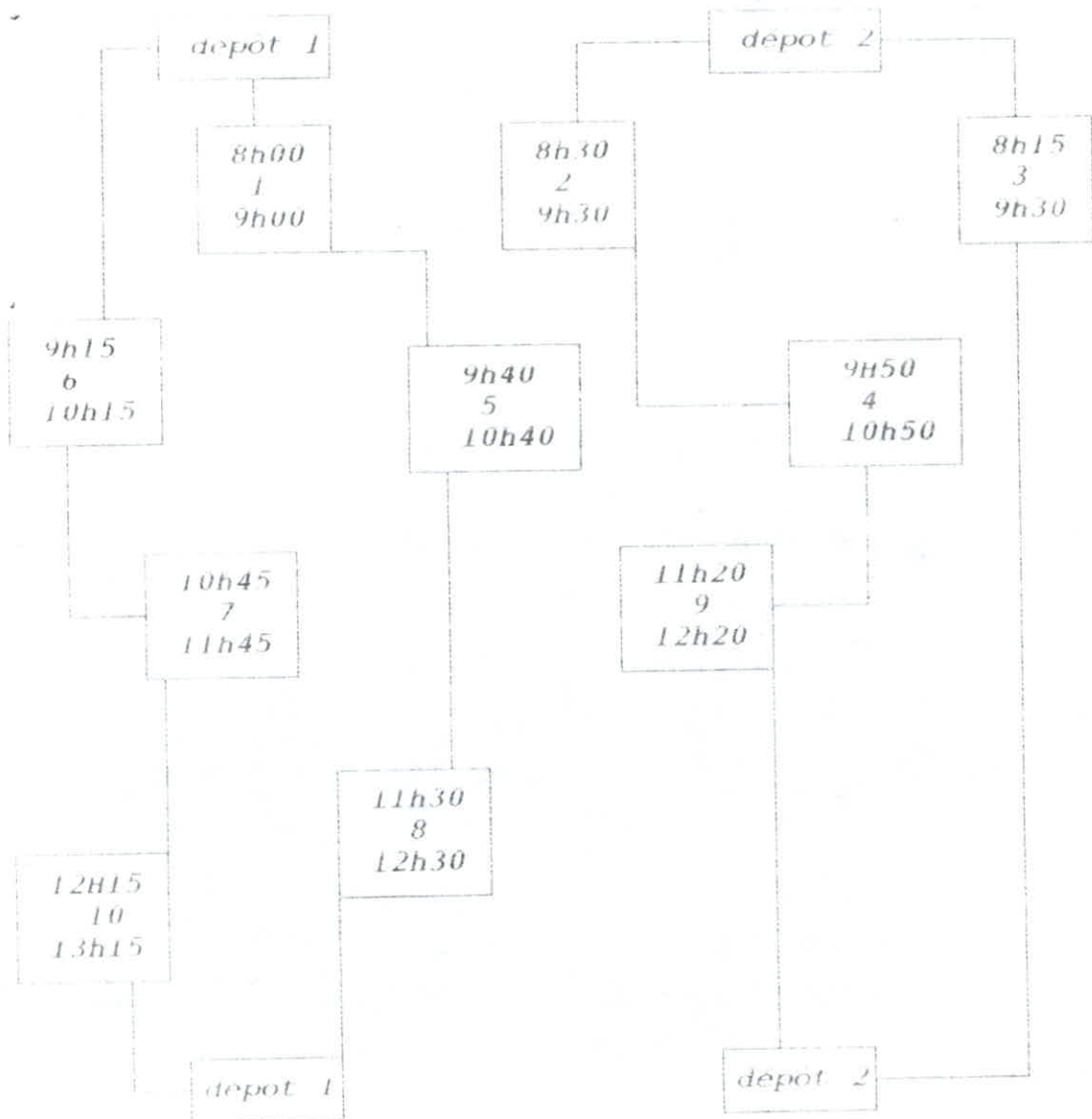


Fig 3.4

Nous ajoutons ici qu'un cas plus compliqué de cette variante serait de considérer qu'un (ou plusieurs) véhicule (s) n'est (ne sont) pas contraint(s) à revenir au même dépôt de départ.

Tous ces problèmes que nous venons de parcourir sont définis sur des réseaux (orientés ou non orientés) et peuvent être formulés dans le contexte de l'optimisation combinatoire. La complexité des contraintes rend plus ou moins difficile leur résolution. Néanmoins, plusieurs méthodes approchées ont été développées pour des cas de grande taille et leurs résultats s'avèrent satisfaisants du point de vue qualité de la solution et temps d'exécution. Parmi ces méthodes, nous en citerons deux :

a- "The concurrent scheduler" :

Cette approche [2] consiste en un algorithme en deux phases. Dans la première, on ordonne les tâches par ordre d'instant de départ croissant, compte tenu du fait que les tâches les plus urgentes doivent se faire les premières; puis on affecte la tâche i au véhicule l . Dans la deuxième phase, s'il est possible d'affecter la tâche suivante à un véhicule en service, le véhicule choisi sera celui qui optimisera un certain objectif, par exemple la minimisation des coûts; sinon on l'affectera à un nouveau véhicule. Dans le cas du VSPMD le nouveau véhicule créé dans la phase 2 serait assigné au dépôt le plus proche. Cette procédure est répétée jusqu'à ce que toutes les tâches soient réalisées.

b- "An interchange heuristic" :

C'est une méthode semblable à la procédure "2-optimale" [1] développée pour le problème du voyageur de commerce. Une

solution réalisable peut être trouvée en utilisant une variété d'approches comme la procédure "the concurrent scheduler", ensuite, on procède à des substitutions entre les composantes des tournées pour améliorer la solution.

D'autres approches basées sur d'autres principes peuvent générer de bons résultats comme la méthode appelée "two step approach", laquelle groupe d'abord les tâches en sous-ensembles, puis procède à l'élaboration de tournées pour les véhicules. Pour plus de détails, nous inviterons le lecteur intéressé à consulter l'ouvrage de Bodin et al [11].

2.4. Problèmes d'élaboration de tournées de distribution avec fenêtres de temps.

Connus sous l'expression "the vehicle routing and scheduling problem with time windows", ces problèmes sont une combinaison du VRP et du VSP, où les tâches doivent être effectuées dans des fenêtres de temps ou intervalles de temps. Ils sont caractérisés par les relations de succession entre les tâches ou par les contraintes de fenêtres de temps. Si l'on considère le problème de collecte et de livraison, nous remarquerons que la tâche collecte doit précéder la tâche livraison et que ces deux dernières doivent être réalisées avec le même véhicule. Ce type de contraintes est appelé contraintes de succession des tâches. Les difficultés inhérentes à ces contraintes sont illustrées dans l'exemple de la figure 3.5.

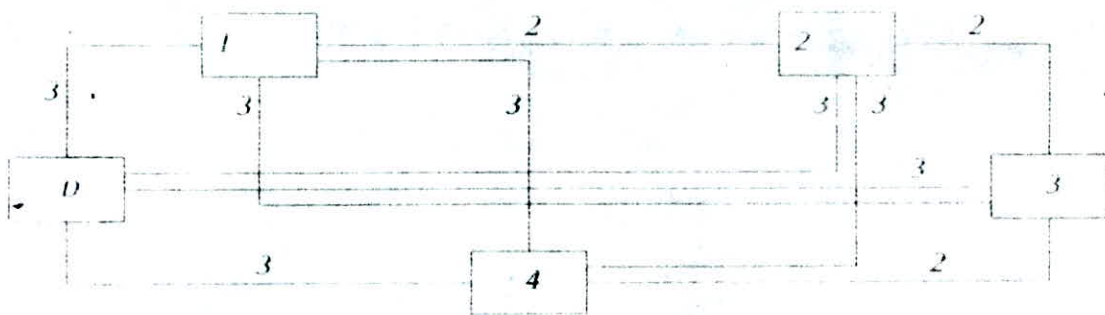


fig 3.5

La tournée optimale pour le problème du voyageur de commerce est D-1-2-3-4-D avec une durée de 12 heures. Maintenant, si nous forçons le noeud 1 à être servi avant le noeud 3 et le noeud 4 avant le noeud 2 (par exemple, les livraisons sont demandées du noeud 1 au noeud 3 et du noeud 4 au noeud 2), la tournée optimale devient D-1-4-3-2-D qui dure 13 heures. Si le chauffeur ne peut travailler plus de 12 heures par jour, deux tournées D-1-3-D et D-4-2-D, chacune ayant une durée de 9 heures, sont nécessaires, exigeant l'utilisation de deux véhicules.

Le second ensemble de contraintes force la réalisation des tâches durant des intervalles de temps imposés. Par exemple, dans un problème de livraison seulement, une certaine livraison peut être contrainte à être réalisée entre 10^h00 et 11^h30. Donc, dans la séquence à laquelle elle appartient, cette tâche doit être réalisée entre les deux bornes de la fenêtre de temps. Cette dernière est généralement continue et ce type d'intervalle est appelé fenêtre de temps simple; "simple time windows". L'exemple de la figure 3.6 montre comment les

fenêtres de temps peuvent compliquer la réalisation des problèmes d'élaboration de tournées. Le noeud D, dépôt, sert les trois points 1, 2 et 3. Le véhicule ne peut quitter le dépôt qu'après 8^h00 et doit y revenir au plus tard avant 17^h00. Les durées en heures parcourues entre les noeuds sont données sur la figure 3.6:

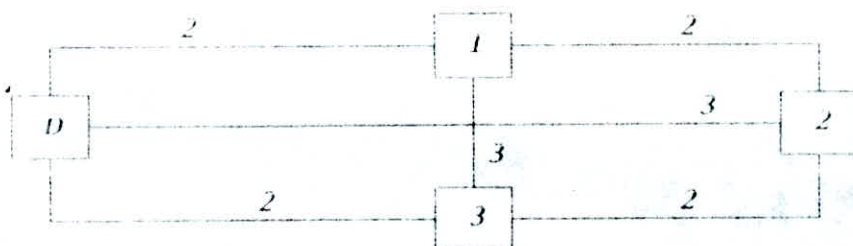


fig 3.6

Une tournée optimale d'une longueur de 8 heures est D-1-2-3-D. Si les noeuds 1 et 3 doivent être servis entre 8 et 12^h00 et le noeud 2 après 12^h00, alors la tournée précédente n'est plus réalisable et la solution optimale se transforme en deux tournées optimales D-1-2-D et D-3-D avec des durées égales à 7 et 4 heures respectivement et deux véhicules sont nécessaires.

Sans fenêtres de temps, l'ensemble des tâches qui peuvent suivre une tâche particulière, peut être déterminé aisément à l'avance, et par suite la construction du réseau comprenant toutes les tâches en découle. Avec fenêtres de temps, cet ensemble, en général, ne peut être déterminé puisque l'heure exacte de la réalisation d'une certaine tâche ne peut être connue à l'avance.

Par exemple, il est possible pour une tâche donnée de suivre certaine tâche t dans une séquence, si t est réalisée au début de son intervalle de temps, mais pas dans le cas où la tâche t est réalisée à la fin de son intervalle. Il est clair qu'avec ces fenêtres de temps, il devient difficile de construire a priori le réseau complet comprenant toutes les connections possibles.

2.5. Approches de résolution des problèmes d'élaboration de tournées avec fenêtres de temps.

Ces dernières années, beaucoup d'algorithmes ont été développés pour ces types de problèmes. Une bonne partie sont une adaptation de ceux déjà développés pour les problèmes d'élaboration de tournées telle que la procédure de construction de CLARK and WRIGHT [11] utilisant le principe d'économie, ou encore les procédures d'affinage de tournées basées sur le principe de substitution. Les algorithmes d'optimisation exacts ont été moins utilisés compte tenu du fait que ces types de problèmes appartiennent à la classe des problèmes difficiles [11]. La majorité de ces algorithmes emploient le principe des énumérations implicites parmi lesquelles la méthode développée par Desrosiers [4], "Set partitioning approach" qui utilise les techniques de génération de colonnes et le "Branch and Bound" [11] (separation et evaluation) ou encore la programmation dynamique fréquemment utilisée dans les problèmes de petite taille.

Jusqu'à aujourd'hui, les problèmes de grande taille ont été résolus seulement par les méthodes approximatives. Les plus connues sont:

a- "*CLARCK and WRIGHT SAVINGS*" [11]: Basée sur le principe d'économie, cette méthode est une procédure séquentielle adaptée par Solomon [19] au cas avec fenêtres de temps. Initialement, chaque client a sa propre route de la forme dépôt-client-dépôt; à chaque itération, un arc est sélectionné pour combiner deux routes en une seule, à chaque fois qu'une économie de coûts est réalisée, que la capacité du véhicule est suffisante, et que l'arc vérifie les contraintes de temps. Pour illustrer ce cas, supposons qu'on veuille combiner deux routes. L'instant de départ de la première ne change pas. Une condition nécessaire pour que la liaison ait lieu est que l'instant de départ du premier client de la deuxième route ne corresponde pas à l'instant d'arrivée de la première route. Mais ceci n'est pas suffisant car on peut générer une solution non réalisable en oubliant de tenir compte des autres clients de la deuxième route. Donc pour chaque tournée $(1, \dots, n+1)$, un changement dans l'instant de départ du client l n'a lieu que si celui-ci n'excède pas une certaine valeur $S_{l,n+1}^+$ déterminée à l'avance. Supposons qu'un véhicule doit effectuer deux livraisons successives avec des fenêtres de temps respectivement $(7^h, 8^h)$ et $(10^h, 11^h)$ et que la durée du trajet est de 3^h . Si l'instant de départ est 7^h , alors les deux livraisons peuvent être réalisées successivement par le même véhicule.

Maintenant si celui-ci dépasse l'instant 7^h30 , la deuxième livraison ne peut être réalisée. Donc nous pouvons fixer a priori la valeur $S_{1,n+1}^+$ à 7^h30 .

b- "*NEAREST NEIGHBOUR PROCEDURE*": Initialement, une route comprend le dépôt seulement. A chaque itération, un client non encore livré, proche du dernier client de la route, est sélectionné et inséré dans la route pour devenir son nouveau dernier client. La sélection d'un client dépend de la capacité des véhicules et des contraintes de temps. Lorsque la tournée ne peut plus recevoir de clients, une nouvelle route est créée. Cette procédure est répétée jusqu'à épuisement de tous les clients. Le critère de sélection du client le plus proche devra tenir compte des aspects horaires et spatial. Solomon [ref2.19] propose cette expression :

$$C1 * t_{ij} + C2 * (\max\{a_j, D_i + t_{ij}\} - D_i) + C3 * (b_j - (D_i + t_{ij}))$$

avec $C1 + C2 + C3 = 1$;

D_i : Durée de service du client i ,

a_i : L'instant au plus tôt de la livraison du client i

b_i : L'instant au plus tard de la livraison du client i

t_{ij} : La durée nécessaire à la liaison $i-j$.

Cette expression mesure la durée nécessaire à la liaison $i-j$; la différence entre les instants des livraisons respectives et

le niveau d'urgence de la livraison j . Les valeurs C_i sont des valeurs choisies dans l'intervalle $(0,1)$ en fonction de l'importance de chaque terme de l'expression précédente, telle que la somme soit égale à 1.

D'autres méthodes approchées ont été développées, Ferland [19] résume les principales approches de résolution de ce problème quand un seul type de véhicule est utilisé. Parmi celles-ci nous avons:

c- "*DISCRETE APPROXIMATION*": présentée par Levin [14] et Swersey [20], cette méthode discrétise chaque fenêtre de temps en un ensemble d'instantanés candidats au départ des livraisons. A partir de là, un modèle de programmation linéaire en nombres entiers est dérivé et résolu par la méthode du *SIMPLEXE*. Nous analyserons dans le chapitre 4 cette méthode dans le contexte de notre problème.

d- "*MATCHING METHOD*": Cette heuristique développée par Orloff [16] agit comme suit:

- i) A chaque tâche i , nous associons un noeud i ,
- ii) Pour chaque paire de noeuds i et j , deux arcs sont associés:

(i,j) et (j,i) .

- . Un arc (i,j) ayant un coût

$$C_{ij} = \begin{cases} T_{ij} & \text{si } A_i + D_i + T_{ij} \leq B_j \\ K1 & \text{sinon} \end{cases}$$

avec K1 une grande valeur

PHASE 1 : Au cours de cette phase, il s'agit d'identifier un ensemble d'arcs tel que chaque noeud est l'extrémité d'un seul arc et la somme des coûts est minimale. Ce problème appelé "*Minimum weighted matching problem*" est résolu par un algorithme de programmation linéaire. Si l'arc (i,j) appartient à cet ensemble et si C_{ij} est inférieur à K1 alors les noeuds i et j sont groupés en un seul noté i' et les fenêtres de temps $[a_i, b_i]$ et $[a_j, b_j]$ sont réajustées en une seule, notée $[a_{i'}, b_{i'}]$ et ainsi de suite jusqu'à ce que tous les arcs aient un coût égal à K1. Alors chaque noeud correspondra à la séquence d'un véhicule. Cette solution est réalisable pour le problème.

PHASE 2 : La solution trouvée dans la première phase est améliorée en utilisant les procédures d'affinage développée par Lin [11].

e-"*ASSIGNMENT METHOD*": Cette méthode a été présentée par Bodin [3] et Desrosiers [5] sous forme d'un algorithme qui génère des solutions réalisables en résolvant séquentiellement des problèmes de transport. Dans chaque séquence, deux ensembles

sont déterminés; le premier appelé ensemble des tâches sources et correspond aux tâches de l'ensemble total qui ne peuvent pas se faire après d'autres. Cette procédure est répétée en partant cette fois-ci de l'ensemble total diminué des tâches appartenant au premier ensemble. Le nouvel ensemble trouvé sera le deuxième ensemble des tâches destination. A chaque liaison (tâche-source, tâche-destination) possible est associée un arc avec un coût bien déterminé. Ce problème de transport est résolu à chaque séquence jusqu'à l'obtention d'une solution réalisable.

Dans ce chapitre, nous avons présenté une description de quelques contraintes qui caractérisent en général les problèmes d'élaboration de tournées avec contraintes horaires ainsi que les approches de traitement les plus connues. Nous avons remarqué la difficulté quant à l'introduction de telles contraintes dans les algorithmes de résolutions qui sont pour la plupart des méthodes approximatives. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter la formulation du problème d'affectation suivie d'une discussion sur la nature et la taille du problème.

CHAPITRE III:

FORMULATION DU PROBLEME

3.1.INTRODUCTION :

La flotte maritime doit effectuer les différentes livraisons demandées mensuellement par l'ensemble des clients. Chaque livraison devra être effectuée durant une fenêtre de temps bien définie et de plus seuls les navires ayant une capacité suffisante pour la satisfaire seront considérés. La flotte de navires disponible est caractérisée par sa taille (le nombre de navires) et par les types de navires. Chaque type est défini par sa capacité et sa vitesse. Les navires de mêmes coûts d'exploitation appartiennent à la même classe. Les navires peuvent s'approvisionner à partir de plusieurs ports de chargement en Algérie. Certains clients demandent que la quantité qui leur est délivrée soit répartie entre plusieurs ports de déchargement. Cependant, dans un premier temps, nous considérerons le cas où les tournées comprennent seulement un port de déchargement, ensuite nous indiquerons comment adapter le modèle au cas de SONATRACH.

Un navire ne peut desservir un client donné que durant l'intervalle de temps spécifié. Après avoir déchargé, le navire

CHAPITRE III :

FORMULATION DU PROBLEME

3.1. INTRODUCTION :

La flotte maritime doit effectuer les différentes livraisons demandées mensuellement par l'ensemble des clients. Chaque livraison devra être effectuée durant une fenêtre de temps bien définie et de plus seuls les navires ayant une capacité suffisante pour la satisfaire seront considérés. La flotte de navires disponible est caractérisée par sa taille (le nombre de navires) et par les types de navires. Chaque type est défini par sa capacité et sa vitesse. Les navires de mêmes coûts d'exploitation appartiennent à la même classe. Les navires peuvent s'approvisionner à partir de plusieurs ports de chargement en Algérie. Certains clients demandent que la quantité qui leur est délivrée soit répartie entre plusieurs ports de déchargement. Cependant, dans un premier temps, nous considérerons le cas où les tournées comprennent seulement un port de déchargement, ensuite nous indiquerons comment adapter le modèle au cas de SONATRACH.

Un navire ne peut desservir un client donné que durant l'intervalle de temps spécifié. Après avoir déchargé, le navire

CHAPITRE III:

FORMULATION DU PROBLEME

3.1. INTRODUCTION :

La flotte maritime doit effectuer les différentes livraisons demandées mensuellement par l'ensemble des clients. Chaque livraison devra être effectuée durant une fenêtre de temps bien définie et de plus seuls les navires ayant une capacité suffisante pour la satisfaire seront considérés. La flotte de navires disponible est caractérisée par sa taille (le nombre de navires) et par les types de navires. Chaque type est défini par sa capacité et sa vitesse. Les navires de mêmes coûts d'exploitation appartiennent à la même classe. Les navires peuvent s'approvisionner à partir de plusieurs ports de chargement en Algérie. Certains clients demandent que la quantité qui leur est délivrée soit répartie entre plusieurs ports de déchargement. Cependant, dans un premier temps, nous considérerons le cas où les tournées comprennent seulement un port de déchargement, ensuite nous indiquerons comment adapter le modèle au cas de SONATRACH.

Un navire ne peut desservir un client donné que durant l'intervalle de temps spécifié. Après avoir déchargé, le navire

est disponible pour une autre livraison pour laquelle il doit auparavant s'approvisionner en Algérie. La figure (4-1) donne le réseau actuel d'exportation de G.P.L. formé des différents ports de chargement en Algérie et des différents ports de déchargement des clients. Les arêtes représentent les trajets possibles qu'un navire peut emprunter. Le port de Skikda ne peut fournir que du propane, et les clients qui demandent du butane ou du bupro doivent être approvisionnés à partir d'Arzew ou de Bethioua. Le problème est donc de partitionner l'ensemble des livraisons en des sous-ensembles (ou séquences), tel que chacun d'eux correspondra au programme mensuel d'un navire, tout en maximisant les bénéfices. Comme toutes les livraisons d'une même séquence doivent être réalisées simultanément, le navire sélectionné doit satisfaire toutes ces livraisons. La fonction objective comprend trois termes, qui sont :

- le prix FOB de vente du produit;
- le fret de transport;
- les coûts d'exploitation.

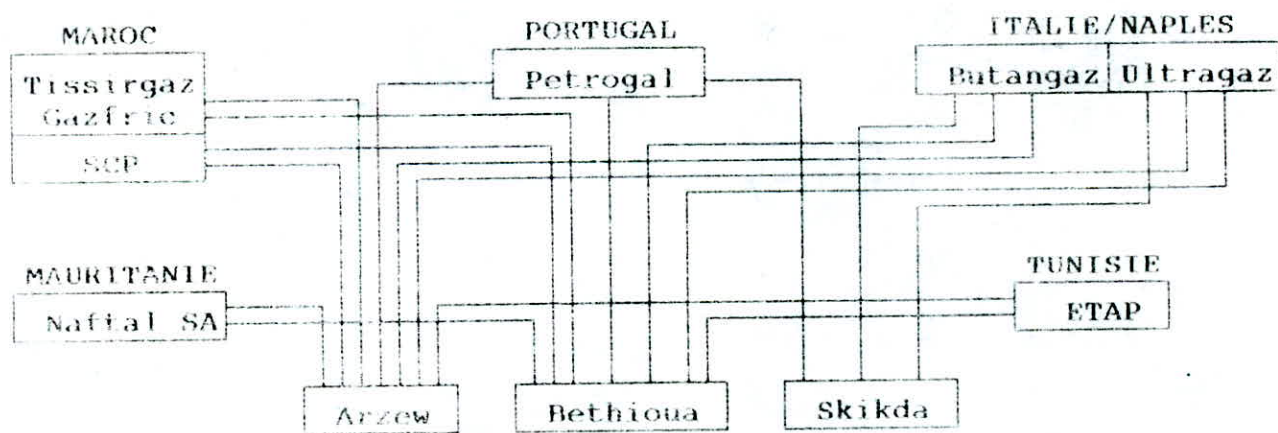


Fig 4-1

3.2.DONNEES DU PROBLEME :

Une étape préalable à la modélisation consiste à mettre en relief les principales notations utilisées tout au long de l'étude. Nous les avons structuré suivant les livraisons, les ports de chargement, la flotte maritime et le réseau d'exportation. Cependant, nous procéderons d'abord à l'analyse de quelques données qui nous ont été communiquées et qui relèvent d'une estimation ou d'une évaluation faite par le département ou puisée dans des documents propres au secteur du transport maritime.

3.2.1- Analyse des inputs:

a) Les cotations du GPL:

Les clients contractuels de la SONATRACH payent le montant de la cargaison avec le prix FOB du marché libre sur lequel ils s'alignent à la date de chargement du navire en Algérie. Durant l'horizon d'affectation, ces prix varient d'une semaine à l'autre et ne sont pas connus lors de l'affectation du navire. Cependant, en période normale, les prix fluctuent autour de valeurs moyennes relativement stables. Cette fluctuation est généralement de l'ordre de 5 à 10 dollars entre deux semaines successives. En période de crise, cette fluctuation peut atteindre des niveaux importants et la prévision de ces prix s'avère difficile. Dans notre étude, nous utiliserons des valeurs moyennes qui nous ont été communiquées. Toutefois, nous procéderons par la suite à

l'analyse de l'influence de ce paramètre sur l'affectation des navires.

b) Les cotations du diesel-oil et du fuel-oil:

Ici encore, ces valeurs fluctuent d'un jour à l'autre sur les marchés des produits raffinés. Les valeurs ne sont pas connues lors de l'affectation des navires. Durant la navigation, un navire consomme du carburant dont le prix varie d'un jour à l'autre. Pour comptabiliser cette consommation, nous utiliserons aussi des valeurs moyennes constantes durant l'horizon d'affectation. Ces estimations nous ont été communiquées par le département.

c) Durée de passage dans les ports Algériens:

Actuellement, les responsables prévoient toujours 24 heures pour le passage des navires dans n'importe quel port de chargement. Cette dernière comprend:

- l'accostage du navire.
- le chargement du navire.
- et l'appareillage du navire.

la durée de l'opération d'accostage peut varier facilement. Une durée plus courte que prévu pourrait résulter d'un pilotage rapide ou d'un délai plus court de fixation des flexibles par exemple.

Hormis ces paramètres, la durée d'accostage dépend essentiellement du degré de difficulté des manoeuvres dans le port.

Le chargement d'un navire dépend théoriquement des rythmes de chargement. Si nous considérons un navire d'une capacité de 3500 TM, le tableau suivant montre cette dépendance.

PORT DE CHARGEMENT	RYTHME DE CHARG (tm/h)	DUREE DE CHARG (h)
ARZEW	300	11 ^h 40
BETHIOUA	2000	1 ^h 45
SKIKDA	300	11 ^h 40

Réellement, cette durée dépend aussi des lignes de chargement en état de marche et du navire lui même (certains navires ne sont équipés que pour un certain nombre de lignes de chargement).

Notre souci étant de formuler le problème dans un cas général, nous considérerons donc, dans la formulation, la durée de chargement fonction du rythme de chargement.

En résumé, la durée de passage dans chaque port comprend:

- une durée moyenne d'accostage.
- une durée de chargement fonction du rythme de chargement.
- une durée moyenne d'appareillage.

c) Durée de passage dans les ports clients:

Cette durée est constituée de trois termes, qui sont :

- les heures de notices ou durée d'accostage,
- la durée de chargement,
- la durée d'appareillage, et parfois
- un temps d'attente;

Pour le premier terme, il est difficile de savoir lequel des deux événements suivants va se réaliser le premier

- l'accostage du navire, ou
- les 6 heures de notices.

Pour éviter cela, nous allons toujours considérer pour l'accostage du navire les 6 heures de notices qui sont prévues dans le contrat.

Le deuxième terme sera égale au temps de planche négocié dans le contrat. Toutefois, nous dériverons dans la formulation le rythme de déchargement correspondant suivant l'expression ci-après :

$$\text{RYTHME DE DECHARGEMENT} = \frac{\text{CAPACITE CORRESPONDANTE}}{\text{TEMPS DE PLANCHE}}$$

Le troisième terme sera sous forme d'une durée constante dépendant du port de déchargement seulement.

Le quatrième terme désigne un temps d'attente passé chez certains clients lesquels, même lorsqu'ils reçoivent le navire dans les délais prescrits, le retiennent jusqu'à ce que le quai de déchargement soit libre.

Ce cas arrive généralement en hiver. Par la suite, le client payera un montant qui correspondra à toutes ces heures d'attente. Signalons que dans les contrats relatifs à ce genre de client; ce montant est prévu et appelé "SURESTARIES", exprimé en dollars US par heure d'attente. Par la suite, dans l'affectation des navires, surtout en hiver, ce paramètre est considéré sous la forme d'une durée constante estimée et qui dépend seulement du client.

Dans la formulation du problème, nous ne tiendrons pas compte d'un tel paramètre qui peut toujours être comptabilisé dans les durées d'appareillages.

e) Consommation du fuel-oil et du diesel-oil:

Ces dernières sont fonction du régime de navigation du navire, lequel est à son tour fonction des conditions de manoeuvre en port et de navigation en mer. Pour comptabiliser un tel coût, les responsables nous ont communiqué des valeurs identiques pour tous les armateurs et fonctions de la classe du navire. Ces valeurs dépendent de la consommation moyenne correspondant au régime de croisière (économique) des navires.

f) Les frais de ports:

Ces frais sont identiques pour tous les armateurs et doivent donc être considérés comme des coûts internationaux.

3.2.2- Notations utilisées:

a-Données sur les livraisons:

- N : ensemble des livraisons;
- Q_{ei-min} : quantité minimale en tm du produit e de la livraison i;
- Q_{ei-max} : quantité maximale en tm du produit e de la livraison i;
- P_{ei} : prix FOB en dollars US par tm du produit e de la livraison i;
- F_i : frêt en dollars U.S. par tm de la livraison i;
- τ_i : débit de déchargement en tm par heure au niveau du client i;
- A_i : date au plus tôt (en jours) de la livraison i;
- B_i : date au plus tard (en jours) de la livraison i;
- E_i : nombre de produits demandés pour la livraison i;
- TL_i : durée (en heures) d'appareillage des navires dans le port de la livraison i.

b-Données sur les ports de chargement:

- M : ensemble des ports de chargement;
- τ_j : débit de chargement en tm par heure du port j.
- $S_{ie(n)}$: stock disponible dans le port i du produit e au jour n.
- $TC1_i$: durée en heures d'accostage des navires dans le port i.
- $TC2_i$: durée en heures d'appareillage des navires dans le port i.

c-Donnees sur la flotte maritime:

- K : ensemble des types de navires;
- H_k : capacité en tm du navire de type k;
- V_k : vitesse en noeud du navire de type k;
- TA_k : affrètement en dollars U.S. par mois du navire de type k;
- CFO_k : consommation moyenne en tm par jour de fuel-oil du navire de type k;
- CDO_k : consommation moyenne en tm par jour de diésel-oil du navire de type k;
- PFO : cotation de fuel-oil estimée en dollars U.S. par tm;
- PDO : cotation de diésel-oil estimée par mois en dollars US par tm;
- FP_k : la valeur moyenne des frais portuaires du navire de type k;
- NC_k : le nombre de citernes d'un navire de type k;
- C_{mk} : la capacité en tm de la $m^{ème}$ citerne du navire de type k.

Nous faisons remarquer que dans la flotte maritime affrêtée par SONATRACH, chaque type est représenté par un seul navire.

d-Donnees sur le réseau d'exportation :

- D_{ij} : distance en miles entre les points i et j.

3.3.LES CONTRAINTES DU PROBLEME :

Disposant d'une flotte constituée de plusieurs types de navires, il faut élaborer un modèle d'affectation optimale dans un réseau maritime qui assure la livraison de tous les clients contractuels tout en maximisant les bénéfices et en tenant compte de toutes les contraintes opérationnelles. Ces contraintes peuvent être réparties en deux principaux groupes.

Le premier comprend les contraintes intrinsèques au problème actuel et qui sont :

a-Les contraintes de succession :

Ces contraintes apparaissent dans l'élaboration des tournées des navires. Elles expriment le fait qu'un navire doit s'approvisionner en Algérie avant de desservir un client donné.

b-Les contraintes de livraisons fermes :

Chaque client demande un certain nombre de livraisons fermes par mois. Ces livraisons devront être réalisées totalement.

d-Les contraintes de chevauchement :

Un navire ne peut effectuer qu'une seule livraison à la fois.

e-Les contraintes de fenêtres de temps:

Celles-ci devront tenir compte de l'importance des aspects temporels dans la construction des différentes séquences dans l'espace.

f-Les contraintes de conservation de flux:

Tout navire qui rentre dans un port devra en ressortir. Ceci garantira la continuité des mouvements des navires.

g-Les contraintes relatives aux positions initiales des navires:

Compte tenu du fait que les navires ne sont disponibles qu'après avoir terminé le programme des livraisons du mois précédent, chacun d'eux sera disponible dans une fenêtre de temps correspondant à celle de la dernière livraison qu'il aura effectuée et par la suite sera disponible dans le port du client à qui appartient cette livraison pour une nouvelle affectation.

h-Les contraintes de non négativité:

Dûs au fait qu'on manipule des quantités physiques.

Le deuxième groupe de contraintes comprend les contraintes que l'on pourrait considérer dans un cas plus général du problème, et qui sont:

i-Les contraintes de stockage :

Le modèle de stockage de chaque port de chargement donne pour chaque jour le niveau des bacs de stockage. Ce niveau doit permettre l'approvisionnement régulier des navires. Actuellement, cette contrainte est inactive dans le sens où l'affectation des navires se fait un mois à l'avance, donc nous savons au préalable le programme des différentes arrivées des navires d'une part, et d'autre part les besoins des clients contractuels sont calculés à l'avance. La quantité nécessaire pourra donc être prévue dans les ports à l'avance.

j-Les contraintes du procédé ségrégué de remplissage des navires

Si un client demande plusieurs produits pour une même livraison, il faudra une répartition optimale des citernes du navire utilisé car chaque citerne ne peut contenir qu'un seul produit. Cette contrainte est inactive actuellement, car les clients demandent soit du propane, soit du butane, soit du bupro.

Deux autres contraintes pourraient être considérées explicitement, elles correspondraient respectivement au nombre limité de quais dans un port, et aux restrictions horaires éventuelles dans les ports de chargement qui surgiraient dans le cas où SONATRACH devrait négocier avec les autorités portuaires Algériennes les dates d'arrivée des navires. Cependant, dans notre cas, c'est après avoir élaboré la répartition des navires,

que SONATRACH transmet aux autorités portuaires la liste des différentes arrivées des navires exprimées sous forme de fenêtres de temps de 2 jours. Par la suite, ces deux contraintes, qui sont en fait liées, ne sont pas actives dans le modèle.

3.4. FORMULATION DU PROBLEME :

3.4.1-Variables de décision:

Nous avons choisi quatre variables de décision pour formuler le problème; trois d'entre elles sont de type booléen et la quatrième de type continu.

La première variable décrit le trajet d'un navire en spécifiant à chaque fois les ports de départ, de chargement et d'arrivée. Elle est définie comme suit:

$$x_{ijl}^k = \begin{cases} 1 & \text{Si le navire de type } k \text{ livre } l, \text{ s'approvisionne} \\ & \text{en } j \text{ puis livre } l \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Cette variable permet ainsi de tenir compte des contraintes de succession.

La deuxième variable découle de la précédente et permet de tenir compte des contraintes de livraisons fermes, des contraintes de conservation de flux et de celles relatives aux positions initiales des navires. Elle est définie comme suit:

$$Y_{i,k} = \begin{cases} 1 & \text{si le navire de type } k \text{ réalise la livraison } i. \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

La troisième variable s'impose à cause de la contrainte du procédé ségrégué de remplissage et permet ainsi de connaître la répartition des citernes d'un navire. Elle est définie comme suit :

$$Z_{eik}^m = \begin{cases} 1 & \text{Si la citerne } m \text{ du navire } k \text{ est remplie du produit } e, \\ & \text{pour la livraison } i. \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

La quatrième variable donne la date d'arrivée en jours du navire dans le port du client, permettant ainsi de répondre aux contraintes de fenêtres de temps. Elle est définie comme suit :

T_j la date d'arrivée du navire au port du client à qui appartient la livraison j .

Nous allons maintenant définir les réseaux orientés correspondant aux connections possibles pour chaque navire.

3.4.2- Détermination des réseaux pour chaque navire:

A chaque navire de type k , de capacité H_k , nous définissons un graphe $G_k(N_k, A_k^o)$ où N_k est un ensemble de noeuds associés aux livraisons susceptibles d'être effectuées par le navire et A_k^o

représente l'ensemble des trajets possibles sous forme de triplets. Ces graphes sont définis comme suit:

1- A chaque livraison telle que $\sum_{e=1}^{E_i} Q_{ei-\min} \leq H_k \leq \sum_{e=1}^{E_i} Q_{ei-\max}$, noeud associions un noeud i appartenant à N_k . Nous ajoutons un noeud θ_k

indiquant la position initiale du navire k . Ce noeud n'est autre que la dernière livraison de la séquence précédente effectuée par le navire.

2- Nous considérons l'ensemble des triplets A_k^0 inclus dans l'ensemble $(N_k \times M \times N_k)$.

Un triplet (i, j, l) existe (c'est à dire que (i, j, l) appartient à A_k^0 ou encore que la livraison l peut être réalisée après la livraison i en chargeant dans le port j) si:

$$1- B_i + (6 + TL_i + H_k / r_{ij} + D_{ij} / V_k) * 1/24 + (TC1_j + TC2_j + H_k / r_{jl} + D_{jl} / V_k) * 1/24 \leq B_l$$

cette condition élimine toutes les connections qui laisseraient le navire arriver après la date au plus tard.

$$2- A_i + (6 + TL_i + H_k / r_{ij} + D_{ij} / V_k) * 1/24 + (TC1_j + TC2_j + H_k / r_{jl} + D_{jl} / V_k) * 1/24 \leq A_l$$

cette condition élimine toutes les connections qui laisseraient le navire arriver avant la date au plus tôt.

3- le port j peut permettre la livraison l (c'est à dire qu'on

peut charger tous les produits que la livraison l demande).

avec

- $(TC1_j + TC2_j + H_k / c_i) / 24$ = durée que doit passer un navire k dans le port i de chargement.

- $(6 + TL_i + H_k / c_i) / 24$ = Durée que doit passer un navire k dans le port i de déchargement.

- $D_{ij} / V_k * 24$ = durée nécessaire au navire k pour aller du port i au port j .

Ces conditions donnent le sous-ensemble de triplets (triplets) possibles. Dans la construction de ces graphes nous avons tenu compte implicitement des contraintes de satisfaction des clients du moment que chaque navire ne peut servir que les clients dont la demande correspond à sa capacité.

En terme de ces graphes orientés, le problème se résume à partager les nœuds en séquences de triplets. Chaque séquence correspond au programme mensuel d'un navire. Les contraintes doivent être respectées pour toutes les livraisons, l'objectif étant de maximiser le bénéfice total.

1.4. 3- Modélisation du problème:

D'aprèsant de maximiser les bénéfices, la fonction objectif est formée de quatre termes, qui sont:

a- le prix de vente de la marchandise:

Supposons qu'un navire k réalise une livraison l; ce navire devra satisfaire le client et lui livrer dans les délais prescrits les quantités demandées. Si nous considérons tous les produits ensemble, le prix de vente de la cargaison du navire sera représenté par l'expression suivante:

$$E_l \sum_{e \in l} \sum_{m \in l} N_{ek}^m P_{elm}^m C_{mk}$$

b- Le fret de transport:

Le coût de transport pour une livraison l payé par le client est représenté par :

$F_{lk} Y_l^k$ avec F_l le fret en dollars US par tm indépendamment du type de produit.

c- L'affrètement du navire:

Il correspond à un coût fixe à la charge de SONATRACH que nous avons noté TA_k

d- Les frais portuaires:

Pour réaliser une livraison, le navire doit auparavant charger en ALGERIE avant d'arriver au port du client. Les manoeuvres et

services dans chaque port sont comptabilisés sous forme de frais de port à la charge de SONATRACH. Si l'on considère le trajet (i, j, l) fait par un navire de type K , ce coût aura pour expression $2 \cdot FP_k \cdot X_{ijl}^k$; le coefficient 2 est associé au péage du même montant dans les deux ports respectivement de chargement et de déchargement.

e- Les consommations de fuel oil et de diesel oil:

Comme nous l'avons déjà mentionné auparavant, les navires consomment du fuel oil en mer et du diesel oil au port. Donc les coûts de ces consommations à la charge de SONATRACH sont représentés, en considérant un trajet (i, j, l) , comme suit:

$$\left[PFO \cdot CFO_k \cdot \left((D_{ij} + D_{jl}) / V_k \cdot 24 \right) + PDO \cdot CDO_k \cdot \left(6 + H_k / V_i + TL_i + TC1_j + TC2_j \right) + \left(H_k / V_i \right) / 24 \right] \cdot X_{ijl}^k$$

en adoptant les notations suivantes:

$$A_i^k = \left\{ k, \sum_{e=1}^{E_i} Q_{ei\min} \leq H_k \leq \sum_{e=1}^{E_i} Q_{ei\max} \quad 1 \leq k \leq K \right\}$$

$$P_i^k = \left\{ (j, l) \in N_k ; (i, j, l) \in A_k^o \right\}$$

$$S_i^k = \left\{ (i, j) \in N_k ; (i, j, l) \in A_k^o \right\}$$

la formulation du problème est résumée par les relations suivantes:

$$\begin{aligned}
 \text{MAX } Z = & \sum_k^K \sum_{i \in N_k - \{\theta_k\}} \sum_{e=1}^{E_1} \sum_{m=1}^{D_k} P_{el} * Z_{eik}^m * C_m^k + \sum_k^K \sum_{i \in N_k - \{\theta_k\}} F_L^k * H_k * Y_i^k - \sum_k^K TA_k \\
 & - \sum_k^K 2 * FP_k \sum_{i \in N_k - \{\theta_k\}} Y_i^k - \sum_k^K \sum_{(i,j,l) \in A_k^0} PFO * CDO_k * [(D_{ij} * D_{jl}) / V_k * 24] * X_{ijl}^k \\
 & - \sum_k^K \sum_{(i,j,l) \in A_k^0} PDO * CDO_k * [(6 + TL_i + H_k / \tau_i + TC1_j + TC2_j + H_k / \tau_j) / 24] * X_{ijl}^k \quad (1)
 \end{aligned}$$

assujettie à :

$$\sum_{k=1}^K Y_i^k = 1 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{(i,j,l) \in A_k^0} X_{ijl}^k = Y_i^k \quad i \in N_k \quad (3)$$

$$\sum_{(i,j,l) \in A_k^0} X_{ijl}^k = Y_j^k \quad i \in N_k - \{\theta_k\} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
 X_{ijl}^k > 0 \implies & T_i + (6 + TL_i + H^k / \tau_i) * 1/24 + D_{ij} / 24 * V^k + \\
 & (TC1_j + TC2_j + H^k / \tau_j) * 1/24 + D_{jl} / 24 * V^k \leq T_l \\
 & (i, j, l) \in A_k^0 \quad 1 \leq k \leq K \quad (5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{ijl}^k > 0 \implies & \sum_{m=1}^{NC_k} C_m^k * Z_{eik}^m \leq S_{je} (T_i + (6 + TL_i + H^k / \tau_i + TC1_j + D_{ij} / V^k) / 24) \\
 & e=1, E_i \quad (i, j, l) \in A_k^0 \quad 1 \leq k \leq K \quad (6)
 \end{aligned}$$

$$Y_1^k > 0 \longrightarrow \sum_{e=1}^{E_1} Z_{eik}^m = 1 \quad 1 \leq m \leq NC_k \quad i \in N_k \quad 1 \leq k \leq K \quad (7)$$

$$Y_1^k = 1 \quad 1 \leq k \leq K \quad (8)$$

$$X_{ijl}^k = 0 \quad i = \theta_k, 1, \dots, N \quad j \in M \quad 1 \leq k \leq K \quad (9)$$

$$X_{ijl}^k = 0 \text{ ou } 1 \quad (i, j, l) \in A_k^o \quad (10)$$

$$Y_1^k = 0 \text{ ou } 1 \quad i \in N_k \quad (11)$$

$$Z_{eik}^m = 0 \text{ ou } 1 \quad e=1, E_1, i \in N_k - \theta_k \quad 1 \leq m \leq NC_k \quad 1 \leq k \leq K \quad (12)$$

$$T_i > = 0 \quad i = \theta_k, 1, \dots, N \quad (13)$$

La contrainte (2) assure que chaque livraison est réalisée par un seul navire. Les contraintes (3) et (4) assurent la conservation de flux, de sorte que le navire qui arrive dans un port doit être le même qui en sortira. La contrainte (5) assure le séquençement dans le temps des livraisons. La contrainte (6) assure la disponibilité du produit lors du chargement à un jour donné. La contrainte (7) autorise le navire à charger plusieurs produits en même temps. La contrainte (8) est associée à la position initiale de chaque navire : c'est le point de départ

pour une nouvelle affectation. La contrainte (9) élimine les trajets dans lesquels une livraison se répète. Les contraintes (10), (11) et (12) sont les contraintes d'intégrité, alors que la contrainte (13) exprime le fait qu'une durée ne saurait être négative.

Les relations (1)-(13) forment un programme non linéaire avec des variables mixtes et une fonction objective linéaire.

Dans ce modèle, seules les contraintes (5), (6) et (7) sont non linéaires. Toutefois, les relations (5) et (7) peuvent être transformées sous les formes linéaires suivantes:

$$T_{ijl} + (6 + TL_j + H_k / \tau_i) / 24 + D_{ij} / 24 * V_k + (TC1_j + TC2_j + H^k / \tau_j) / 24 + D_{jl} / 24 * V_k - T_{ijl} \leq (1 - X_{ijl}^k) * V_{ijl}^k \quad (5')$$

$$V_{ijl}^k \geq B_i + (6 + TL_i + H^k / \tau_i) / 24 + D_{ij} / 24 * V_k + (TC1_j + TC2_j + H^k / \tau_j) / 24 + D_{jl} / 24 * V_k - A_l$$

$$(i, j, l) \in A_k^0 \quad k \in K$$

V_{ijl}^k étant choisie de telle sorte que si le navire de type k n'affectue pas le trajet (i, j, l) alors la contrainte (5') devient redondante.

$$\sum_{e=1}^E z_{eik}^m - 1 = -(1 - y_i^k) \quad (7')$$

Ici encore, si le navire de type k ne réalise pas la livraison i , il faut que toutes les variables Booléennes z_{eik}^k correspondantes soient nulles.

Notons enfin, que les conditions (1) et (2) énoncées dans la section (3.4.2) dans la construction des graphes peuvent être remplacées dans la formulation par la contrainte suivante :

$$A_i - T_i \leq B_i \quad i=1, \dots, N \quad 1 \leq k \leq K$$

3.4.4- Analyse de l'objectif de l'entreprise:

Dans cette étude, l'entreprise SONATRACH a retenu comme objectif: "la maximisation des bénéfices". Ce choix se justifie car, en tant qu'acteur international, elle joue un double rôle, à savoir vendeur et transporteur de produits GPL. L'armateur ayant à l'avance comptabilisé toutes les charges possibles (Assurance maritime, frais d'équipage, coût des moteurs, coût de maintenance, ...etc) sous forme d'un coût d'affrètement en dollars par mois, l'entreprise en tant que transporteur a tout intérêt à bien exploiter ces navires. D'un autre côté, l'entreprise en tant que vendeur ayant à gérer une flotte maritime, voudrait vendre son produit au meilleur prix et fret. A partir de là, nous voyons que cet objectif passe par l'optimisation de trois termes qui sont:

-la vente au meilleur prix et au meilleur frêt, ceci est dû au fait que les frêts et prix sont différents d'un client à l'autre.

-une rotation complète des navires, qui dépend surtout des fenêtres de temps.

-une bonne gestion des navires qui dépend de leur position initiale respective et des livraisons qu'ils auront effectuées.

Ceci dit, il faut peut être terminer cette section en signalant que si la demande des différents clients n'était pas exprimée sous forme d'un intervalle mais plutôt sous forme d'une quantité fixe, l'objectif aurait consisté à minimiser les différents coûts.

3.4.5- Cas avec plusieurs ports de déchargement:

Comme nous l'avons mentionné au début de ce chapitre, nous allons maintenant montrer comment adapter le modèle formulé, au cas actuel de l'entreprise SONATRACH, quand plusieurs ports de déchargement chez un même client doivent être parcourus par un navire. Jusqu'ici, nous avons considéré qu'une rotation (aller+retour) faite par un navire était composée des événements suivants:

- 1-le navire effectue son chargement en Algérie,
- 2-il parcourt la distance aller jusqu'au client,
- 3-il décharge sa cargaison dans un seul port de déchargement
- 4-il revient en Algérie pour un nouveau chargement en parcourant

la distance retour. Si le navire revient au même port de déchargement la distance aller est égale à la distance retour. Schématiquement, cette relation simple aura l'allure suivante:



Si on se place dans le cas actuel, la nouvelle rotation sera composée des événements suivants:

1- Le navire effectue son chargement en Algérie

2- il parcourt la distance aller jusqu'au premier port de déchargement du client.

3- il décharge sa cargaison dans les différents ports de déchargement.

4- il revient en Algérie pour un nouveaux chargement en parcourant la distance retour laquelle est différente de celle de l'aller. Schématiquement, cette rotation a l'allure suivante :



la distance retour. Si le navire revient au même port de déchargement la distance aller est égale à la distance retour. Schématiquement, cette relation simple aura l'allure suivante:



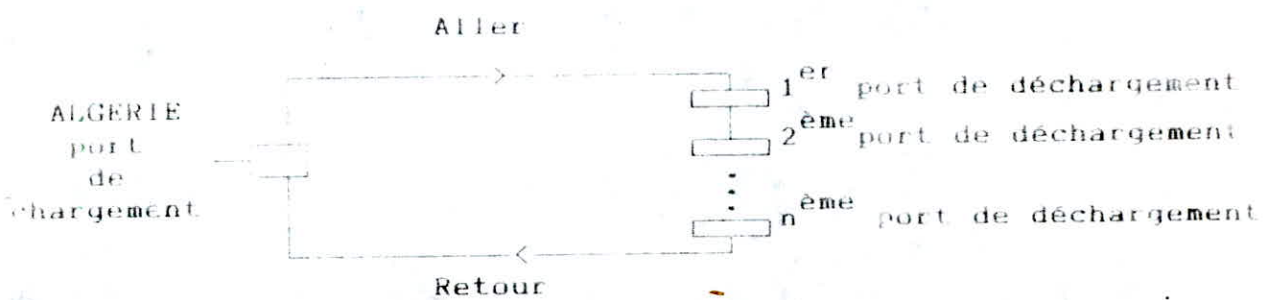
Si on se place dans le cas actuel, la nouvelle rotation sera composée des événements suivants:

1- Le navire effectue son chargement en Algérie

2- Il parcourt la distance aller jusqu'au premier port de déchargement du client.

3- Il décharge sa cargaison dans les différents ports de déchargement.

4- Il revient en Algérie pour un nouveau chargement en parcourant la distance retour laquelle est différente de celle de l'aller. Schématiquement, cette rotation a l'allure suivante :



Il est clair que certaines données ayant servi lors de la formulation du problème dans le cas des rotations simples ne sont plus valides. Ces données concernent les distances et les durées de déchargement. Pour adapter le modèle, nous allons définir de nouvelles données qui sont :

DA_{ij} - distance entre le port de chargement et le dernier port de déchargement du client à qui appartient la livraison j que nous appellerons distance aller.

DR_{ji} - distance entre le dernier port de déchargement du client à qui appartient la livraison j et le port de chargement i que nous appellerons distance retour.

Pour la durée de déchargement, il suffit de regrouper tous les ports de déchargement d'un même client en un seul port à condition de calculer le rythme correspondant de déchargement. Pour cela, soit un client i ayant n_i ports de déchargement, chaque port ayant un rythme de déchargement τ_j en tm/h et devra recevoir une certaine quantité de la cargaison totale du navire que nous noterons H_j^k . Le rythme est donné par l'expression suivante :

$$H_j^k / \tau_i = \sum_{j=1}^{n_i} H_j^k / \tau_j + (n_i - 1) * b \quad (1)$$

Avec

H^k : capacité du navire k ,

H_j^k : la quantité à livrer dans le port j ,

μ_j : rythme moyen de déchargement,

n_j : nombre de ports de déchargement du client j ,

t_j : heures de notice.

Il est clair que le choix du navire k ne peut pas se faire *a priori*. Nous pouvons, toutefois, associer à ce client un navire ayant une capacité moyenne comprise dans l'intervalle de satisfaction du client. A partir de là, nous calculerons ce nouveau taux. Une autre manière de procéder serait de considérer la moyenne de tous les débits de déchargement.

A partir de là, dans la formulation, le taux de déchargement sera calculé de l'expression (1) et les distances aller et retour doivent être utilisées explicitement selon le cas, notamment dans la fonction objective et dans les contraintes (5) et (6).

3-5 Evaluation de la taille du modèle de la formulation

L'objectif de cette section est de donner une évaluation de la taille du modèle, laquelle est fonction du nombre de contraintes et du nombre de variables, surtout celles qui sont booléennes, car nécessitant plus de traitement et de calculs.

La contrainte (3) est formée d'un certain nombre de relations fonction des différentes valeurs prises par les deux indices i et k . A chaque valeur de k comprise dans l'intervalle $(1, K)$ correspond un ensemble de valeurs N_k possible pour l'indice i . Donc le nombre de relations de types (3) est:-

$$\sum_{k=1}^K \text{card}(N_k)$$

avec $\text{card}(N_k)$: cardinal de l'ensemble (N_k) .

La variables $X_{i,j,l}^k$ dans la formulation est fonction des indices i, j, l et k . Les indices i, j, l correspondent aux différents triplets des ensembles A_k , donc le nombre de variables est:

$$\sum_{k=1}^K \text{card}(A_k^3)$$

Le tableau suivant résume l'évaluation du nombre des autres variables et contraintes en supposant que les clients demandent tous les produits:

VARIABLES			CONSTRAINTES	
VAR	TYPE	NOMBRE	N°	NOMBRE
		$\sum_{k=1}^K \text{card}(A_k^0)$	(2)	N
X_{ik}	booleen	$\sum_{k=1}^K \text{card}(A_k^0)$	(3)	$\sum_{k=1}^K \text{card}(N_k)$
Z_{ik}	booleen	$\sum_{k=1}^K D_k \sum_{i \in N_{k-\theta_k}} E_i$	(4)	$\sum_{k=1}^K \text{card}(N_{k-\theta_k})$
Total		$\sum_{k=1}^K \text{card}(A_k^0)$	(5)	$\sum_{k=1}^K \text{card}(A_k^0)$
		$E^* \sum_{k=1}^K D_k \cdot \text{card}(N_{k-\theta_k})$	(6)	$\sum_k \sum_{i \in P_{ik}} E_i$
Y_{ik}	booleen	$\sum_{k=1}^K \text{card}(N_{k-\theta_k})$	(7)	$\sum_k D_k \cdot \text{card}(N_k)$
T_i	continu	$N + K$	(8)	K
Total		$\sum_{k=1}^K \text{card}(A_k^0) + N + K$	(9)	$K * M * N$
		$+ \sum_{k=1}^K (E^* D_k + 1) * \text{card}(N_{k-\theta_k})$		$N + K + N * M * N + \sum_k \sum_{i \in P_{ik}} E_i$
				$\sum_k [(D_k + 1) \text{card}(N_k) + \text{card}(N_{k-\theta_k}) + \text{card}(A_k^0)]$

* Les contraintes (10), (11), (12) sont les contraintes d'intégrité; la contrainte (13) est une contrainte de non négativité.

L'évaluation de la taille de la formulation dépend de la connaissance des deux ensembles A_k^o et N_k . Comme nous l'avons indiqué dans le chapitre précédent, la détermination des réseaux et de toutes les connections possibles ne peuvent se faire a priori, car ils dépendent des fenêtres de temps et des intervalles de quantités. Nous pouvons toutefois donner une évaluation de la taille dans le "plus mauvais cas" correspondant à des fenêtres de temps et à des intervalles de quantités larges. Dans ce cas, les réseaux seront formés de toutes les connections possibles. Nous signalerons que cette approche présente un certain nombre d'inconvénients: ces évaluations ne sont pas toujours possibles, et quand elles le sont elles donnent une appréciation exagérément pessimiste, donc non utilisable. Aussi, nous allons considérer une telle approche seulement pour donner une borne supérieure de la taille du modèle. Nous pensons que cette borne sera particulièrement intéressante quand l'entreprise SONATRACH propose à l'acheteur la (ou les) fenêtre(s) de temps des livraisons du produit au début du mois. Ce cas correspondra à des fenêtres de temps larges d'une durée moyenne de vingt jours par exemple. Nous supposons de plus que les ports de chargement offrent tous les produits. Ceux là sont demandés par tous les clients.

* Détermination des ensembles de noeuds N_k : Chaque navire de type k a une capacité suffisante pour réaliser un certain nombre de livraisons. De plus, avec la livraison correspondant à sa position initiale, chaque ensemble N_k aura au plus $N+1$ éléments.

* Détermination des ensembles de triplets A_k^* : Les fenêtres de temps étant larges d'une part, et d'autre part comme chaque port de chargement offre les différents produits, chaque ensemble A_k^* aura au plus $m \cdot n^2$ triplets. Ce nombre a été trouvé comme suit:

soit $(i, j, l) \in A_k^*$, avec i, l appartenant à N_k et j appartenant à M . Deux cas se présentent:

cas I: i correspond à la position initiale du navire, donc nous aurons $1 \cdot m \cdot n$ possibilités de connections.

cas II: i correspond à l'une des N livraisons, pour chacune d'elles nous avons $1 \cdot m \cdot (n-1)$ possibilités, donc au total:

$$m \cdot n + m(n-1) \cdot n \text{ triplets.}$$

évaluons la taille du modèle relativement au cas actuel de l'entreprise caractérisé comme suit:

- Trois ports de déchargement en Algérie, donc $M=3$
- Quatre types de navires, donc $K=4$
- Neufs clients auxquels correspondent seize livraisons, donc $N=16$
- chaque navire a six citernes, $D_k=6$
- Trois produits: butane, propane et propène, donc $E=3$

VARIABLES			CONSTRAINTES		
NOM	NOMBRE	ACTUEL	N°	NOMBRE	ACTUEL
X_{ij}^k	$K * M * N^2$	3072	(2)	N	16
Z_{eik}^m	$E * K * D_k * N$	1152	(3)	$K * (N+1)$	68
Total 1	$E * K * D_k * N + K * M * N^2$	4224	(4)	$K * N$	64
Y_i	$K * (N-1)$	60	(5)	$K * M * N^2$	3072
E_k	$N + K$	20	(6)	$E * K * M * N^2$	9216
Total 2	$(N+K) + K * (N-1)$	80	(7)	$D_k * K * (N+1)$	408
Total 3	$K * K * D_k * N + K * M * N^2 + N + K * N$	4304	(8)	K	4
			(9)	$K * N * M$	192
			total	$N + 2K + 2KN$ $KMN * (1 + N + EN)$ $D_k * K * (N+1)$	13040

Notons en outre que le nombre des contraintes (5) et (6) est très important ainsi que des variables X_{ij}^k et Z_{eik}^m .

Dans le chapitre suivant, nous allons décrire quelques approches de résolutions utilisant la formulation mathématique du modèle moyennant quelques modifications susceptibles de réduire la taille du modèle.



2/91

2 ex
T2

وزارة الجامعات

Ministère aux Universités

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

BIBLIOTHEQUE — المكتبة

Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE INDUSTRIEL

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

APPROCHE DE RESOLUTION HEURISTIQUE
D'UN PROBLEME D'AFFECTATION D'UNE
FLOTTE MARITIME . APPLICATION AU
RESEAU D'EXPORTATION GPL / SONATRACH

TOME 2

Proposé par :

Mr A. ZERROUKI

Etudié par :

Mr BAHLAT HAMZA

Mr BELKHIRI FOUAD

Dirigé par :

Melle N. ABOUN

Mr M. SARI

PROMOTION

Juin 1991

CHAPITRE IV

METHODOLOGIE ET APPROCHES DE RESOLUTIONS

Comme nous l'avons formulé, le problème est difficile à résoudre, certaines contraintes sont non linéaires et la présence de variables booléennes ajoutent à la complexité du modèle déjà importante un effort de calcul supplémentaire dans la résolution. Nous allons considérer en premier lieu un modèle linéaire simplifié de la formulation, ensuite, nous présenterons deux autre approches qui peuvent être utilisées dans notre cas. Finalement, nous présenterons l'approche de résolution choisie.

4.1. APPROCHE EN PROGRAMATION LINEAIRE MIXTE

Pour développer un modèle linéaire, nous allons essentiellement agir sur les relations (6) de stockage qui sont non linéaires et inactives actuellement. Ensuite, comme nous l'avons mentionné dans le chapitre 1, nous allons considérer le procédé dans lequel chaque navire part rempli par un seul produit, ce modèle se présente comme suit:

$$\begin{aligned}
 \text{MAX } Z = & \sum_{k=1}^K \sum_{l \in N_k - \{c_k\}} (P_l + F_l) * H_k * Y_l^k - \sum_{k=1}^K TA_k \\
 & \sum_{k=1}^K 2 * FP_k \sum_{l \in N_k - \{c_k\}} Y_l^k - \sum_{k=1}^K \sum_{i,j,l \in A_k} PFO * CDO_k * (D_{ij} + D_{jl}) / V_k * 24 * X_{ijl}^k \\
 & \sum_{k=1}^K \sum_{i,j,l \in A_k} PDO * CDO_k * [(6 + TL_i + H_k / r_i + TC1_j + TC2_j + H_k / r_j) / 24] * X_{ijl}^k \quad (1)
 \end{aligned}$$

assujettie à :

$$\sum_{k=1}^K Y_l^k = 1 \quad l = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{i,j,l} X_{ijl}^k = Y_l^k \quad l \in N_k \quad (3)$$

$$\sum_{i,j,l} X_{ijl}^k = Y_l^k \quad l \in N_k - \{c_k\} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
 & (6 + TL_i + H^k / r_i) * 1/24 + D_{ij} / 24 * V_k + (TC1_j + TC2_j + H^k / r_j) * 1/24 + D_{jl} / 24 * V_k \\
 & - T_{ijl} <= (1 - X_{ijl}^k) * V_{ijl}^k \quad (i,j,l) \in A_k \quad 1 < k <= K \quad (5)
 \end{aligned}$$

$$Y_l^k <= 1 \quad 1 < k <= K \quad (6)$$

$$X_{ijl}^k <= 0 \quad i \in N_k, 1, \dots, N \quad j \in M \quad 1 < k <= K \quad (7)$$

$$X_{ijl}^k = 0 \text{ ou } 1 \quad (i, j, l) \in A_k \quad (8)$$

$$Y_j^k = 0 \text{ ou } 1 \quad j \in N_k \quad (9)$$

$$T_i > 0 \quad i = \overline{k, 1, \dots, N} \quad (10)$$

avec

$$V_{ij}^k > (B_j TL_j (H^k / \tau_j) / 24 + D_{ij} / 24 * V_k + (6 + TC1_j + TC2_j + H^k / \tau_j) / 24 + D_{ij} / 24 * V_k - A_{ij})$$

Cette formulation est linéaire et peut être résolue en utilisant un algorithme de programmation linéaire tel que le simplexe. La taille du modèle est répartie entre $K * M * N^2 + N + K * N$ variables de décision dont $K * M * N^2$ sont booléennes et $N + 2K * (1 + N) + KMN * (N + 1)$ contraintes dont $K * M * N^2$ pour les relations (5). Avec les données du cas actuel, nous obtenons 3152 variables de décision dont 3072 sont booléennes et 3416 contraintes dont 3072 pour les relations (5). Cette taille du modèle ne nous permet pas d'utiliser les logiciels de programmation linéaire (MILP ou LINDO) disponibles au Département de Génie Industriel, qui résolvent des modèles dont la taille est beaucoup moins importante que celle-ci. Néanmoins cette formulation constitue un outil d'affectation

optimale des navires et peut être résolu en utilisant un logiciel suffisamment performant.

4.2 APPROCHE BASEE SUR LE MODELE DE COLLECTE ET LIVRAISON

L'importance de la variable booléenne X_{ijl}^k dans le nombre total des variables de décision nous amène à considérer une deuxième approche laquelle, moyennant une approximation, constituera un deuxième modèle d'affectation des navires. Jusqu'ici, nous avons supposé (considéré) que chaque client pourrait être livré à partir de n'importe quel port de déchargement à condition que ce dernier possède dans ses stocks les produits demandés par ce client. Donc, pour chaque client, nous avons autant de connections dans les réseaux que de ports de chargement. A ce stade, ne serait-il pas possible d'éliminer a priori quelques connections correspondant à des trajets très longs donc très coûteux? par exemple, pourquoi envisager la connection (SKIKDA-PORTUGAL) alors que les connections à partir de Bethiwa ou d'Arzew sont deux fois moins coûteuses? Autrement dit, à chaque client, nous allons associer le port de chargement le plus proche en se basant sur le critère de distance; Par la suite, le couple (port de chargement, client) constituera un seul noeud dans les différents réseaux. Trois cas se présentent :

- i) le port de chargement est lié au client au cours de l'aller
- ii) le port de chargement est lié au client au cours du retour
- iii) le port de chargement est lié au client au cours de l'aller et du retour.

Cependant, il se peut qu'une livraison ne puisse être réalisée par un certain navire que si celui-ci fait son chargement dans un certain port en Algérie lequel est différent de celui prévu. Ce cas peut arriver et entraîner par la suite la non réalisation de la livraison surtout si on considère la troisième alternative, le mouvement des navires est très limité et peut nous éloigner totalement du domaine des solutions réalisables. Seulement compte tenu du fait que le responsable de SONATRACH peut négocier d'autres fenêtres de temps, nous pensons que les deux premières alternatives seront d'un grand apport. Nous considérons dans la modélisation, la deuxième alternative, avec laquelle, nous développerons une formulation approchée pour le problème. Si nous appelons activité (port de chargement, livraison), chaque activité i aura les caractéristiques suivantes:

- Une origine D_i noté i^+ correspondant au port du client A qui appartient la livraison i .
- Une destination C_i notée i^- correspondant au port de chargement. Pour réaliser l'activité i , un navire k doit être au port i^+ à l'instant T_i . Donc à l'instant $T_i + T_{i+}^k$ il est au point C_i et ensuite disponible pour réaliser d'autres activités, avec $T_{i+}^k = (TL_i + 6 + H^k / r_i^+) / 24 + D_{i+} / V^k * 24$. Ici aussi il s'agit de partitionner l'ensemble des activités en des séquences. Aussi, nous allons définir les graphes $G_k = (N_k, A_k^o)$ des activités associées à chaque navire k comme suit:

1- à chaque activité i telle que $Q_{ei-\min} < H_k \leq Q_{ei-\max}$, associons un noeud i appartenant à N_k , avec e le produit demandé par le client à qui appartient la livraison i . De plus, pour position initiale σ_k , nous associons un noeud σ_k appartenant à N_k .

2- Un arc (i, j) existe (c'est à dire (i, j) appartenant à A_k^0 ou que l'activité j peut suivre l'activité i) si:

$$* B_i + T_{ij}^k - e \cdot T_{ij}^k < B_j$$

et

$$* A_i + T_{ij}^k - e \cdot T_{ij}^k \geq A_j$$

avec $T_{ij}^k = (TC1_i + TC2_i + H^k / v_i) / 24 + D_{ij} / V^k * 24$, qui représente le temps passé dans le port i et le temps nécessaire pour aller de i à j soient les variables de décisions:

$$X_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{si un navire de type } k \text{ traverse l'arc } (i, j) \\ & \text{appartenant à } A_k^0 \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

$$Y_i^k = \begin{cases} 1 & \text{si l'activité } i \text{ est réalisée par le navire } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

T_i l'instant d'arrivée au point i de l'activité i , d'où la formulation suivante:

$$\begin{aligned}
 \text{MAX } Z = & \sum_{k=1}^K \sum_{i \in N_k - \{i_k\}} (P_i + F_i) * H_k * Y_i^k - \sum_{k=1}^K TA_k \\
 & - \sum_{k=1}^K P_k * \sum_{i \in N_k - \{i_k\}} Y_i^k - \sum_{k=1}^K \sum_{(i,j) \in A_k} \text{PDO} * \text{CDO}_k * \left[(D_i + D_j) / V_k * 24 \right] * X_{ij}^k \\
 & - \sum_{k=1}^K \sum_{(i,j) \in A_k} \text{PDO} * \text{CDO}_k * \left[(6 * (H_k / i - 6 + H_k / j)) / 24 \right] * X_{ij}^k
 \end{aligned}$$

CONSTRAINTS :

$$\sum_{i \in A_k} Y_i^k = 1 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

$$\sum_{i \in P_k} X_{ij}^k = Y_i^k \quad i \in N_k \quad (2)$$

$$\sum_{i \in S_k} X_{ij}^k = Y_j^k \quad j \in N_k - \{i_k\} \quad (3)$$

$$T_{i+1} + T_{i+1}^k - T_{i+1}^k - T_i \leq (1 - X_{i+1}^k) * V_{i+1}^k \quad (i,j) \in A_k \quad 1 \leq k \leq K \quad (4)$$

$$Y_i^k = 1 \quad 1 \leq k \leq K \quad (5)$$

$$X_{ii}^k = 0 \quad i \in P_k, 1, \dots, N \quad 1 \leq k \leq K \quad (6)$$

$$X_{ij}^k = 0 \text{ ou } 1 \quad (i, j) \in A_k \quad (11)$$

$$Y_i^k = 0 \text{ ou } 1 \quad i \in N_k \quad (12)$$

$$T_i > 0 \quad i \in N_k, 1, \dots, N \quad (13)$$

$$\hat{h}_j = \left\{ k, \sum_{e=1}^E 0_{e \min} < h_k < \sum_{e=1}^E 0_{e \max} \mid 1 < k < K \right\}$$

$$P_j^k = \left\{ j \in N_k ; (i, j) \in A_k \right\}$$

$$S_j^k = \left\{ i \in N_k ; (i, j) \in A_k \right\}$$

$$V_{ij}^k > B_i + T_{ij}^k - T_{ij}^k - A_j$$

D_{ij} désignant la distance séparant le point i et le point j .

Cette formulation représente un modèle linéaire en variables mixtes.

Chaque navire dans la solution optimale aura un certain nombre d'activités à réaliser, chaque séquence comprend des collectes de produits GPL en certains ports de chargement et des livraisons en certains ports de déchargement et ceci constituera pour chaque navire son programme d'affectation. Dans le modèle, nous avons,

$$2^*(N+k) + \sum_k^K \left(\text{card}(A_k^o) + \text{card}(N_k) + \text{card}(N_k - \left\{ \begin{matrix} o \\ k \end{matrix} \right\}) \right) \text{ contraintes et}$$

$$K + N + \sum_k^K \left(\text{card}(A_k^o) + \text{card}(N_k) \right) \text{ variables de décisions.}$$

Chaque ensemble N_k aura au plus $N+1$ noeuds et chaque ensemble A_k^o aura plus N^2 trajets. D'où $2N+3K+KN*(1+N)$ contraintes et $2K+N+KN*(1+N)$ variables. Le cas actuel correspondrait à 1132 contraintes dont 1024 pour les relations (5) et à 1088 variables dont 1024 sont booléennes. Notons que la taille du modèle a considérablement diminué.

4.3. Approche basée sur une discrétisation du temps:

Une fois encore, l'importance de la contrainte (5) dans le nombre total, nous amène à considérer une troisième approche basée sur une discrétisation des instants d'arrivées des navires aux ports. De cette approximation, nous développerons une formulation approchée laquelle pourra être résolue par des méthodes exactes.

La fenêtre de temps de chaque livraison est discrétisée de manière à ce que les jours qui la composent (ou certains) sont sélectionnés comme candidats au jour de départ de celle-ci. Afin de dériver le nouveau modèle, remplaçons chaque variable T_i par un ensemble de variables de décision binaires $Y_{i,r}^k$ associées pour

être candidates au départ de la livraison i . Avec ces variables, nous définissons un modèle mathématique. Les graphes (N_k, A_k) associés au type de véhicule k sont caractérisés comme suit :

1- Si la livraison i est telle que $\sum_{e=1}^{E_i} Q_{e1} - m_{1D} <= H_k <= \sum_{e=1}^{E_i} Q_{e1} - m_{dX}$ alors à chaque instant de départ, nous associons un noeud $\alpha \in N_k$.

Soit α_k la position initiale du navire k . Nous lui associons un noeud α_k appartenant à N_k correspondant à l'instant de départ choisi.

(ii) un triplet (i, j, k) existe si t_i et t_j sont des instants de départ respectifs de deux livraisons différentes i et j , et si un navire de type k peut exécuter la livraison j qui commence à t_j après la livraison i qui commence à t_i en passant par le port de chargement r . Le modèle mathématique est défini comme suit :

$$\begin{aligned}
 \text{MAX } Z = & \sum_k^K \sum_{\substack{e \in N_k \\ e \in \{1, \dots, K\}}} \sum_{i=1}^{E_i} \sum_{j=1}^{D_j} P_{e,i} \cdot Z_{e,i,k} \cdot C_m^k + \sum_k^K \sum_{\substack{e \in N_k \\ e \in \{1, \dots, K\}}} F_{e,i} \cdot H_k \cdot Y_{e,i}^k - \sum_{k=1}^K TA_k \\
 & - \sum_k^K 2 \cdot FP_k \cdot \sum_{\substack{e \in N_k \\ e \in \{1, \dots, K\}}} Y_{e,i}^k - \sum_k^K \sum_{j=1}^{\bar{A}_k} \text{PRO} \cdot \text{CDO}_k \cdot \left[(D_{j,i} / D_{j,i}^0) / V_k \cdot 24 \right] \cdot X_{j,i}^k \\
 & \sum_k^K \sum_{j=1}^{\bar{A}_k} \text{PDO} \cdot \text{CDO}_k \cdot \left[(b + TL_1 + H_k / r_1 + TC1_1 + TC2_1 + H_k / r_2) / 24 \right] \cdot X_{j,i}^k \quad (3)
 \end{aligned}$$

subject to :

$$\sum_{k \in \Lambda} Y_{e,i}^k = 1 \quad e = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

$$\sum_{k \in \Lambda} X_{j,i}^k = Y_{j,i}^k \quad \Lambda \subseteq N_k \quad (5)$$

$$\sum_{k \in \Lambda} X_{j,i}^k = Y_{j,i}^k \quad \Lambda \subseteq N_k \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
 X_{j,i}^k \geq 0 \quad & \rightarrow T_1 + (b + TL_1 + H^k / r_1) \cdot 1/24 + (D_{j,i} / 24 \cdot V_k + (TC1_1 + TC2_1 + H^k / r_2) \cdot 1/24 \\
 & + D_{j,i} / 24 \cdot V_k \leq T_2 \quad (j, i) \in A_k \quad 1 \leq k \leq K \quad (7)
 \end{aligned}$$

$$1 \leq k \leq K \quad (8)$$

$$X_{j,i}^k = 0 \quad (j, i) \in N \quad j = M+1 \leq k \leq K \quad (9)$$

$$X_{j\mu}^k = 0 \text{ ou } 1 \quad (j, \mu) \in \bar{A}_k \quad (8)$$

$$Y_j^k = 0 \text{ ou } 1 \quad j \in \bar{N}_k \quad (9)$$

$$T_{\nu} > 0 \quad \nu = \theta_k, 1, \dots, N \quad (10)$$

Cette méthode connue sous le nom de "DISCRETE APPROXIMATION" a été utilisée par LEVIN [14] et SUERSEY [20]. Ils ont souvent obtenu une solution optimale entière, en utilisant l'algorithme du simplexe en relaxant les contraintes d'intégrité. Notons que les contraintes de stockage et celles relatives au procédé ségrégué de remplissage des navires peuvent être considérées dans cette approche, elles auront les relations suivantes.

$$X_{j\mu}^k > 0 \rightarrow \sum_{m=1}^D C_m^k \cdot Z_{\mu k}^m \leq S_{je} (T_{\nu}) + (6 \cdot TL_A + H^k / \dots)^* 1/24$$

(D_j/24 * V_k (TC1_j/24))

$e \in E_k \quad (j, \mu) \in \bar{A}_k \quad 1 \leq k \leq K$

$$Y_j^k > 0 \rightarrow \sum_{m=1}^E Z_{\mu k}^m \leq NC_k \quad j \in \bar{N}_k \quad 1 \leq k \leq K$$

malgré le fait que la taille du modèle reste importante, cette méthode constitue une troisième approche qui peut être utilisée dans notre cas. Notons que la position initiale d'un navire peut

généralement correspondre à plusieurs instants de départ, car initialement, un navire est disponible dans une fenêtre de temps. Dès lors, le noeud appartenant à \bar{N}_k correspond à un ensemble de noeuds candidats; par la suite une question se pose : "quel est le noeud (ou instant de départ), qui correspondrait à l'hypothèse la plus probable d'arrivée d'un navire?" La connaissance d'une telle information est nécessaire à la détermination des réseaux.

L'arrivée d'un navire dans un port donné est un événement soumis à plusieurs aléas:

- les conditions atmosphériques auxquelles le navire est soumis durant sa navigation en mer.
- les temps d'appareillage et d'accostage dans les ports.
- la durée de chargement et de déchargement.
- et même les attentes imprévues dans les ports, surtout en hiver, dues par exemple à la non disponibilité des quais dans les ports, la consignation des ports, et de tout autre événement imprévisible.

La détermination de telles données pose un problème, car il est difficile de savoir un mois à l'avance quel sera l'instant d'arrivée d'un navire donné dans un certain port. Nous pouvons toutefois, suivant la fenêtre de temps, concevoir un certain nombre de scénarios correspondant aux différents instants d'arrivées possibles, et à partir de là, analyser les différentes affectations.

4.4 METHODE APPROXIMATIVE DE LA RESOLUTION DU PROBLEME

Dans les sections précédentes de ce chapitre, nous avons décrit des formulations approchées qui, nous pensons, peuvent être résolues par des méthodes exactes, car il peut se faire cependant, et cela arrive malheureusement très fréquemment, que la taille des problèmes qu'on a traités interdise que leur résolution soit entreprise par des méthodes exactes, et pourtant une réponse doit être apportée à la question posée. On est alors en quelque sorte contraint de rabaisser ses prétentions et de se contenter d'une solution approchée. Une méthode est dite "APPROXIMATIVE" (on dit aussi "heuristique") si elle conduit toujours à une solution réalisable mais pas nécessairement à une solution optimale. L'objet de cette section est la description d'une méthode approximative que nous avons développée. Si la première motivation de l'introduction d'une méthode approximative est bien notre incapacité à résoudre effectivement le problème à cause de la taille du modèle, il convient de noter deux autres raisons:

a) il arrive souvent dans les modèles des problèmes pratiques, que les contraintes et/ou la formulation de l'objectif ne soient pas précisément définis. Ceci peut provenir soit de l'imprécision des données, soit de la complexité du modèle et de la diversité des objectifs suivis simultanément (critères multiples). Dans notre cas:

- * le prix FOB de vente,
- * les consommations de fuel oil et diesel oil par les navires,
- * les frais portuaires, et
- * les cotations du fuel oil et diesel oil.

Telles qu'elles nous ont été communiquées, ces valeurs constituent des données imprécises. Réellement, les cotations GPL fluctuent d'une semaine à l'autre, les consommations des navires dépendent du régime de navigation, lequel dépend des conditions de navigation, etc. A quoi bon, alors, chercher à déterminer l'optimum d'un problème flou par nature? Il est souvent bien plus intéressant de se donner les moyens d'explorer une classe de "bonnes solutions".

b) On demande en général à une méthode approximative de conduire "rapidement" (c'est-à-dire efficacement) à une bonne solution, surtout lorsqu'on négocie avec les clients (cas actuel): la réponse à une proposition doit alors se faire rapidement.

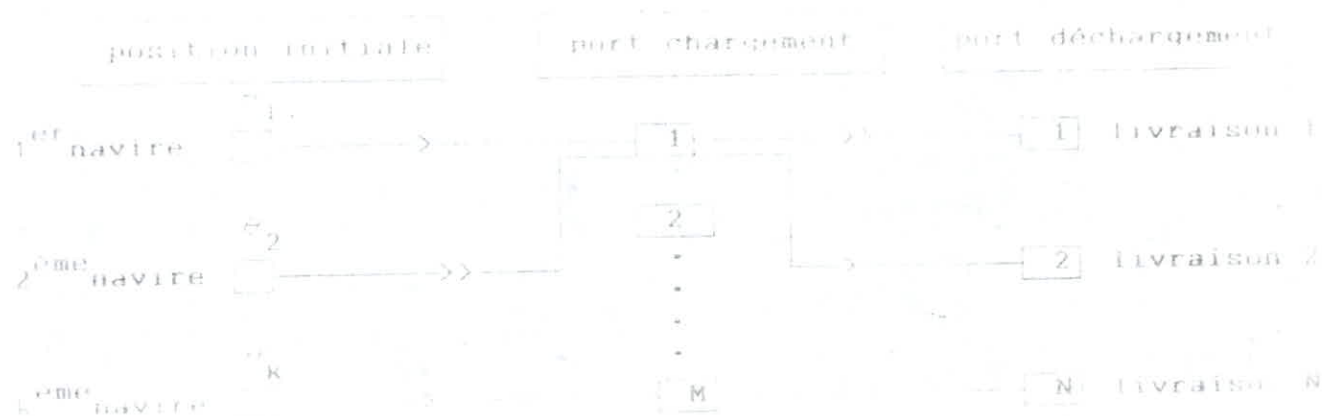
4.4 PRÉSENTATION DE L'HEURISTIQUE

a- INTRODUCTION:

L'aspect temporel des livraisons nous amène à proposer une approche basée sur une optimisation pseudo-dynamique de l'affectation des navires qui rentre dans le cadre des méthodes dites "constructives". Dans cette procédure, la résolution de

problème passe par plusieurs itérations. Dans chacune d'elles, nous construisons un modèle de transport, en spécifiant à chaque fois l'ensemble des livraisons sources et celui des livraisons destinations. Le premier ensemble correspond pour chaque navire à la dernière livraison qu'il aura effectué et que nous avons appelé "position initiale". Le deuxième ensemble par contre, correspond pour chaque navire à l'ensemble des livraisons restantes. Pour chaque arc, nous calculerons le bénéfice correspondant.

La figure suivante illustre ce modèle:



Chaque arc est défini par:

- la livraison source
- le port de chargement
- le port de déchargement;

Nous voyons dans la figure, par exemple, que le navire 1 peut faire le trajet $(\bar{c}_1, 1, 1)$. Après avoir construit ce graphe, il faut maintenant résoudre le problème. enfin, il s'agit d'identifier le meilleur ensemble d'arcs tel que chaque navire

effectuée au plus une livraison et une livraison ne soit réalisée que par un seul navire. Nous avons formulé ce problème en programmation linéaire sous forme d'un modèle de "sac à dos", et nous l'avons résolu en utilisant une méthode de séparation et évaluation qui entre dans le cadre des méthodes d'énumération implicites. Nous aurions pu utiliser l'un des logiciels disponibles dans le département du génie industriel, à savoir le MILP88 et le Lindo pour entreprendre la résolution, mais ceci limitera le nombre de contraintes et variables qui peuvent être utilisées. Alors, nous avons développé une procédure qui permet une taille plus importante du modèle et du problème. Nous ajouterons que dans cette méthode,

- un navire part chargé par un seul produit.
- les durées de passage dans le port de chargement dépendent des ports seulement.
- un temps d'attente est prévu dans les ports de déchargement.
- plusieurs ports de déchargement sont prévus pour une même livraison.

b- Description de la méthode:

Avant de commencer à décrire les différentes étapes de l'heuristique, nous allons mettre en relief les principales notations utilisées tout au long de cette méthode.

Une partie de celles-ci correspondent aux notations déjà utilisées précédemment dans un cas plus général. Cette heuristique s'adresse beaucoup plus au cas actuel de

L'entreprise, par conséquent certaines notations vont être modifiées.

ETAPE 1: Collecte des données:

-Données sur les livraisons:

Notent:

- N : ensemble des livraisons,
- Z_i : le type de produit demandé dans la livraison i ,
- $Q_{i-\min}$: quantité minimale en tm du produit de la livraison i ,
- $Q_{i-\max}$: quantité maximale en tm du produit i de la livraison i ,
- P_i : prix FOB en dollars US par tm du produits de la livraison i ,
- F_i : le fret en dollars US par tm de la livraison i ,
- TP_i : temps de planche en heures de la livraison i ,
- A_i : la date au plus tôt en jours de la livraison i ,
- B_i : la date au plus tard en jours de la livraison i ,
- TL_i : durée en heures d'apparillage dans le port de la livraison i ,
- T_{1i} : temps d'attente estimé en heures dans le port de la livraison i .

-Données sur les ports de chargement:

- M : ensemble des ports de chargement
- TD_j : durée de passage en heures dans le port j .

=Données sur le réseau d'exportation:

- DA_{ij} : distance aller en miles entre le port de chargement i et le port de livraison j .

- DR_{ji} : distance retour en miles entre le port de la livraison j et celui du chargement i .

ETAPE 2: Détermination des ensembles de livraisons N_k :

Parmi les N livraisons, chaque navire k peut en réaliser une partie. Ces sous-ensembles sont notés N_k et sont tel que

$$N_k = \{i, 1 \leq i \leq N \text{ tel que } Q_{i-\min} \leq H_k \leq Q_{i-\max}\}$$

de plus, de chaque port de chargement, nous ne pouvons envisager la livraison que d'un certain nombre de clients, lesquels demandent les produits stockés dans ce dernier. D'où :

W_j ensemble des livraisons susceptibles d'être livrées à partir de j .

la spécification de ces ensembles nous permet dans cette étape d'éliminer les trajets non réalisables.

ETAPE 3: Détermination des ensembles de trajets A_k^0 :

A partir de sa position initiale σ_k avec une fenêtre de temps $[A_{\sigma_k}, B_{\sigma_k}]$; un navire ne peut réaliser qu'un certain nombre de livraisons parmi les N_k durant cette itération. La durée pour aller de σ_k à l en passant par le port de chargement i noté $T_{\sigma_k, i, l}^k$ a pour expression:

$$T_{\sigma_k, i, l}^k = (6 + TP_i + TL_i + TL_l) / 24 + DR_{\sigma_k, i} / (V_k * 24) + TD_i / 24 + DA_{j, l} / (V_k * 24)$$

Alors l'ensemble des trajets possibles A_k^0 sera tel que:

$$A_k^0 = \left\{ (\sigma_k, i, l) \text{ avec } \begin{cases} i = W \text{ et } l \in N \\ B_{\sigma_k} + T_{\sigma_k, i, l}^k \leq B_l \\ A_{\sigma_k} + T_{\sigma_k, i, l}^k \geq A_l \end{cases} \right\}$$

par la suite, nous venons d'identifier pour chaque navire l'ensemble des noeuds destinations et l'ensemble des noeuds sources notés respectivement NZ_k et Nl_k . L'ensemble Nl_k étant égal à $\{\sigma_k\}$ pour chaque navire. Chaque trajet appartenant à A_k^0 sera représenté par un arc.

Soient $G_k = (N_k, A_k^0)$ avec k allant de 1 à K , les graphes correspondants.

ETAPE 4: Détermination des livraisons urgentes.

Dans cette étape, nous allons déterminer l'ensemble des livraisons urgentes. Pour cela, soit un navire k avec un graphe $G_k = (N_k, A_k^*)$.

L'ensemble des livraisons destination est représenté par NZ_k . Les livraisons qui ne sont pas urgentes seront déterminées comme suit:

$$i \in NZ_k \text{ ssi } \exists i \in NZ_k \text{ tel que } B_i = \text{MAX}_{i \in M} \{T_{i1}^k\} < B_i$$

Ces livraisons seront éliminées au cours de cette itération et considérées dans les prochaines itérations.

ETAPE 5: Calcul du bénéfice de chaque trajet

Disposant durant cette itération de graphes G_k pour chaque navire, constitués des livraisons sources, des livraisons urgentes reliées par des arcs, il faut maintenant évaluer chaque trajet en calculant son bénéfice. Pour cela, soit un trajet $(i, j) \in A_k^*$. Cet arc aura le bénéfice suivant:

$$B_{ij}^k = (P_{i1} + E_{i1}) * H_k - 2 * FP_k - (DR_{ij} + DA_{ij}) * (CFO_k * PFO + TA_k / 30.4) / (V_k * 24) - (b + TP_{i1} + TL_{i1} + TD_{ij}) * (PDO * CDO_k + TA_k / 30.4) / 24$$

$(P_l + F_l) * H_k$ représente le prix payé par le client pour la quantité H_k du produit livré, ainsi que le fret de transport.

$Z * FP_k$ représente les frais de ports payés respectivement dans le port de chargement et de déchargement.

$(DR_{k,l} + DA_{l,l}) * (CFO_k * PFO + TA_k / 30.4) / (V_k * 24)$ représente le coût dû à l'affrètement du navire et à la consommation de fuel oil, comptabilisée sur la durée passée en mer.

$(b + TP_l + Tl_l + TL_l + TD_l) * (PDO * CDO_k + TA_k / 30.4) / 24$ représente le coût dû à l'affrètement du navire et à la consommation de diesel oil, comptabilisé sur la durée passée dans les ports. Nous avons pris comme année de référence, une année ayant un nombre de jours égal à 365 jours, par suite un mois aura un nombre de jours égal à approximativement $30.4 * (365/12)$. Donc, un navire de type k coûterait $TA_k / 30.4$ dollars par jour.

étape b: formulation du problème.

Dans cet étape, nous allons déterminer le meilleur ensemble d'arcs tel que chaque navire effectuera au plus une livraison d'une part et d'autre part, une livraison ne soit réalisée que par un seul navire.

Ce problème étant formulé en programmation linéaire en variables booléennes, nous allons le résoudre en utilisant la méthode développée en annexe 3.

Étape 1: Résolution du problème.

Pour utiliser l'algorithme décrit en annexe 3, nous allons transformer la formulation sous forme d'un modèle de minimisation. Pour cela, posons

$$*X_{\sigma_k, j, 1}^k = 1 - X_{\sigma_k, j, 1}^k$$

$$*MAX Z = - MIN(-Z)$$

Le modèle devient :

$$MIN-Z = \sum_k \sum_{(\sigma_k, j, 1) \in A_k^o} R_{\sigma_k, j, 1}^k * X_{\sigma_k, j, 1}^k - \sum_k \sum_{(\sigma_k, j, 1) \in A_k^o} B_{\sigma_k, j, 1}^k$$

associée à:

$$\sum_{(j, 1) \in P_{\sigma_k}^k} X_{\sigma_k, j, 1}^k \geq |P_{\sigma_k}^k| - 1 \quad 1 \leq k \leq K$$

$$\sum_k \sum_{(\sigma_k, j, 1) \in S_i^k} X_{\sigma_k, j, 1}^k \leq \sum_k |S_i^k| - 1 \quad 1 \in \bigcup_k N_k^o$$

$$X_{\sigma_k, j, 1}^k \in \{0, 1\} \quad (\sigma_k, j, 1) \in A_k^o \quad 1 \leq k \leq K$$

A partir de là, la résolution est entreprise. La solution optimale correspondra au meilleur ensemble d'arcs pouvant être réalisés durant cette itération.

ETAPE.8: Réinitialisation de la méthode.

Soit l'arc $(a_{k,i,l})$ appartenant à la solution optimale et correspondant au trajet que doit effectuer le navire k. A partir de là, la livraison l devient la nouvelle position du navire k. Par conséquent les fenêtres de temps doivent être ajustées comme suit :

$$A_i = A_k + T_{k,i}^k$$

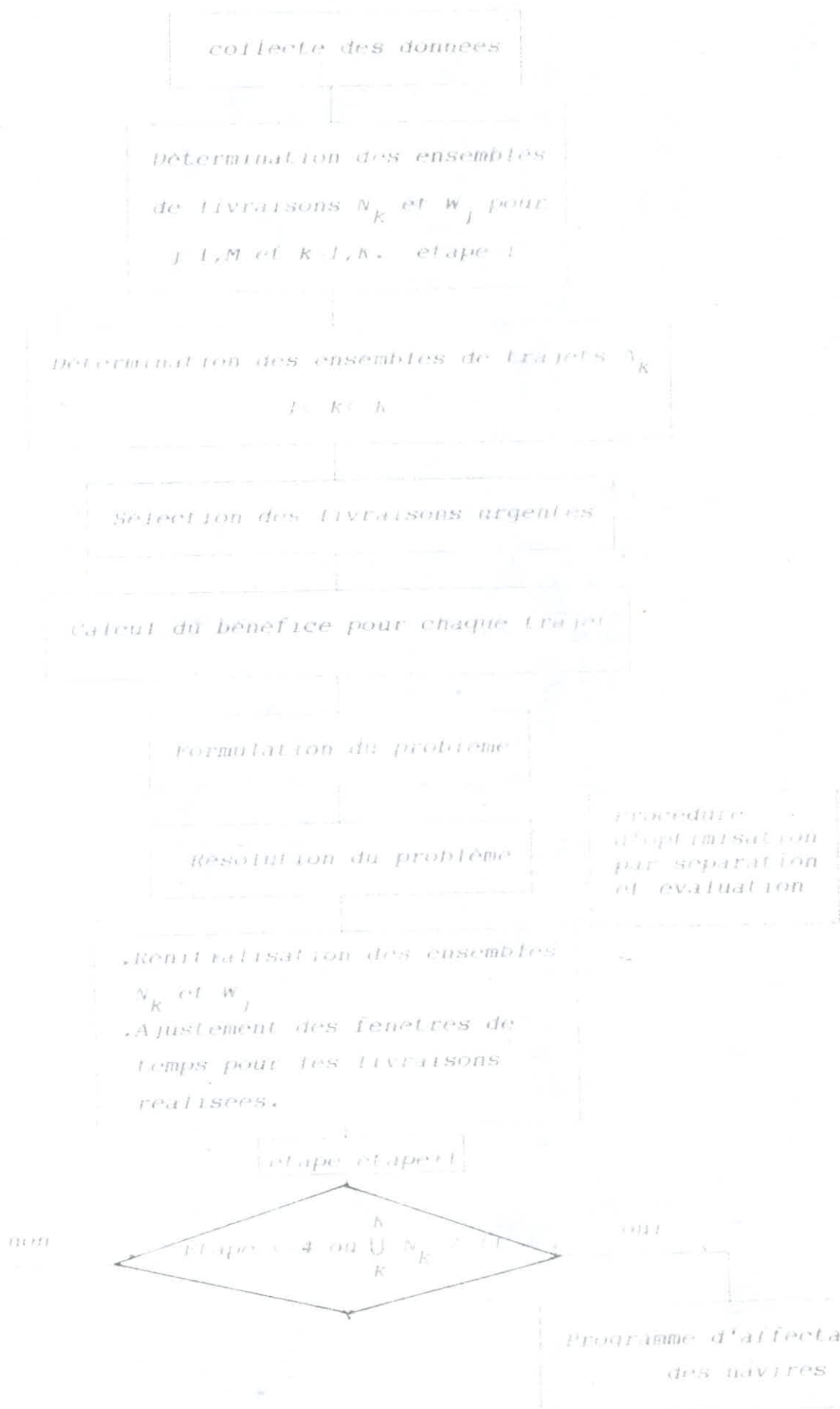
$$B_i = B_k + T_{k,i}^k$$

toutes les livraisons réalisées durant cette itération, doivent être éliminées dans les ensembles définis précédemment. Par la suite, on revient à l'étape trois (3).

Comme critère d'arrêt, nous en avons choisi deux:

1^{er} critère: correspondant à la réalisation de toutes les livraisons.

2^{eme} critère: d'après les responsables, une tournée dure en moyenne 7 jours, donc un navire peut faire jusqu'à 4 rotations par mois. Par suite, le nombre d'itérations pouvant être



4.5.Exemple illustratif:

L'heuristique que nous avons développée, se déroule en plusieurs étapes. Nous nous proposons à présent de la compléter par un exemple illustratif pour illustrer son fonctionnement.

ETAPE 1: Collecte des données.

Nous avons choisi un exemple, pour illustrer le fonctionnement de l'heuristique composé de :

- Seize livraisons;
- Quatre types de navires;
- Deux ports de chargement;
- Mois d'affectation: Juin.

Les données de cet exemple sont résumées dans l'annexe 4.

ETAPE 2: DETERMINATION DES ENSEMBLES DE LIVRAISONS:

Suivant les intervalles de quantités des livraisons, chaque navire aura un ensemble de livraisons possibles à réaliser. Ces derniers sont comme suit:

$$N_1 = \{ 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 17, 18, 19 \}$$

$$N_2 = \{ 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 17, 18, 19 \}$$

$$N_3 = \{ 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 17, 18, 19 \}$$

$$N_4 = \{ 11, 14, 15, 16, 20 \}$$

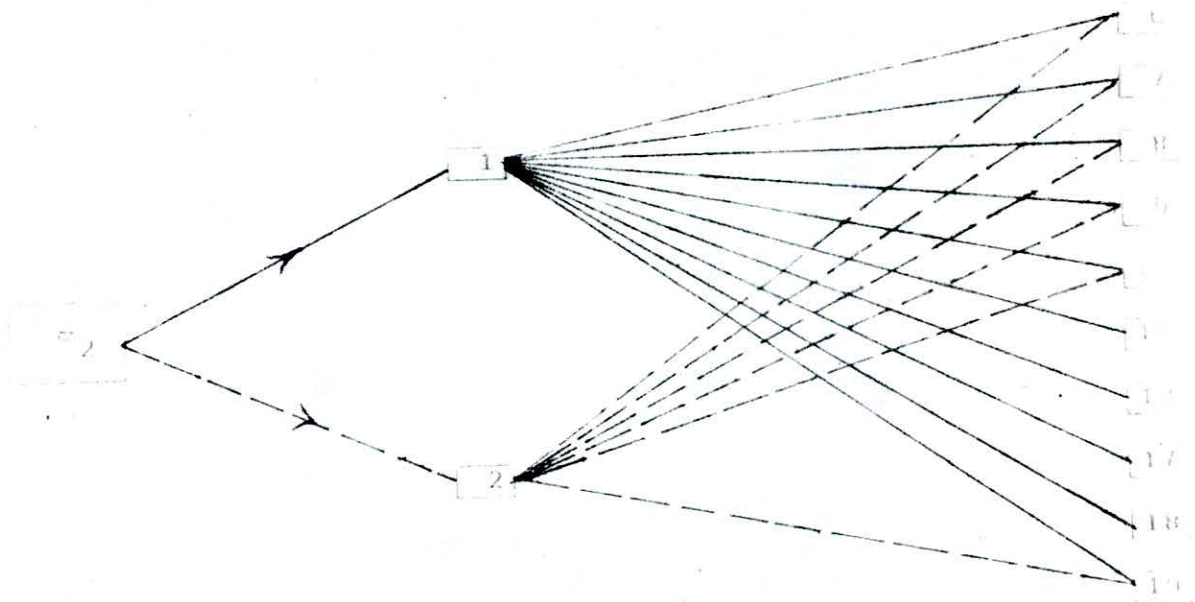
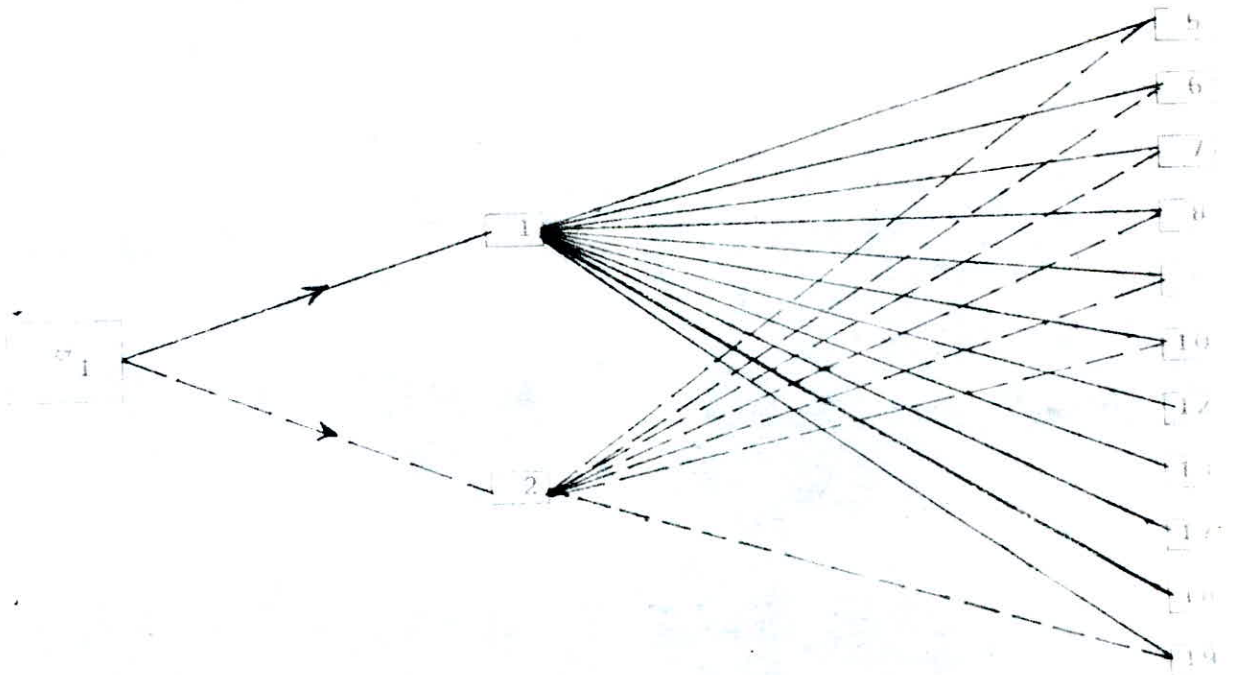
Dans cet exemple, nous supposons que du port de chargement 2, les navires ne peuvent charger ni le butane ni le butpro. Par suite,

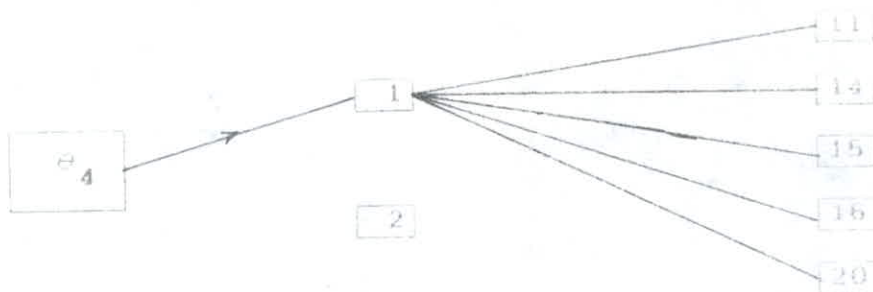
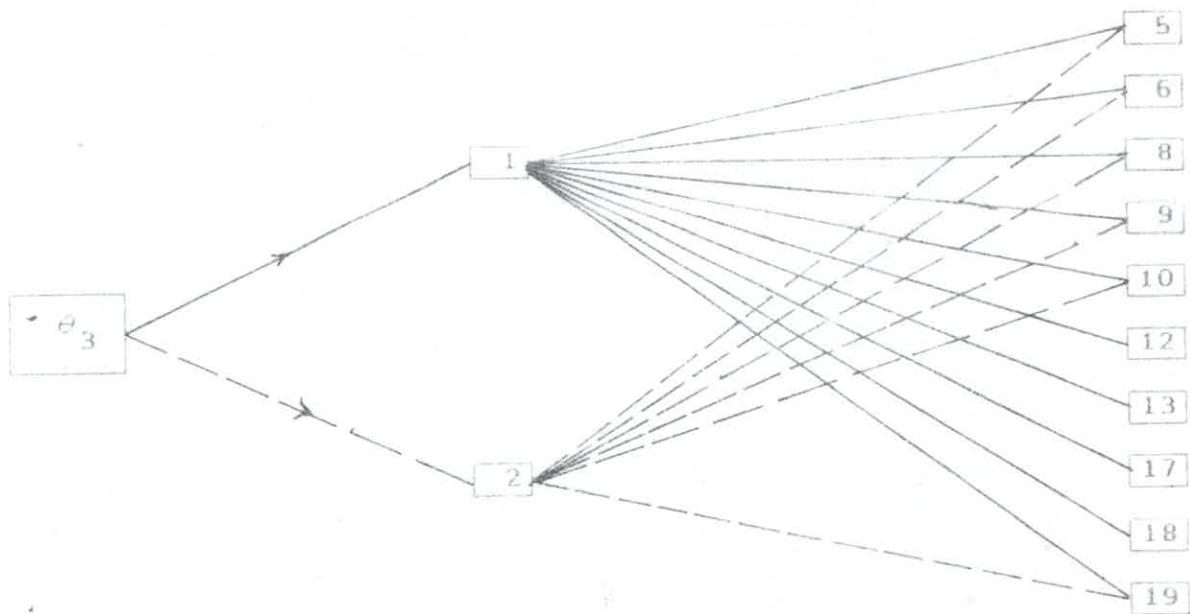
$$W_1 = \{ 5, \dots, 20 \} \text{ et } W_2 = \{ 5, 6, 7, 8, 9, 10, 19 \}$$

1^{ère} ITERATION:

ETAPE 3: DETERMINATION DES ENSEMBLES DE TRAJETS A_k

Les durées des trajets possibles pour chaque navire sont résumées dans les graphes suivants:





A partir des fenêtres de temps, les trajets réalisables sont donnés par les ensembles suivants:

$$A_1^0 = \left\{ (\theta_1, 1, 19), (\theta_1, 2, 19) \right\}$$

-le trajet $(\theta_1, 1, 19) \in A_1$ car ;

$$T_{(\theta_1, 1, 19)}^1 = 10j \ 14h \quad (j : \text{jours} ; h : \text{heures})$$

$$A_1 = 29 \text{ Mai } B_1 = 5 \text{ Juin}$$

$$A_{19} = 1 \text{ Juin } B_{19} = 30 \text{ Juin}$$

donc 29 mai + 10j 14h \geq 1 Juin et 5 Juin + 10j 14h \leq 30 Juin

- le trajet $(\theta_1, 1, 9)$ n'appartient pas à A_1^0 car :

$$T^1_{(\theta_1, 1, 9)} = 11j 5h$$

$$A_9 \rightarrow 10\text{Juin} B_9 = 20\text{Juin}$$

29 Mai + 11j 5h \leq 10. Cette inégalité élimine donc le trajet $(\theta_1, 1, 9)$ et ainsi de suite pour les autres trajets et navires, dont les résultats sont :

$$A_2^0 = \left\{ (\theta_2, 1, 8), (\theta_2, 1, 17), (\theta_2, 1, 19), (\theta_2, 2, 8), (\theta_2, 2, 19) \right\}$$

$$A_3^0 = \left\{ (\theta_3, 1, 5), (\theta_3, 1, 8), (\theta_3, 1, 17), (\theta_3, 1, 19), (\theta_3, 2, 5), (\theta_3, 2, 8), \right. \\ \left. (\theta_3, 1, 19) \right\}$$

$$A_4^0 = \left\{ (\theta_4, 1, 20) \right\}$$

Ainsi, les ensembles des noeuds destination pour chaque navire, sont :

$$N_{2_1} = \left\{ 19 \right\}, N_{2_2} = \left\{ 8, 17, 19 \right\}, N_{2_3} = \left\{ 5, 8, 17, 19 \right\} \text{ et} \\ N_{2_4} = \left\{ 20 \right\}$$

ETAPE 4: DETERMINATION DES LIVRAISONS URGENTES.

Soit le navire 2, parmi les livraisons appartenant à N_{2_2} , nous allons déterminer les livraisons les plus urgentes.

LIVRAISON 8

En partant de 19 : $B_{19} = 30 \text{ Juin}$, $B_8 = 10 \text{ Juin}$, $\max_{j \in M} (T_{(19, j, 8)}) = 6j \text{ } 20h$

$30 \text{ Juin} + 6j \text{ } 20h \geq 10 \text{ Juin}$

- En partant de 17 : $B_{17} = 15 \text{ Juin}$, $\max_{j \in M} (T_{(17, j, 8)}) = 8j \text{ } 3h$

$15 \text{ Juin} + 8j \text{ } 3h > 10 \text{ Juin}$.

donc la livraison 8 est urgente pour le navire 2.

LIVRAISON 17

- En partant de 8 : $B_8 = 10 \text{ Juin}$, $B_{17} = 15 \text{ Juin}$, $\max_{j \in M} (T_{(8, j, 17)}) = 11j$

$10 \text{ Juin} + 11j \geq 15 \text{ Juin}$

- En partant de 19 : $B_{19} = 30 \text{ Juin}$, $\max_{j \in M} (T_{(19, j, 17)}) = 6j \text{ } 14h$

$30 \text{ Juin} + 6j \text{ } 14h > 15 \text{ Juin}$.

donc la livraison 17 est urgente pour le navire 2.

LIVRAISON 19 -

- En partant de 8 : $B_8 = 10 \text{ Juin}$, $B_{19} = 30 \text{ Juin}$,

$\max_{j \in M} (T_{(8, j, 19)}) = 10j \text{ } 14h$

$10 \text{ Juin} + 10j \text{ } 14h \leq 30 \text{ Juin}$

- En partant de 17 : $B_{17} = 15 \text{ Juin}$, $\max_{j \in M} (T_{(17, j, 19)}) = 9j \text{ } 19h$

$15 \text{ Juin} + 9j \text{ } 19h > 30 \text{ Juin}$.

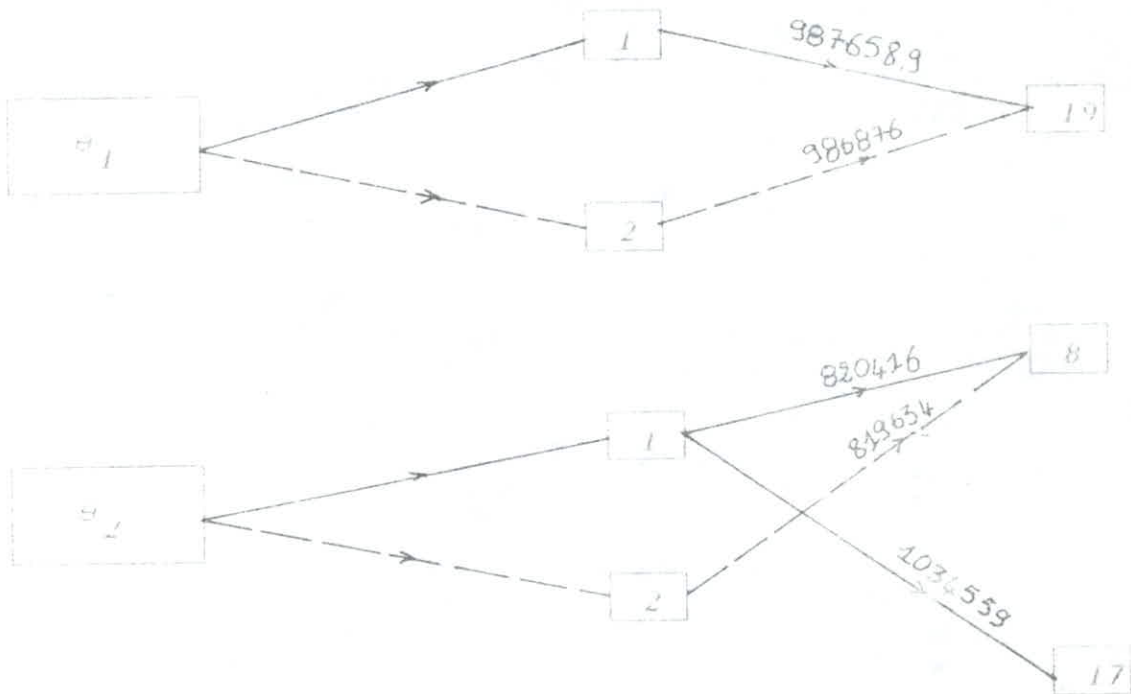
donc la livraison 19 n'est pas urgente pour le navire 2. Par

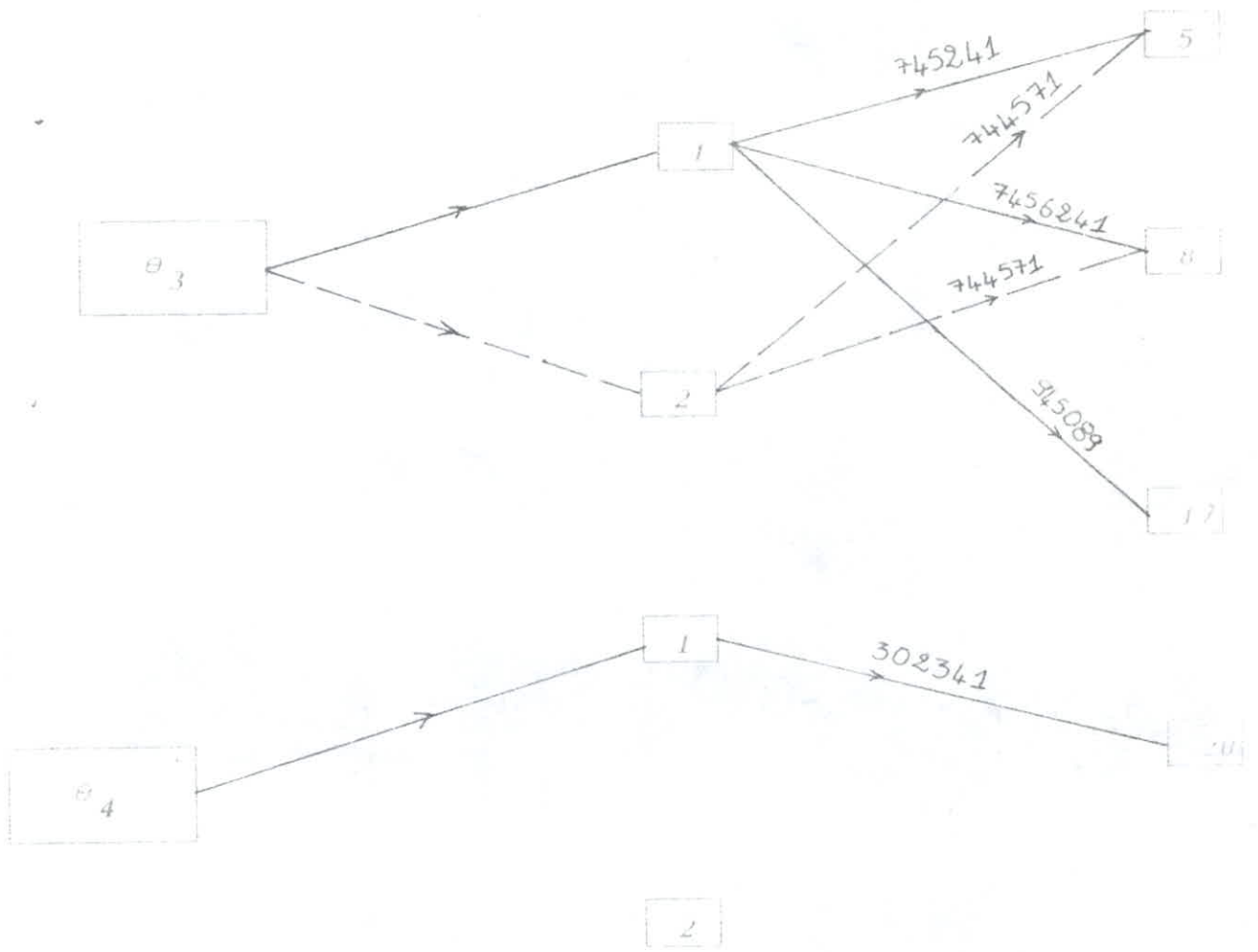
consequent elle sera éliminée de l'ensemble $N2_2$. Et ainsi de suite, nous trouvons les ensembles de livraisons destinations et urgentes qui sont :

$$N2_1 = \{ 19 \} , N2_2 = \{ 8, 17 \} , N2_3 = \{ 5, 8, 17 \} , N2_4 = \{ 20 \}$$

ETAPE 5: CALCUL DU BENEFICE POUR CHAQUE TRAJET.

Après avoir déterminé les livraisons urgentes, les graphes définis précédemment se réduisent à :





ETAPE 6: FORMULATION DU PROBLEME:

Le modèle formulé du problème comprend 11 variables booléennes et 9 contraintes linéaires, durant cette itération.

ETAPE 7: RESOLUTION DU PROBLEME.

En utilisant la procédure décrite en annexe 4, la solution optimale comprend les trajets suivants:

$$= (w_1, 1, 19) , (w_2, 1, 17) , (w_3, 1, 5) \text{ et } (w_4, 1, 20).$$

ETAPE 8: RENITIALISATION DES ENSEMBLES DE LIVRAISONS.

Les livraisons 5, 17, 19 et 20 vont être réalisées. Par la suite elles deviendront les nouvelles positions initiales. Nous commencerons par les éliminer des ensembles des livraisons non encore réalisées, ensuite nous procéderons à l'ajustement des fenêtres de temps. D'où

$$N_1 = \{ 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 18 \} , N_2 = \{ 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 18 \}$$

$$N_3 = \{ 6, 8, 9, 10, 12, 13, 18 \} , N_4 = \{ 11, 14, 15, 16 \}$$

$$w_1 = \{ 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18 \} , w_2 = \{ 6, 7, 8, 9, 10 \}$$

$$= \theta_1 = 19 , \theta_2 = 17 , \theta_3 = 15 , \theta_4 = 20$$

$$A_{\theta_1} = 8 \text{ j } 14 \text{ h} \quad B_{\theta_1} = 15 \text{ j } 14 \text{ h}$$

$$A_{\theta_2} = 3 \text{ j } 13 \text{ h} \quad B_{\theta_2} = 8 \text{ j } 13 \text{ h}$$

$$A_{\theta_3} = 2 \text{ j } 09 \text{ h} \quad B_{\theta_3} = 07 \text{ j } 09 \text{ h}$$

$$A_{\theta_4} = 12 \text{ j } 06 \text{ h} \quad B_{\theta_4} = 16 \text{ j } 06 \text{ h}$$

A partir de là, la procédure revient à l'étape 3 pour une nouvelle iteration.

A partir de trois iterations nous obtenons l'affectation suivante:

navire 1	PORT DE CHARGEMENT		PORT DU CLIENT	
	A_1	B_1	A_1	B_1
TRAJET	1	19	08 j 13h	15 j 13h
TRAJET	1	18	15 j 2h	22 j 02h
TRAJET	1	13	22 j 12h	29 j 12h
BENEFICE (dollars)	2811460.50			

navire 2	PORT DE CHARGEMENT		PORT DU CLIENT	
	A_1	B_1	A_1	B_1
TRAJET	1	17	03 j 14h	08 j 14h
TRAJET	1	12	10 j 00h	16 j 00h
BENEFICE (dollars)	1940601.38			

	PORT DE CHARGEMENT		PORT DU CLIENT	
	A_i	B_i	A_j	B_j
navire 3	A_i	B_i	A_j	B_j
TRAJET	1	05	02j 9h	07j 00h
TRAJET	2	08	10j 00h	16j 00h
TRAJET	1	10	21j 03h	26j 08h
BENEFICE (dollars)	2261502,00			

	PORT DE CHARGEMENT		PORT DU CLIENT	
	A_i	B_i	A_j	B_j
navire 4	A_i	B_i	A_j	B_j
TRAJET	1	20	12j 06h	16j 16h
TRAJET	1	16	21j 04h	25j 04h
BENEFICE (dollars)	508442,13			

4.6-ANALYSE DU PROGRAMME D'AFFECTION:

Disposant d'un programme d'affectation des navires, nous allons maintenant analyser le bien fondé de cette méthode heuristique.

a- la solution présentée est réalisable:

*-pour toutes les livraisons réalisées, les fenêtres de temps sont respectées.

*-chacune de ces livraisons a été effectuée par un seul navire.

*-il ya conservation de flux dans les ports de déchargement des clients.

*-Les ports de chargement choisis dans les différentes affectations correspondent aux types de produits demandés par les clients.

*-Un navire affecté à une livraison a une capacité suffisante pour la satisfaire.

*-Et enfin, l'aspect chevauchement pour les navires est respectée.

b-qualite de la solution:

a-1. utilisation de la flotte.

NAVIRE	ROTATION	TAUX D'UTILISATION
1	3	80.6%
2	2	46.0%
3	3	86.7%
4	2	86.0%

a-2. Ports de chargement.

le port de chargement 1 a été utilisé neuf fois sur les six livraisons réalisées. Ceci peut être expliqué par le fait que:

*- suivant les distances choisies, le port 1 est plus proche des clients que le port 2.

*- On ne peut livrer du port 2 que le propane.

9-3. Réalisation des livraisons.

La réalisation de seulement 10 livraisons parmi 16 et l'immobilisation du navire 2 à partir du 16 juin, nous a amené à étudier ce cas de plus près. En fait, une partie de celles-ci ne correspondaient pas à la capacité du navire, l'autre partie avait des fenêtres de temps qui ne laisse pas le navire entreprendre de telles livraisons. Un cas particulièrement intéressant est celui de la livraison 6 qui n'a pas été réalisée, car pour aller de 12 à 6 il faut 7j 7h en passant par le port de chargement 1 et 4j 2h en passant par 2. Ceci empêche le navire de réaliser une telle livraison car il serait soit en retard soit en avance.

c-conclusion:

Cet exemple nous a permis d'étudier le fonctionnement de l'heuristique et de constater que le choix des fenêtres de temps demeure une donnée importante. Dans le chapitre suivant, nous allons analyser le comportement de l'heuristique face à 16 problèmes tests de tailles différentes. Par la suite, nous procéderons à la validation de la méthode, à l'aide de deux problèmes réels correspondants aux affectations du mois de mai et celui de Juin 1991 établis par le Département Ventes GPL de SONATRACH.

PROBLEMES TESTS ET APPLICATION
AU CAS DE L'ENTREPRISE

5.1-INTRODUCTION :

Ayant programmé la méthode de résolution basée sur une approche heuristique en langage PASCAL sur un micro-ordinateur, nous avons entrepris son évaluation comme suit :

1^{ère} ETAPE : Nous avons procédé à une analyse du comportement de l'heuristique face à des problèmes tests ayant une taille semblable à celle du problème de l'entreprise.

2^{ème} ETAPE : Une application au cas actuel de SONATRACH permet l'analyse des performances de l'heuristique. Le cas choisi était relatif au mois de Mai 1991.

5.2. ANALYSE DE LA METHODE HEURISTIQUE

5.2.1-PROBLEMES TESTS:

Les données ont été générées selon la loi uniforme (0,1) entre des limites que nous nous sommes fixées. Le passage d'un problème test à l'autre se fait en procédant à la variation d'un paramètre; à partir de là, nous observons la nouvelle solution.

Les données concernent :

* LA FLOTTE MARITIME : Il s'agit :

- du nombre de navires,
- de la capacité de chaque navire,
- de la vitesse de chaque navire,
- des positions initiales des navires,
- du coût d'affrètement par mois,
- des frais d'accès aux ports, et des
- consommation de fuel oil et diesel oil;

* LES PORTS DE CHARGEMENT: Il s'agit :

- du nombre de ports de chargement,
- des produits en stocks, et
- des durées de passage dans les ports.

* LES CLIENTS CONTRACTUELS: Il s'agit :

- de l'ensemble des livraisons à réaliser,
- de la demande de client,
- des fenêtres de temps,
- des produits demandés,
- des durées de passage dans les ports,
- des temps d'attente,
- des prix FOB, et
- des frets.

a-PROBLEME TEST 1:

les donnees de ce probleme ont été resumées en annexe 5. Les resultats obtenus sont comme suit:

NAVIRE 1	PORT DE CHARGEMENT		CLIENT	
	plus tôt	plus tard	plus tôt	plus tard
TRAJET 1	1 5JUIN 9H	9JUIN 9H	8 7JUIN 22H	11JUIN 22H
TRAJET 2	1 13JUIN 6H	17JUIN 6H	2 16 -- 21H	20JUIN 21H
TRAJET 3	2 23JUIN 8H	27JUIN 8H	3 25--19H	28JUIN 19H
BENEFICE (DOLLARS)	3023395.75			

NAVIRE 2	PORT DE CHARGEMENT		CLIENT	
	plus tôt	plus tard	plus tôt	plus tard
TRAJET 1	2 2JUIN 4H	6JUIN 4H	1 4JUIN 10H	8JUIN 10H
TRAJET 2	2 10--16H	14JUIN 16H	4 12--13H	16JUIN 13H
TRAJET 3	1 19JUIN 4H	25JUIN 4H	7 20--15H	24JUIN 15H
BENEFICE (DOLLARS)	3368535.25			

NAVIRE 3	PORT DE CHARGEMENT		CLIENT	
	plus tôt	plus tard	plus tôt	plus tard
TRAJET 1	1 3JUIN 3H	7JUIN 3H	9 5JUIN 16H	9JUIN 16H
TRAJET 2	1 11JUIN	15JUIN 6H	13 16--14H	20JUIN 14H
TRAJET 3	1 23--19H	27JUIN 19H	11 25--19H	29JUIN 19H
BENEFICE (DOLLARS)	3489136.75			

NAVIRE 4	PORT DE CHARGEMENT				CLIENT	
	plus tot	plus tard	plus tot	plus ta		
TRAJET 1	1 4JUIN 5H	8JUIN 5H	5 8JUIN 8H	12JUIN 8		
TRAJET 2	1 16--11H	20JUIN 11H	10 19--19H	23JUIN 1		
BENEFICE (DOLLARS)	431250.31					

b-PROBLEME TEST 2 :

Dans ce deuxième test, nous faisons varier les fenêtres de temps de quelques livraisons

LIV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A_1	1 MAI	15 MAI	10 MAI	10 MAI	1 MAI	1 MAI	1 MAI	1 MAI	16 MAI	1 MAI	1 MAI	18 MAI	1 MAI
B_1	15 MAI	31 MAI	31 MAI	21 MAI	15 MAI	31 MAI	31 MAI	20 MAI	31 MAI	31 MAI	18 MAI	31 MAI	31 MAI

c-PROBLEME TEST 3:

Dans ce troisième test nous faisons varier les fenêtres de temps correspondant aux différentes positions initiales des navires comme suit:

NAVIRE	A_1	B_1
θ_1	27 AVRIL	4 MAI
θ_2	26 AVRIL	3 MAI
θ_3	25 AVRIL	31 AVRIL
θ_4	24 AVRIL	28 AVRIL

d-PROBLEME TEST 4:

Dans ce quatrième test, nous faisons varier les fenêtres de temps des livraisons et de des intervalles de quantités de produits comme suit:

LIV	Q-MIN	Q-MAX	A_i	B_i
1	2900	3400	1 MAI	15 MAI
2	3000	3700	22 MAI	7 JUIN
3	3300	4000	24 MAI	4 JUIN
4	3100	3800	10 MAI	21 MAI
5	800	1500	1 MAI	15 MAI
6	3000	4000	20 MAI	5 JUIN
7	2700	3400	1 MAI	31 MAI
8	3500	4000	20 MAI	4 JUIN
9	3000	3600	1 MAI	15 MAI
10	900	1500	1 MAI	31 MAI
11	3100	3800	1 MAI	18 MAI
12	2950	3500	10 MAI	22 MAI
13	3300	4000	1 MAI	31 MAI

e-PROBLEME TEST 5:

Dans ce cinquième test, l'action est portée, comme dans le test précédent, sur les fenêtres de temps et les intervalles de quantités. Les modifications sont:

LIV	Q-MIN	Q-MAX	A ₁	B ₁
1	2900	3400	1 MAI	10 MAI
2	3000	3700	10 MAI	21 JUIN
3	3300	4000	16 MAI	25 JUIN
4	3100	3800	20 MAI	31 MAI
5	800	1500	1 MAI	31 MAI
6	3000	4000	1 MAI	5 JUIN
7	2700	3400	1 MAI	31 MAI
8	3500	4000	1 MAI	31 JUIN
9	3000	3600	1 MAI	31 MAI
10	900	1500	1 MAI	31 MAI
11	3100	3800	1 MAI	31 MAI
12	2950	3400	1 MAI	22 MAI
13	3300	4000	1 MAI	31 MAI

4-PROBLEME TEST 6:

Dans ce sixième test, nous faisons varier encore une fois les fenêtres de temps des positions initiales des navires, comme suit:

NAVIRE	A ₁	B ₁
e ₁	28 AVRIL	4 MAI
e ₂	27 AVRIL	3 MAI
e ₃	25 AVRIL	31 AVRIL
e ₄	25 AVRIL	1 MAI

4-PROBLEME TEST 7:

Dans ce septième test, nous faisons varier seulement les intervalles de quantites, comme suit:

LIV	Q-MIN	Q-MAX
1	2900	3500
2	3000	3900
3	800	1500
4	3000	3400
5	800	1500
6	3600	4000
7	2700	3400
8	3000	4000
9	3500	3600
10	900	1500
11	3000	3800
12	2950	3700
13	3300	4000

4-PROBLEME TEST 8:

Dans ce huitième test, nous faisons diminuer les prix du produit propane et augmenter ceux du butane et du butpro, comme suit:

livraison	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
prix (\$)	210	220	205	201	207	257	346	375	344	200	317	366	242

4-PROBLEME TEST 9:

Dans ce neuvième test, nous faisons par contre, augmenter les prix du produit propane et diminuer les autres, comme suit:

livraison	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
prix(\$)	350	360	365	320	319	200	210	179	190	300	210	201	202

5-PROBLEME TEST 10:

Dans ce dernier test, les clients ne demandent que du butane. A partir de là, nous obtenons pour chaque test, une affectation réalisable des navires pour le mois de juin. Pour le problème test 1, les résultats de l'affectation des navires sont représentés dans les tableaux précédents. Les résultats pour les autres problèmes tests sont résumés en annexe 5.

5.2.2 RESULTATS ET INTERPRETATION:

4-PROBLEME TEST 1:

Suivant les données choisies pour le test 1, les livraisons 6 et 12 n'ont pas été réalisées bien que les fenêtres de temps portent sur toute la durée de l'horizon d'affectation.

Livraison 6:

Cette livraison ne peut être réalisée que par le navire 4, celui-ci a réalisé respectivement les livraisons 5 et 10 à partir du port 1. La livraison 5 ayant une fenêtre de temps du 4 au 15 du mois est urgente, la livraison 10 avec un prix unitaire plus élevé offre un meilleur bénéfice que la livraison 6. Après avoir réalisé cette dernière livraison, le navire arrive en retard pour

livraison 6. Donc pour réaliser cette livraison il faut négocier une autre date au plus tard se situant au début du mois de juillet.

Livraison 12:

Cette livraison ne peut être réalisée que par le navire 2.

Ce dernier a réalisé respectivement les livraisons 1, 4 et 7 à partir du port de chargement 2.

La livraison 1 avec une fenêtre de temps 11,451 est urgente durant la 1^{ère} itération de l'algorithme.

La livraison 4 avec une fenêtre de temps 110,311 est urgente durant la 2^{ème} itération de l'algorithme.

La livraison 7 avec un prix et un fret meilleurs que ceux de la livraison 12 a été réalisée.

Le choix du port 2 est justifié car en partant de sa position initiale, le navire parcourerait 1678 miles pour effectuer l'une des livraisons 1 ou 4 en passant par le port de chargement 2 alors que 1632 miles seulement sont nécessaires à partir du port de chargement 1.

b-PROBLEME TEST 2:

dans ce deuxième test, des modifications ont intervenu seulement sur le navire 3. Nous remarquerons que l'ordre de réalisation des livraisons a changé. Les deux livraisons 11 et 12 ont été réalisées dans un ordre différent, dû à l'augmentation des longueurs des fenêtres de temps car initialement la livraison 11

était plus urgente que 9. Cet effet s'est traduit par une augmentation du bénéfice.

2-PROBLEME TEST 3:

Nous remarquons que le changement sur la longueur de la fenêtre de temps de la position initiale du navire 1 a eu pour effet de rater la réalisation de la livraison 3. Dans ce cas, les fenêtres de temps après ajustement sont plus larges qu'auparavant, le navire arrivera en retard pour la livraison.

3-PROBLEME TEST 4:

L'augmentation de l'horizon d'affectation ainsi que la variation de la demande des clients a eu pour effet la réalisation de toutes les livraisons.

4-PROBLEME TEST 5:

Ici, encore, la diminution portée sur la longueur des différentes fenêtres de temps a eu pour effet la non réalisation de deux livraisons pour lesquelles le(s) navire(s) est (sont) soit en retard soit en avance.

5-PROBLEME TEST 6:

L'ordre de réalisation des livraisons 6, 8 et 13 pour le navire a changé, entraînant une diminution de la distance parcourue donc une augmentation du bénéfice. Pour le navire 4, l'ordre de réalisation a intervenu avec en plus un changement dans le port 2. Dans ce cas, le bénéfice a diminué. Compte tenu du fait

qu'on a diminué la date au plus tôt de la livraison initiale du navire 4, il arrivera en avance pour la livraison 1. Ceci a eu pour effet la réalisation dans la première itération de la livraison 10. Celle-ci s'est faite à partir du port de chargement 2 qui est plus éloigné du client à qui appartient la livraison que le port 1, et ceci a eu pour cause l'augmentation de la distance parcourue et par la suite diminution du bénéfice.

3-PROBLEME TEST 7:

Nous remarquons ici que la variation des intervalles de quantités influe comme dans les autres cas sur l'affectation des navires.

4-PROBLEME TEST 8:

A la suite de cette variation des prix, l'affectation des navires a changé. Notons que la livraison 11 a été attribuée au programme du navire 1 lequel débute au port 1e test par la réalisation de la livraison 1.

5-PROBLEME TEST 9:

Le changement des prix, a eu pour effet par rapport au cas précédent un changement dans l'ensemble des livraisons réalisées; par la suite les itérations suivantes seront fonction de la première.

5.2.2-PROBLEME TEST 10:

Dans ce dernier test, la solution trouvée est semblable à celle du problème test 9 bien que le type de produit est le même pour toutes les livraisons. Ceci est normal, car les prix n'ont pas changé.

5.2.3-CONCLUSION:

L'objectif de cette section était d'étudier le comportement de l'approche utilisée sur des problèmes tests de tailles différentes. Vu l'ensemble des résultats auxquels nous avons abouti et qui se révèlent satisfaisants, nous passons à la phase concrétisation du problème qui nous a été soumis.

5.2.4-APPLICATION AU CAS REEL:

Après avoir testé l'heuristique sur quelques problèmes tests, passons à la deuxième étape de l'analyse de l'heuristique.

SCENARIO 1: La SONATRACH propose les fenêtres de temps de livraisons. Ce cas correspond à une relaxation des contraintes car initialement la SONATRACH n'a pas encore contacté les clients. Nous avons choisi des fenêtres de temps d'une longueur assez large. Ces valeurs sont comme suit:

1-ULTRAGAZ	1 MAI	20MAI
2-ULTRAGAZ	10 MAI	30MAI
1-BUTANGAZ	1 MAI	20MAI
2-BUTANGAZ	15 MAI	30MAI
1-ETAP	1 MAI	20MAI
2-ETAP	10 MAI	30MAI
1-TISSIRGAZ	1 MAI	20MAI
2-TISSIRGAZ	10 MAI	30MAI
1-SCP	1 MAI	20MAI
2-SCP	10 MAI	30MAI
3-SCP	15 MAI	30MAI
4-SCP	15 MAI	30MAI
1-PETROGAL	1 MAI	25MAI

L'affectation obtenue est comme suit :

SUNNY LADY

BETH	2 MAI 20H	6 MAI 20H	1-TISS	7 MAI 2H	11 MAI 2H
BETH	10 MAI 17H	14 MAI 17H	2-TISS	14 MAI 23H	18 MAI 23H
BETH	18 MAI 14H	22 MAI 14H	3-BUTA	22 MAI 5H	26 MAI 5H

BENEFICE 1822112,00 \$

GAKOUDA,

BETH	29 AVR 10H	03 MAI 10H	1-ETAP	02 MAI 13H	06 MAI 13H
SKTB	5 MAI 8H	9 MAI 8H	1-BUTA	07 MAI 19H	11 MAI 19H
SKTB	14 MAI 6H	18 MAI 6H	2-BUTA	16 MAI 7H	20 MAI 7H

BENEFICE 1675774,25 \$

H. SCHULTE,

BETH	10 MAI 13H	14 MAI 13H	1-PETR	14 MAI 3H	18 MAI 3H
BETH	18 MAI 01H	22 MAI 01H	2-ETAP	19 MAI 17H	23 MAI 19H
SKTB	22 MAI 12H	26 MAI 12H	2-ULTR	24 MAI 18H	28 MAI 18H

BENEFICE 1706397,25 \$

CAP. PHALSTOS

BETH	03 MAI 18H	07 MAI 18H	1-SCP	05 MAI 22H	09 MAI 22H
BETH	09 MAI 01H	13 MAI 01H	2-SCP	11 MAI 06H	15 MAI 06H
BETH	14 MAI 10H	18 MAI 10H	3-SCP	16 MAI 14H	20 MAI 14H
BETH	19 MAI 18H	23 MAI 18H	4-SCP	21 MAI 22H	25 MAI 22H

BENEFICE 604735,00 \$

Notons que la 1^{ere} livraison du client ultragaz n'a pas été réalisée. Celle-ci avant une demande variant dans l'intervalle 13300,34001 ne peut être effectuée que par le navire H.SCHULTE, lequel a déjà fait trois rotations, par la suite il est disponible après le 28 mai. Pour envisager la réalisation de cette dernière, trois solutions sont possibles:

-affréter un navire supplémentaire,

-chevaucher le mois de juin,

-négocier avec le client un ajustement de sa demande de telle sorte que les autres navires puissent la réaliser.

SCENARIO 2:

Le client Petrogaz veut être livré entre le 20 et le 31 du mois de mai. Les résultats obtenus sont comme suit:

SUNNY LADY

BETH	2 MAI 20H	6 MAI 20H	1-PLSS	7 MAI 20H	11 MAI 20H
BETH	10 MAI 17H	14 MAI 17H	2-PLSS	14 MAI 23H	18 MAI 23H
BETH	18 MAI 14H	22 MAI 14H	1-PETR	22 MAI 14H	26 MAI 14H

BENEFICE 1904396,00 \$

BARBUDA,

BETH	29 AVR 11H	03 MAI 11H	1-ETAP	02 MAI 13H	06 MAI 13H
SKIK	3 MAI 8H	9 MAI 8H	1-BUTA	07 MAI 19H	11 MAI 19H
SKIK	14 MAI 6H	18 MAI 6H	2-BUTA	16 MAI 7H	20 MAI 7H
SKIK	23 MAI 04H	27 MAI 04H	3-BUTA	15 MAI 15H	29 MAI 15H

BENEFICE 2182157,00 \$

H.SCHULTE,

BETH	10 MAI 13H	14 MAI 13H	1-ULTR	13 MAI 17H	17 MAI 17H
BETH	20 MAI 01H	24 MAI 01H	2-ETAP	21 MAI 16H	25 MAI 16H

BENEFICE 1141285,00 \$

CAP, PHAISTOS

BETH 03 MAI 18H 07 MAI 18H 1-SCP 05 MAI 22H 09 MAI 22H
 BETH 09 MAI 01H 13 MAI 01H 2-SCP 11 MAI 06H 15 MAI 06H
 BETH 14 MAI 10H 18 MAI 10H 3-SCP 16 MAI 14H 20 MAI 14H
 BETH 19 MAI 18H 23 MAI 18H 4-SCP 21 MAI 22H 25 MAI 22H

benefice 604735,00 \$

Nous remarquerons que la livraison de Pétogal sera réalisée dans les délais. Toutefois, cette nouvelle fenêtre de temps à en compte cause la non réalisation de la 2^{ème} livraison de ultragaz.

SCENARIO B

SONATRACH décide de chevaucher sur le mois de juin pour réaliser la 2^{ème} livraison de ultragaz, dans ce cas, si l'on choisit la fenêtre de temps (28 mai, 9 juin), l'affectation des navires devient :

SUNNY LOPY

BETH 2 MAI 20H 6MAI 20H 1-TISS 7 MAI 2H 11 MAI 2H
 BETH 10 MAI 17H 14MAI 17H 2-TISS 14MAI 23H 18 MAI 23H
 BETH 18 MAI 14H 22MAI 14H 1-PETR 22MAI 14H 26 MAI 14H

BENEFICE 1904396,00 \$

BAROUDA

BETH 29 AVR 11H 03MAI 11H 1-ETAP 02 MAI 13H 06 MAI 13H
 SKIB 5 MAI 8H 9MAI 8H 1-RUTA 07 MAI 19H 11 MAI 19H
 SKIB 14 MAI 6H 18MAI 6H 2-RUTA 16 MAI 7H 20 MAI 7H
 SKIB 23 MAI 04H 27MAI 04H 3-RUTA 15 MAI 15H 29 MAI 15H

BENEFICE 2182157,00 \$

H. SCHULTE.

BETH 10 MAI 13H 14MAI 13H 1-ULTR 13 MAI 19017 MAI 17H
 BETH 20 MAI 01H 24MAI 01H 2-ETAP 22 MAI 18H 26 MAI 18H

BENEFICE 1141285,00 \$

CAP. PHAISTOS

BETH 03 MAI 18H 07MAI 18H 1-SCP 05 MAI 22H 09 MAI 22H
 BETH 09 MAI 01H 13MAI 01H 2-SCP 11 MAI 06H 15 MAI 06H
 BETH 14 MAI 10H 18MAI 10H 3-SCP 16 MAI 14H 20 MAI 14H
 BETH 19 MAI 18H 23MAI 18H 4-SCP 21 MAI 22H 25 MAI 22H

BENEFICE 604735,00 \$

Ainsi, la livraison 2-ULTRAP à pu être réalisée par le navire Barouda (3500-TM); mais ceci a entraîné la non réalisation de la livraison 3-01TAGAZ.

SCENAKIO : Nous donnons à la livraison 3-butagaz la tenetle de temps 125 MAI , 5 JUIN, les resultats deviennent :

SUNNY LADY

BETH 2 MAI 20H 6MAI 20H 1-TISS 7 MAI 7H 11 MAI 24
 BETH 10 MAI 17H 14MAI 17H 2-TISS 14 MAI 23H 18 MAI 23H
 BETH 18 MAI 14H 22MAI 14H 1-PETR 22 MAI 14H 26 MAI 14H

BENEFICE 1 904396,00 \$

BAROUDA

BETH 29 AVR 11H 03MAI 11H 1-ETAP 02 MAI 13H 06 MAI 13H
 SKIK 5 MAI 8H 9MAI 8H 1-BUTA 07 MAI 19H 11 MAI 19H
 SKIK 14 MAI 6H 18MAI 6H 2-BUTA 16 MAI 7H 20 MAI 7H
 SKIK 23 MAI 04H 27MAI 04H 2-ULTR 15 MAI 15H 29 MAI 15H

BENEFICE 2182157,00 \$

H. SCHULTE.

BETH	10 MAI 13H	14MAI 13H	1-ULTR	13 MAI 13H	17 MAI 17H
BETH	20 MAI 01H	24MAI 01H	2-PTAP	22 MAI 18H	26 MAI 18H
SKIK	24 MAI 12H	28MAI 12H	3-BOTA	26 MAI 13H	30 MAI 13H

BENEFICE 1648198,38 \$

CAP. PHAISTOS

BETH	03 MAI 18H	07MAI 18H	1-SCP	05 MAI 22H	09 MAI 22H
BETH	09 MAI 01H	13MAI 01H	2-SCP	11 MAI 06H	15 MAI 06H
BETH	14 MAI 10H	18MAI 10H	3-SCP	16 MAI 14H	20 MAI 14H
BETH	19 MAI 18H	23MAI 18H	4-SCP	21 MAI 22H	25 MAI 22H

BENEFICE 604735,00 \$

Toutes les livraisons ont été réalisées. Dans ce cas, le bénéfice total est plus grand que celui du cas trois. En effet, le H. Schulte compte une livraison à partir de SKIKIA, ce qui diminue la distance parcourue donc augmente le bénéfice.

CONCLUSION :

Les résultats donnés par la méthode de l'heuristique constituent une affectation réalisable des navires. La réalisation de toutes les livraisons restent toutefois tributaire de plusieurs événements dont les plus importants sont :

- * la position initiale des navires,
- * le choix des fenêtres de temps des livraisons, et de
- * la demande des clients;

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'étude que nous avons menée consiste à traiter un problème d'affectation optimale d'une flotte maritime.

Il s'agit de déterminer pour chaque navire affrété par SONATRA, l'ensemble des clients à livrer, dans quels ports de chargement s'approvisionner et quelles sont les différentes tournées à réaliser, de manière à maximiser les bénéfices, qui regroupe en même temps les prix FOB de vente des produits GPL, les frets et les coûts d'exploitation.

Ce problème de distribution qui s'insère dans le domaine de l'optimisation combinatoire est caractérisé comme suit :

- Une flotte hétérogène;
- Plusieurs produits;
- Plusieurs ports de chargement;
- Elaboration de tournées avec fenêtres de temps;
- Le chargement en Algérie doit précéder le déchargement chez le client;
- Demande variable dans un intervalle; et d'autres particularités du système, en l'occurrence celle du port de chargement quant au stockage de quelques produits sur la quai offerte à l'exportation.

D'autre part, nous nous sommes proposés de tenir compte du procédé séquentiel de remplissage des navires.

Cherchant à atteindre ces objectifs, une formulation mathématique du problème en un programme linéaire mixte a été donnée et la première idée de recourir à une méthode exacte fut rejetée vu le nombre trop important de variables ainsi que des contraintes.

D'autres formulations approchées du problème ont été alors élaborées mais en vain; la taille restait toujours importante.

Nous avons alors développé une méthode heuristique qui affecte les navires par itération suivant les fenêtres de temps. Cette méthode rentre dans le cadre des méthodes dites de construction. Son comportement a été sur des problèmes tests générés de façon aléatoire et les résultats obtenus se sont révélés concluants.

Pour ILLIR nous avons concrétisé nos travaux au niveau département ventes GPL de SONATRACH; les résultats ont été appréciables car les affectations trouvées sont réalisables et certaines sont même meilleures que celles obtenues par le département du point de vue bénéfice.

Enfin, nous avons proposé aux responsables du département une méthodologie outre un programme informatique; ces dernières peuvent représenter des outils opérationnels d'aide à la décision.

SUGGESTIONS

Nous nous proposons d'exposer certaines suggestions qui méritent d'être mentionnées et qui peuvent constituer un point de départ pour d'autres travaux.

1- L'heuristique peut être utilisée dans un cadre plus général. En effet, nous pouvons l'utiliser pour analyser le fonctionnement du système à n'importe quel moment, en faisant varier des paramètres tels que :

- les durées de débarquement ;
- les durées de chargement ;
- la vitesse des navires ;
- la demande des clients ;
- le prix des produits ; ...etc ;

Elle permet aussi, d'analyser la satisfaction des clients quand on ajoute ou quand on retire un navire.

VOIR aussi, analyser l'affectation des navires quand SKIKOY dispose de tous les produits.

2-vu l'impact de la durée de planification (mois) sur l'affectation des navires, il serait peut être intéressant de revoir ce point, de manière plus approfondie pour définir un horizon optimal. En effet, en fin de période, il arrive souvent qu'un navire ne puisse pas être affecté, du fait que la période restante ne lui permet pas de faire la tournée. Notons que ce point est pris en compte par les responsables de SONATRACH.

3-le problème peut être traité en utilisant, dans un contexte différent, les techniques et outils de la simulation. Il serait ainsi possible de tenir compte des aléas qui touchent certains événements:

- durée de chargement et de déchargement;
 - durée de navigation en mer;
 - accostage et appareillage;
 - la probabilité de disposer d'un navire à une date donnée en prenant compte des différentes perturbations, y compris les défaillances du navire, l'attente au niveau des clients, ...etc.
- Pour ce faire, il faudrait au préalable procéder à la collecte des différentes données: temps, distances, ...etc, à une étude de fiabilité des navires et les ajuster à des lois de probabilité qui

seront utilisées dans le modèle de simulation élaboré auparavant. Ce modèle permettra par la suite, d'étudier le comportement du système dans différents scénarios. Il serait ainsi possible de déterminer le degré de satisfaction des clients quant à la livraison, date de livraison, en partant d'une flotte donnée; Tout comme il serait possible de définir avec cet outil une flotte qui s'ajusterait le mieux à la demande des clients.

Notons toutefois, que l'élaboration d'un tel modèle nécessitera beaucoup de temps et d'efforts vue la complexité du système.

4- Il était question au départ d'un programme d'affectation optimal de la flotte des navires sur un horizon donné. Néanmoins, le recours à une heuristique, qui s'est avéré nécessaire dans notre cas, ne garantit pas l'optimalité. La solution trouvée dans certains cas fait l'objet de raffinement vue d'améliorer le bénéfice total, soit le taux de satisfaction du client ou tout autre critère jugé important dans l'application. L'utilisation de telles méthodes est une pratique normale et courante dans le contexte des problèmes de distribution.

b- L'heuristique mise au point dans le cadre de cette étude, affecte les navires de manière statique sur un horizon d'affectation donné, afin de permettre à SONATRACH de conclure ses négociations dans les meilleures conditions.

Dans la pratique, il arrive souvent que la trajectoire initiale d'un navire soit modifiée durant la période en question, afin de tenir compte de paramètres inconnus ou non suffisamment quantifiés au moment de l'élaboration des plannings. Il serait alors intéressant d'adapter l'approche à ce contexte.

REFERENCES

- 111 BODIN, L., GOLDEN, B., ASSAD, A. and BALL, M., "Routing and scheduling of vehicles and crews, the state of the art," pp 117-147 (1983).
- 121 BODIN, L., ROSENFELD, D., KYDES, A., "A heuristic approach to vehicle scheduling problem", *J. Urban Anal* 5(1), pp 47-69 (1978).
- 131 BODIN, L., BERMAN, L., "Routing and scheduling of school buses by computer", *Transportation Research* 13, pp 113-129 (1979).
- 141 DESROSTERS, J., SOUMIS, F., DESROCHERS, M., "Routing and scheduling of school buses", *Network* 4, pp 545-565 (1984).
- 151 DESROSTERS, J., FERLAND, J.S., BOUSSIAU, J.M., LAUMOND, J., CHAPLEAU, L., "Transcoel: a multiperiod school bus routing and scheduling system", publication de MONTRÉAL, (1980).
- 161 DESROSTERS, J., SOUMIS, F., and DESROCHERS, M., "Routing and scheduling of school buses: a heuristic approach and its application to a real case study", publication 278, Centre de Recherche sur les Transports, Université de Montréal (1983).

1171 DESBROSIERES, J., SOUMIS, F., SAUVE, M., "Logique
relaxation for routing with time windows" *Operational
Research*, pp 673-684 (1984).

1181 DROESBEKE, F., HALLIN, M., LEFÈVRE, C.L., "Programmation
lineaire par l'exemple", (1986).

1191 FERLAND, J.A., "The single depot vehicle scheduling problem",
publication 385, Centre de Recherche sur les Transports,
Université de MONTRÉAL (1985).

1191 GRABAN, D., NUTTLE, L.W. "A comparison of heuristics for
vehicle scheduling problem", IE Technical Report no. 8
Department of Industrial Engineering, North Carolina State
University (1984).

1111 GOLDEN, B., L., and ASSAD, A., A., "Vehicle routing: Solving
the problem", (1988).

1121 HADDADCHI, H., "L'observateur", journal de presse du 12 août
JUN 1991.

1131 JACQUES A. FERLAND, PHILIPPE MICHELON "A heuristic scheduling
problem with multiple vehicle types", *Operational Research
Society*, vol 39, pp 577-583 (1988).

1141 LEVIN, "Scheduling and fleet routing models
Transportation systems", *Transportation Science* 5, pp 232-255
(1971).

1151 MASSERON, J., "L'économie des hydrocarbures", publication de
l'Institut Français du Pétrole, (1982).

1161 ORLOFF, C., "Route constrained dial-a-ride
Transportation Science 10, pp 149-168 (1976).

1171 PURVIN & GERTZ, "Algeria LPG condensation market",
février 1991. Rapport sur une étude de marché.

1181 SAKAROVITCH, M., "Optimisation combinatoire, programmation
discrète" (édition MASSON 1984).

1191 M.M.SOLOMON "Vehicle routing and scheduling with time window
constraints: Models and algorithms, report 83-92 of
Department of Decision Sciences, the Wharton School, University
of Pennsylvania, Philadelphia (1983).

1201 SWRBSKY, A.J., BOLLARD, W., "Scheduling school buses",
Management Science 30, pp 844-853 (1984).

1211 ZERBOUKI, A., responsable dans le département ventes et
"communications personnelles"

4-DONNEES SUR LE RESEAU

DISTANCE ALLER			DISTANCE RETOUR		
DEPOT CHARGEMENT	BET	SKI	DEPOT CHARGEMENT	BET	SKI
LIVRAISON			LIVRAISON		
v					
1-ULTRAGAZ	752	421	1-ULTRAGAZ	752	421
2-ULTRAGAZ	752	421	2-ULTRAGAZ	752	421
1-BUTANGAZ	752	421	1-BUTANGAZ	752	421
2-BUTANGAZ	752	421	2-BUTANGAZ	752	421
3-BUTANGAZ	752	421	3-BUTANGAZ	752	421
1-ETAP	509	154	1-ETAP	601	240
2-ETAP	509	154	2-ETAP	601	240
1-TISSIRGAZ	444	789	1-TISSIRGAZ	936	1200
2-TISSIRGAZ	444	789	2-TISSIRGAZ	936	1200
1-SCP	281	626	1-SCP	281	626
2-SCP	281	626	2-SCP	281	626
3-SCP	281	626	3-SCP	281	626
4-SCP	281	626	4-SCP	281	626
1-PETROGAL	556	901	1-PETROGAL	866	1200

PROCEDURE D'OPTIMISATION PAR SEPARATION ET EVALUATION (SE)

Dans un problème de programmation en nombre entiers PLNE, les solutions sont, en général, en nombre fini. Une méthode simple pour résoudre un PLNE consiste donc à :

- énumérer implicitement ou explicitement les solutions candidates,
- sélectionner celles qui sont réalisables,
- calculer pour chacune d'elles la valeur correspondante de la fonction économique et en déduire la (les) solution(s) optimale(s).

Il existe heureusement des méthodes d'énumération plus raffinées pour la résolution des PLNE. Nous nous bornerons ici à l'étude de celles qui s'appliquent plus particulièrement aux programmes linéaires à variables booléennes (à deux valeurs, 0 ou 1).

A3.2 Procédures d'optimisation par séparation (PS)

A3.2.1 Principe Fondamental Des PS - Ensemble candidat de solutions

Il est aisé, en général, de déterminer l'ensemble des solutions candidates au problème. Malheureusement, cet ensemble

ANNEXE 5

PROBLEME TEST 1:

1- DONNEES SUR LES NAVIRES.

NAVIRE	H_k	V_k	CFD_k	CDO_k	TA_k	FP_k
1	1700	12	17	2	400000	20000
2	1700	14	17	2	400000	20000
3	2500	12	17	2	400000	20000
4	1000	10	7.5	1.5	200000	10000

DISTANCE RETOUR		PORT DE CHARGEMENT		FENETRES DE TEMPS	
		1	2	plutot	plus tard
POSITIONS DES NAVIRES	θ_1	752	421	29 MAI	2 JUIN
	θ_2	926	1211	28 MAI	1 JUIN
	θ_3	936	1281	27 MAI	31 MAI
	θ_4	1722	2067	26 MAI	30 MAI

2- DONNEES SUR LE PORTS DE CHARGEMENT:

PORT	DUREE DE PASSAGE	PRODUITS EN STOCKS
1	24	1, 2, 3
2	24	1, 2, 3

PREMIER PRIX	FUEL OIL	173
DEUXIEME PRIX	DIESEL OIL	360
DATE	DEPART	JUIN

3- DONNEES SUR LES LIVRAISONS:

LIVRAISON	Q_1 -min	Q_1 -max	A_1	B_1	Z_1	P_1	t_1	TF_1	TL_1
1	2900	3400	1JUN	15JUN	1	304	60	50	64
2	3000	3700	15JUN	31JUN	1	206	60	50	64
3	3300	4000	10JUN	21JUN	1	193	60	50	64
4	3100	3800	10JUN	31JUN	1	271	60	50	64
5	800	1500	01JUN	15JUN	1	207	60	50	64
6	900	1400	01JUN	31JUN	3	217	57	60	00
7	2500	3400	01 -	31 -	3	346	57	60	00
8	3500	4000	01 -	31 -	2	349	42	44	00
9	3000	3600	01 -	31 -	2	344	42	44	00
10	900	1500	01 -	31 -	1	312	44	54	00
11	3100	3900	01 -	31 -	2	317	30	42	00
12	2950	3400	01 -	31 -	2	306	70	42	00
13	3300	4000	01 -	31 -	2	242	145	24	00

4-DONNEES SUR LE RESEAU:

DISTANCE ALLER		
DEPOT CHARGEMENT	1	2
LIVRAISON ↓		
1	752	421
2	752	421
3	752	421
4	752	421
5	752	421
6	509	154
7	509	154
8	444	789
9	444	789
10	556	901
11	281	626
12	281	626
13	1320	1665

DISTANCE RETOUR		
DEPOT CHARGEMENT	1	2
LIVRAISON →		
1	752	421
2	752	442
3	752	421
4	752	421
5	752	421
6	1033	678
7	1033	678
8	936	1281
9	936	1281
10	926	1211
11	281	626
12	281	626
13	1722	2067

Test		1	2	3	4	5
Rotation des Navires	1	3	3	2	3	3
	2	3	3	3	4	3
	3	3	3	3	4	3
	4	2	2	2	2	2
Taux d'utilisation des Navires (%)	1	92,7	92,7	62,96	93,00	72,53
	2	71,1	71,1	78,80	102,26	83,33
	3	99,3	91,43	91,43	112,76	102,43
	4	82,6	82,6	82,60	82,66	70,02
Bénéfice par Navire en milliers de DA	1	3023.391	3023.396	2217.630	3335.309	3619.272
	2	3368.575	3368.535	3368.535	4092.811	3357.311
	3	3499.726	3525.750	3525.750	4367.395	3128.761
	4	431.250	431.250	431.250	431.250	460.721
AFFECTATION DE NAVIRE	1	(1,8); (1,3); (2,3)	(4,8); (4,2); (2,3)	(4,8); (4,2)	(4,11); (4,13); (2,6)	(4,6); (2,8); (2,13)
	2	(2,4); (2,4); (2,7)	(2,4); (2,4); (2,7)	(2,4); (2,4); (2,7)	(2,1); (2,4); (2,7); (2,3)	(4,1); (4,12); (4,7)
	3	(1,9); (1,13); (4,4)	(1,4); (4,13); (4,9)	(4,11); (1,13); (4,9)	(1,9); (1,12); (2,8); (4,2)	(2,2); (2,9); (4,11)
	4	(4,5); (4,10)	(1,5); (4,10)	(1,5); (4,10)	(4,5); (4,10)	(1,5); (4,10)
Ensemble de livraisons Non réalisées	(6,12)	(6,12)	(3,6,12)	{ }	(3,4)	
Navire disponible à partir de:	1	28 juin à 19h:00mn	28 juin à 19h:00mn	22 juin à 21h	1er juillet à 21h	25 juin à 18h
	2	24 juin à 15h:00mn	24 juin à 15h:00mn	24 juin à 15h	03 juillet à 16h	28 juin à 00h
	3	24 juin à 18h:00mn	27 juin à 10h:00mn	27 juin à 10h	03 juillet à 19h	30 juin à 17h
	4	23 juin à 19h:00mn	25 juin à 19h:00mn	23 juin à 19h	23 juin 19h	20 juin à 01h
Rangement dans Les ports	1	7 sur 11	7 sur 11	7 sur 10	6 sur 11	7 sur 11
	2	4 sur 11	4 sur 11	3 sur 10	6 sur 11	4 sur 11
Bénéfice Total en milliers de DA		10312.319	10348.932	9543.566	12224.766	10566.066
Temps exécution programme		1mn 10 sec.	0mn 49 sec.	0mn 39 sec.	1mn 20 sec.	0mn 0 sec.

Test	0	1	0	0	2
riteres					
ation des avires	1	3	2	3	2
	2	3	4	3	3
	3	3	3	2	3
	4	2	2	2	2
ur d'utilise on des avires(en%)	1	69.23	79.33	86.86	79.33
	2	86.66	85.30	93.80	88.90
	3	87.90	97.833	84.13	116.63
	4	77.33	67.73	67.73	87.80
ne fice r Navire milliers e DA	1	3637.098	1759.546	3797.768	2192.446
	2	3357.317	4632.204	3199.144	2191.436
	3	3311.639	3576.852	2096.188	2991.533
	4	432.037	454.682	342.682	613.815
ffectation e Navire	1	(2,8);(2,13);(1,6)	(2,2);(1,6)	(1,12);(1,6);(2,9)	(2,2);(1,6)
	2	(1,1);(1,12);(1,7)	(1,12);(1,7);(2,13);(1,11)	(1,1);(1,7);(2,3)	(1,12);(1,7);(2,11)
	3	(2,9);(1,11);(2,4)	(1,1);(1,8);(2,9)	(2,2);(1,8)	(1,1);(1,8);(2,13)
	4	(1,10);(1,5)	(1,10);(1,5)	(1,10);(1,5)	(1,5);(1,3)
semble de raisons Non realisees	(2,3)	(3,4)	(3,4,11)	(4,9,10)	(4,9,10)
avire dispo- ble à partir e	1	23 Juin à 18h:00	26 Juin à 14h:00	24 Juin à 14h:00	26 Juin à 19h:00
	2	28 Juin à 00h	27 Juin à 14h:00	30 Juin à 03h:00	23 Juin à 16h:00
	3	26 Juin à 03h:00	29 Juin à 08h:00	25 Juin à 05h:00	30 Juin à 23h:00
	4	28 Juin à 00h:00	28 Juin à 07h:00	27 Juin à 05h:00	21 Juin à 08h:00
hangement ans les ports	1	6 sur 11	8 sur 11	2 sur 11	7 sur 11
	2	5 sur 11	3 sur 11	3 sur 11	3 sur 11
ne fice Total milliers de DA	10238.098	10220.315	2235.396	7989.212	7989.215
ppresentation e Navire	54 sec	53 sec	53 sec	58 sec	58 sec

