

وزارة التربية الوطنية
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

Génie Industriel

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

APPROCHE DE RESOLUTION D'UN PROBLEME
D'AFFECTATION DES APPAREILS DE FORAGE
PAR METHODES EXACTE ET HEURISTIQUE

Proposé par :

SONATRACH
D. Forage

Etudié par :

A. GROUSSI
A. CHALAH

Dirigé par

N. ABOUN
M. SARI

PROMOTION
1994

RESUME

Notre travail consiste en l'affectation d'un ensemble d'appareils pour le forage de puits.

Pour atteindre cet objectif, nous avons proposé une modélisation du problème en un programme linéaire en nombres entiers 0-1 dont la résolution a été tentée à l'aide du logiciel GAMS, ce dernier utilisant pour la résolution une méthode exacte (Branch and Bound).

Pour des raisons inhérentes à la taille du problème, nous avons élaboré un algorithme heuristique que nous avons validé sur des problèmes test de grande taille (proche de la réalité). Les résultats obtenus ont été acceptables.

ABSTRACT

This work is concerned with the allocation of equipments to drilling petroleum holes.

In order to reach this goal, we proposed a 0-1 linear programming modelisation. A resolution was tried with GAMS solver which uses Branch and Bound method.

Because of the problem size, we developed heuristic procedure that we carried out with a set of large size test problems. The results were acceptables.

ملخص

هذا العمل يتمثل في إرفاق مجموعة من آليات الحفر
أو مجموعة من آبار البترول.
لتحقيق هذا الهدف، اقترحنا تمثيلا للمشكلة في شكل برنامج
خطي للأعداد الطبيعية 0-1، والذي حاولنا حله باستخدام
برنامج GAMS، هذا الأخير يستعمل طريقة دقيقة للحل
(طريقة التفكيك والتقسيم). لأسباب مرتبطة بحجم المشكلة،
أوجدنا خوارزمية هيرستية تمت معاينتها على جملة من المسائل
الاختبارية ذات حجم كبير (تقترب من المشكلة الحقيقية)، النتائج المتحصل
عليها كانت مقبولة إلى حد ما.

*Je dédie principalement ce modeste travail à ma mère et à mon père qui
se sont toujours sacrifiés pour leurs enfants,*

*à ma soeur Fahima et son mari qui m'ont considérablement
soutenu,*

à mes frères Azzedine et Hakim,

à mes belles-soeurs Naima et Ratiba,

à mes nièces Lilou et Kikoucha,

à ma tante Rabéa et mon oncle Amur,

à ma cousine Nachida,

à Amelle et son mari,

à tous mes amis

et à Karina.

Abderrahmane

Je dédie ce mémoire à ma mère et à mon père

qui se sont préoccupés de mon bonheur,

à mes frères et soeurs,

à Monsieur et Madame CHALAH

et à tous mes amis.

Abdennour

Remerciements

Nous tenons à remercier Monsieur CHAOUCHIE Chaubane de la Division Production de la SONATRACH de nous avoir proposé un sujet à traiter.

Nous adressons nos sincères remerciements à Melle N.ABOUN et Mr M.SARI d'avoir accepté de nous encadrer et d'avoir considérablement contribuer à la réalisation de notre projet de fin d'études. Sans oublier l'ensemble des enseignants qui ont veillé à notre formation d'Ingénieurs en Génie Industriel.

Nous remercions également nos amis Karim, Makim, Hamza, Zohier, Adel, Said, Redouane, les deux Khaled, Riadh, Lila, Khadidja et tous les autres.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.

PARTIE I

Problème et modélisation

Chapitre I

Généralités

I- Présentation de l'organisme d'accueil	1
II- Le problème et son contexte	3
II-1- Généralité sur la fonction forage	3
II-2- Classification des puits	4
II-3- Construction des puits	5
II-4- Description des différentes opérations d'un forage	6
II-5- Le train de sonde	9
II-6- Conduite du forage d'un puits	11
II-7- Carottage	12
II-8- Cimentation	12
II-9- Instrumentation	13
II-10- Incidents de forage	13
III- Analyse de l'activité forage	16

Chapitre II

Etat de l'art pour les problèmes de tournées avec fenêtres de temps	
1- Introduction.	19
2- Formulation mathématique du PTVFT	21
3- Méthodes de résolutions	24
4- Conclusion	29

Chapitre III

Modélisation

1- Problème	30
2- Contraintes réelles	30
3- Formulation et méthodologie	31

PARTIE 2

Résolution

Chapitre IV

Approche de résolution par méthode exacte

1- Introduction	47
2- Outils de résolution	48
3- Description du logiciel utilisé (GAMS)	53
4- Mise en oeuvre du modèle à l'aide de GAMS	59
- Présentation du modèle	60
- Exemple illustratif	62
- Caractéristiques des problèmes test	63
5- Conclusion	66

Chapitre V

Approche heuristique

1- Introduction	67
2- Principe général de l'algorithme proposé	67
3- Organigramme	68
4- Algorithme	69
5- Exemple illustratif	72
6- Principe de fonctionnement du programme pascal élaboré	77
7- Application à un cas de grande taille	82
- Discussion des résultats	83

8- Comparaison entre la méthode exacte et l'heuristique	84
9- Conclusion et suggestion.	85

CONCLUSION GENERALE.	87
----------------------	----

BEBLIOGRAPHIE.

ANNEXES.

- Annexe I : Planches illustratives de l'opération forage.
- Annexe II : Classification des appareils de forage.
- Annexe III : Démonstration.
- Annexe IV : Exemple pour la méthode exacte.
- Annexe V : Application de l'heuristique.

INTRODUCTION

Vu l'importance de la rente des hydrocarbures dans l'économie nationale, il est nécessaire de bien en gérer l'exploitation. Le forage, qui est l'une des activités les plus coûteuses, mérite à ce titre une attention particulière.

C'est dans cet état d'esprit, et après la demande de la division forage de la SONATRACH que nous proposons un modèle d'affectation optimale des appareils de forage vers les chantiers afin d'en minimiser les coûts d'utilisation et les coûts de déplacement.

Pour atteindre notre objectif nous suivrons le plan de travail suivant :

En premier lieu, une présentation de l'organisme d'accueil suivie de définitions du problème et de l'activité forage seront faites dans le chapitre I.

Le chapitre II sera consacré à l'état de l'art des problèmes d'élaboration de tournées avec fenêtres de temps.

Le chapitre III aura comme contenu la formulation mathématique du problème en un problème en nombres entiers.

La validation de notre modèle sera faite dans le chapitre IV par la résolution de plusieurs problèmes test par une méthode exacte.

Une méthode de résolution heuristique sera développée et validée dans le chapitre V.

En dernier, nous terminerons avec une conclusion et quelques suggestions

CHAPITRE I

I- PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL

I-1- PRESENTATION DE LA SONATRACH

La Société Nationale du Transport et de la Commercialisation des Hydrocarbures (SONATRACH) a été créée en 1963 par le décret 63-491 du 31 décembre 1963. S'occupant initialement du transport des hydrocarbures (réalisation de l'oléoduc Haoud El Hamra-Arzew achevé en 1965), ses prérogatives se sont étendues par le décret 66-29 du 22 septembre 1966, à toutes les activités des industries pétrolières et gazières, à savoir, la recherche (prospection), la production, le transport et le traitement.

Suite à la nationalisation des hydrocarbures le 24 Février 1971, la SONATRACH se voit confier la mission de développer toutes les branches de l'industrie des hydrocarbures depuis l'exploitation jusqu'à la pétrochimie soit :

- L'exécution de toutes les opérations de recherche et d'exploitation industrielle et commerciale des gisements d'hydrocarbures.
- La construction et l'exploitation de tous les moyens de transport d'hydrocarbures.
- Le traitement et la transformation des hydrocarbures .
- La création d'une industrie pétrochimique ou de toute autre industrie connexe dérivant des hydrocarbures.
- La distribution et la vente des hydrocarbures et tous produits dérivés en Algérie et à l'étranger.

Lors d'une restructuration effectuée en 1981, le tissu industriel ainsi créé a donné naissance à 17 grandes entreprises constituées à partir des divisions opérationnelles.

Dès lors, la SONATRACH se consacre totalement à des missions centrées sur la recherche, la production, le transport, le conditionnement des hydrocarbures gazeux ainsi que leur commercialisation.

Actuellement, sa position au sein de l'économie nationale est confirmée par les faits suivants:

- Elle participe par 15 % au produit national brut.
- Elle finance 25% du budget de l'état par la fiscalité pétrolière.
- Elle vend 80% de sa production sur le marché extérieur, ce qui constitue plus de 95% des recettes du pays.

I-2- ORGANISATION DE LA SONATRACH

La SONATRACH a adopté un schéma organisationnel centralisé qui se compose :

- D'une direction générale.
- D'une direction administration générale (inspection générale) qui assure le support administratif et logistique à la direction générale.
- De structures opérationnelles chargées des activités d'exploitation et de développement industriel placées sous l'autorité hiérarchique de 6 directeurs généraux adjoints dont le rôle est d'assurer le bon déroulement des activités suivantes :

- 1- Le développement et l'exploitation des gisements d'hydrocarbures (HYD).
 - 2- Le développement et l'exploitation du réseau de transport des hydrocarbures par canalisation (TRC).
 - 3- Le développement et l'exploitation des complexes de liquéfaction du gaz et de transformation des hydrocarbures (LTG).
 - 4- Le développement de l'exploration et de la recherche (EXR).
 - 5- La commercialisation des hydrocarbures (COM).
 - 6- Etudes économiques.
- Des structures chargées des activités à caractère technique.
 - Des structures chargées des activités à caractère social.

II- LE PROBLEME ET SON CONTEXTE

Le problème posé au niveau de la division forage de la SONATRACH est de ne pas pouvoir réaliser les programmes de forage, ceci étant dû à des raisons matérielles (liées directement à l'activité forage) et des raisons humaines telles que les mauvais choix d'affectation des appareils de forage.

Pour traiter le problème en question il est nécessaire de prendre connaissance de certaines caractéristiques de la fonction forage.

II-1- GENERALITES SUR LA FONCTION FORAGE

Prospecter un terrain c'est creuser des puits donc forer jusqu'à la profondeur où l'on a prévu un piège d'hydrocarbures constitué par des roches d'une certaine perméabilité.

Cette prospection se fait par champs où la société cliente (production) demande de creuser un des puits qu'elle détermine à l'avance.

Chaque champ se caractérise par :

- La nature de son sol (différentes couches géologiques à traverser avant d'atteindre le piège d'hydrocarbures).
- la profondeur jusqu'où l'on prévoit de creuser.
- L'état d'avancement des travaux de forage (développement - exploration).

On distingue trois types de forage :

1-Forage hydrocarbure : il se fait dans les champs :

- de développement constitués par des zones bien connues.
- d'exploration : ce sont des zones nouvelles susceptibles de renfermer des gisements.

2-Forage hydraulique : consiste à rechercher l'eau nécessaire au bon fonctionnement de l'opération forage sur un site.

3-Work over : permet d'améliorer le débit ou la cimentation d'un puits, en reforant le puits autant de fois que nécessaire.

Description sommaire d'un champ

Un champ peut être décrit par les caractéristiques suivantes :

- Sa situation géographique.
- La profondeur à laquelle on espère y trouver des hydrocarbures.
- Le nombre de puits à creuser (en début de période).
- Le nombre et le type d'appareils réservés à cet effet.

II-2- CLASSIFICATION DES PUIITS

Il existe cinq catégories de puits :

* Puits géologiques :

Leur objectif est l'étude de la structure en profondeur des régions pour établir les lois générales du gisement des roches et savoir si ces roches présentent les conditions nécessaires pour la constitution des gites de pétrole et de gaz.

* Puits paramétriques :

Ils sont réalisés dans les zones où les conditions sont supposées favorables pour la constitution des champs de pétrole et de gaz. Ces sondages rendent possible l'étude de la structure des roches en profondeur et permettent d'évaluer les réserves de pétrole et de gaz. Les données fournies par les sondages paramétriques permettent d'établir les superficies susceptibles de donner lieu à des gisements de pétrole et de gaz.

* Puits d'exploration :

Ils sont forés d'après les données des sondages paramétriques et d'autres recherches, notamment les recherches géophysiques. Ces puits confirment si dans les aires explorées, il existe ou non des champs de pétrole ou de gaz. Les champs explorés permettent d'étudier les coupes du terrain à des profondeurs plus grandes que celles des gites explorés. Les puits d'exploration assurent aussi l'échantillonnage de toutes les couches productives éventuelles.

* Puits de recherche :

Ils sont amorcés une fois que le sondage d'exploration a établi la présence des horizons encaissant du pétrole ou de gaz. Les tâches du sondage de recherche consistent à évaluer la puissance du gisement, d'apprécier les réserves d'hydrocarbures en tant que matières premières et d'accumuler les données pour établir le projet de forage des gîtes isolés.

* Puits de production :

Ils sont forés pour extraire du pétrole, du gaz et dans plusieurs cas de l'eau.

II-3-CONSTRUCTION DES PUITES

Le cycle de construction d'un puits quelle que soit sa fonction (recherche, exploration, production de pétrole ou de gaz) comporte trois étapes :

1-- Mise en place des structures et montage du matériel de forage : cette étape commence par les terrassements (nivellement du terrain, établissement des fouilles prévues pour la fondation), le suivi du montage du matériel de forage et de mise à l'essai, après quoi on procède aux travaux préparatoires.

2-- Forage et tubage du puits : Il est considéré comme achevé après la descente de la colonne de production et le contrôle de sa qualité.

3-- Essai des objets productifs et d'exploitation éventuelle :

- + Une route reliant le puits au réseau routier.
- + Une conduite d'eau.
- + Une ligne d'éclairage.
- + Une ligne de transmission électrique.
- + Une ligne téléphonique.

II-4- DESCRIPTION DES DIFFERENTES OPERATIONS D'UN FORAGE

Il existe deux procédés de forage :

- Le forage par percussion (battage).

- Le forage par rotation (rotary).

Dans chacun de ces procédés, l'opération peut se faire à sec ou avec injection d'eau ou de boue.

Le forage au battage trouve quelques rares applications dans le cas de sondages à faible profondeur dans des couches à très faible pression.

Le forage rotary est le procédé le plus utilisé de nos jours dans les recherches de pétrole, car il permet d'obtenir les meilleures vitesses de forage et surtout d'atteindre des profondeurs extrêmement élevées (le record actuel est de l'ordre de 7 000 mètres).

Le procédé rotary fut expérimenté pour la première fois dans les recherches de pétrole au TEXAS en 1901 par l'américain A.F. Lucas, le terrain à forer était tendre, inconsistant, et le battage ne permettait pas d'en assurer la traversée.

Le procédé fut d'abord répandu en Californie où les difficultés étaient du même ordre, puis fut généralisé à toutes les variétés de terrains, même les plus durs.

4-1- Principe de la méthode rotary

L'instrument coupant, appelé "trépan", doit pour accomplir son travail :

- Etre animé d'un mouvement de rotation autour de son axe.
- Etre appuyé avec une certaine force sur le fond du puits.

Ces deux actions sont transmises depuis la surface par les tiges qui sont vissées au-dessus du trépan. Au fur et à mesure que la roche est débitée en petits débris (cuttings), appelés déblais de forage, une circulation continue de boue descendant par l'intérieur des tiges et remontant par l'espace annulaire compris entre les tiges et le trou les évacue vers la surface. Cette boue peut jouer un rôle important dans le travail d'attaque de la roche par le trépan.

4-2- Description sommaire d'un appareil de forage rotary

Le trépan est entraîné dans son mouvement de rotation au fond du trou par une colonne de tiges creuses vissées les unes aux autres.

A l'extrémité supérieure de ce train de tiges et à hauteur du plancher de la tour de sondage se trouve la tige d'entraînement qui est creuse également mais de section extérieure carrée ou hexagonale, et qui passe à travers la table de rotation par laquelle elle est entraînée.

Les moteurs entraînent la table de rotation par l'intermédiaire d'un ensemble de transmissions (chaînes et roues dentées).

L'ensemble du train de sonde (trépan, tiges, tige carrée) est suspendu au crochet de levage par l'intermédiaire de la tête d'injection qui joue le rôle de palier de rotation pour l'ensemble du train de tiges; elle comprend une partie mobile solidaire du train de sonde et une partie fixe solidaire du crochet.

Ce crochet de levage peut être manoeuvré de haut en bas de la tour métallique grâce à un système de mouflage composé d'un moufle mobile auquel est suspendu le crochet et d'un moufle fixe fixé en haut de la tour de sondage.

Le brin libre du câble ainsi mouflé va s'enrouler sur le tambour du treuil de forage, lequel est entraîné par les moteurs par l'intermédiaire d'un jeu de transmission et d'embrayages.

Une injection continue de boue dans le trou est assurée pendant toute la durée du forage.

Aux deux tiers environ de la tour de forage se trouve la passerelle d'accrochage qui sert au gerbage des tiges dans la tour lors de la manoeuvre de remontée ou de descente (lorsque le trépan usagé est remplacé par un neuf). Le train de tiges est donc remonté puis redescendu par éléments de

deux ou trois tiges grâce au système de levage que constituent le treuil, le câble, les moufles et le crochet.

La tour de forage repose sur une substructure haute de 3 mètres en général, ce qui élève d'autant le plancher de travail et permet l'installation sur la tête du puits d'un ou plusieurs obturateurs de sécurité.

4-3-puissance des appareils de forage rotary

On classe généralement les appareils de forage rotary en quatre catégories qui sont définies par les profondeurs limites qu'ils peuvent atteindre.

- a) Les appareils légers pour les profondeurs inférieures à 1200 m.
- b) Les appareils moyens pour les profondeurs comprises entre 1200 et 2500 m.
- c) Les appareils lourds pour les profondeurs comprises entre 2500 et 4000 m.
- d) Les appareils ultra-lourds pour les profondeurs supérieures à 4000 m.

Dans notre étude, nous prenons en considération la classification utilisée par la division forage (SONATRACH) et qui est la suivante :

- a) Les appareils légers pour les profondeurs inférieures à 1500 m.
- b) Les appareils moyens pour les profondeurs comprises entre 1500 et 3000 m.
- c) Les appareils lourds pour les profondeurs comprises entre 3000 et 5000 m.
- d) Les appareils super-lourds pour les profondeurs supérieures à 5000 m.

Ces catégories d'appareils diffèrent principalement par leur facilité de déménagement, désignée le plus souvent sur les chantiers par le mot "portabilité". Plus les appareils sont légers, plus les éléments qui les composent sont de dimensions réduites, ce qui facilite leur groupage en ensembles qui, pour les plus légers, peuvent tenir sur un plateau de camion ou de semi-remorque. Néanmoins, quelle que soit leur taille, les éléments ne diffèrent pas sensiblement entre eux : treuils, tables de rotation, pompes,

etc... Bien entendu, ces éléments posent dans leur construction ou leur utilisation des problèmes plus difficiles à résoudre s'ils appartiennent à un appareil lourd.

II-5 LE TRAIN DE SONDE

5-1- Les trépan (BITS)

Le trépan est l'outil qui fore le terrain. Son type, sa forme, sa résistance doivent donc être adaptés le mieux possible au terrain à traverser, chose souvent difficile à réaliser dans un forage d'exploration.

On distingue deux grandes catégories de trépan :

- Les trépan à lames (drag bits), qui sont utilisés pour les terrains très tendres.
- Les trépan à rouleaux (rock-bits), qui sont utilisés pour les terrains durs et moyennement durs, et même les terrains tendres, où ils remplacent de plus en plus les trépan à lames.

L'usure du trépan est liée, dans une certaine mesure, aux deux paramètres : poids sur le trépan et vitesse de rotation. Plus les valeurs de ces deux paramètres sont grandes, plus l'usure est rapide. Mais, généralement, le gain obtenu par l'utilisation des valeurs élevées de ces paramètres ou, tout au moins, de l'un d'entre eux, est plus important que la perte due à une usure plus rapide.

La nature du fluide de circulation est un paramètre extrêmement important. Des recherches ont montré que le meilleur avancement était réalisé en utilisant le gaz ou l'air comme fluide de circulation. L'eau permet également des vitesses de pénétration bien supérieures à celles obtenues avec la boue.

5-2- Les masses-tiges (DRILL-COLLARS)

Il est nécessaire que les tiges de forage au-dessus du trépan soient larges, lourdes et rigides :

- Larges afin d'assurer un bon guidage du trépan et éviter des déviations importantes par rapport à la verticale.
- Lourdes pour limiter le plus possible la longueur de tiges travaillant à la compression et concentrer leur poids le plus près possible du trépan.
- Rigides pour limiter le plus possible les phénomènes de flambage.

5-3- Les tiges de forage (DRILL-PIPES)

Elles constituent, en quelque sorte, des organes de transmission qui donnent au trépan le mouvement de rotation imprimé par la table. Elles doivent être constamment maintenues sous tension. Ce sont des tubes d'acier étirés, sans soudure, filetés mâle à chaque extrémité. Leurs diamètres intérieurs et extérieurs sont fixés par des normes de l'American Petroleum Institute (A.P.I.).

5-4- Les joints de tiges (TOOL-JOINTS)

Lors des premières explorations pétrolières par forage rotary remontant au début du siècle, les tiges étaient assemblées par manchons, ce qui entraînait une usure rapide des filetages des tiges due à de nombreux vissages et dévissages consécutifs. Ceci a donné naissance à l'idée de fabriquer des manchons en deux parties, ces deux parties pouvant s'assembler par l'intermédiaire de filetages coniques à vissage rapide. Tels sont les joints de tiges utilisés actuellement.

5-5- Les tiges d'entraînement(KELLIES)

La tige d'entraînement, entraînée par la table de rotation, est vissée sur le train de tiges de forage auquel elle communique le mouvement de rotation.

On distingue deux types de tiges d'entraînement :

- La tige carrée, qui est de beaucoup la plus courante;
- La tige hexagonale, qui est quelquefois préférée à la tige carrée pour le forage de terrains nécessitant de grandes vitesses de rotation, car elle offre un guidage plus aisé et donne lieu à des vibrations moins importantes.

5-6- Les organes annexes du train de sonde

Ces organes sont :

- Les protecteurs de tiges (protectors)
- Les stabilisateurs de tiges (stabilizers)
- Les aléseurs (reamers)

II-6- CONDUITE DU FORAGE D'UN PUIITS

6-1- Programme de forage et de tubage

On appelle "tubage d'un puits" la descente dans ce puits d'un tube ayant un diamètre légèrement inférieur au trou foré; ce tube est cimenté par la suite dans l'espace annulaire. Les buts du tubage d'un puits sont :

- De maintenir en place les parois pendant le forage du puits ;
- D'isoler entre elles les couches poreuses rencontrées ;
- De permettre éventuellement, en fin de forage, la mise en production du puits.

On appelle programme de forage et de tubage d'un puits l'ensemble des prévisions concernant les diamètres de forage et de tubage, ainsi que les côtes auxquelles interviennent des changements dans ces diamètres.

6-2- Paramètres de forage

Les paramètres de forage sont :

- Le poids sur l'outil
- La vitesse de rotation
- Le débit de circulation
- L'usure du trépan

II-7- CAROTTAGE

On appelle carottage l'opération qui consiste à découper dans le terrain un échantillon cylindrique appelé "carotte". Il n'est pas besoin de souligner l'intérêt que présentent de tels échantillons de terrain pour le géologue (certitude de la côte, possibilité de mesurer les pendages, examens plus aisés des échantillons, etc...) et pour l'ingénieur de production (possibilité de mesurer la porosité, la perméabilité, les saturations, etc...).

Par les précisions qu'il apporte, le carottage permet non seulement d'effectuer un travail de corrélation entre les différents puits forés sur une même structure, mais encore de connaître pour chacun d'entre eux les caractéristiques physiques des roches susceptibles d'être des roches réservoirs.

II-8- CIMENTATION

Après tubage d'une colonne, l'espace annulaire compris entre elle et la paroi du puits est cimenté, soit en totalité, soit en partie.

Les différents buts de la cimentation d'une colonne sont :

- La fermeture des horizons perméables et la séparation de ces différents horizons entre eux;
- La protection de la colonne contre les pressions intérieures et extérieures et contre la corrosion par les agents chimiques (eaux minéralisées);
- L'ancrage de la colonne aux parois du puits;
- La fermeture de l'espace annulaire, dans le cas de la colonne de production.

On conçoit que, pour atteindre de tels buts, le ciment utilisé doit réaliser des conditions optimales de résistance mécanique, de résistance chimique et d'étanchéité. Il doit également réaliser des conditions convenables de temps de prise : il faut que celle-ci soit à la fois suffisamment retardée pour permettre l'achèvement complet de l'opération dans les meilleures conditions et suffisamment rapide pour permettre la reprise des opérations dans les délais les plus courts.

En général, le forage d'un puits est composé des opérations suivantes :

1- Installation de la plateforme support de l'appareil par le service Génie Civil.

2- Alternativement : forage-tubage-carottage-Instrumentation.

II-9- INSTRUMENTATIONS ou opérations de repêchages (fishing jobs).

Pour extraire du puits les tiges de pompage rompues ou dévissées, on utilise des outils de repêchage appropriés à piston et à coins de retenue, des joints de sécurité, des overshots ainsi que des cloches de repêchage. Les tubes de pompage rompus ou dévissées sont retirés du puits par des harpons de repêchage serrant les tubes soit de l'extérieur, soit de l'intérieur, des tarauds, des cloches d'exploitation. Le câble d'acier est retiré du puits par toutes sortes de fourches élastiques, des harpons de différents dispositifs à crochet et autres pièces de repêchage.

II-10- INCIDENTS DE FORAGE

Par incidents de forage on entend la manifestation des phénomènes qui rendent impossible la réalisation du processus d'approfondissement normal. On trouve des incidents mécaniques tels que : les ruptures de l'outil, des éléments du train de sonde et du matériel de surface, ainsi que les coincements du trépan. Outre cela, il y a d'autres incidents qui sont fréquents tels que :

10-1- Absorption de la boue :

Ce type d'incidents est non seulement le plus fréquent, mais aussi l'un des plus pénibles. On appelle absorption le processus d'infiltration de la boue à partir du trou dans la couche, ce qui réduit naturellement le volume de la boue dans le système de circulation, l'absorption de la boue peut être également due à la fracturation hydraulique de la couche, c'est-à-dire à la formation dans la couche de fissures artificielles sous l'action de la pression excessive de la colonne de la boue alourdie.

10-2- Eboulements et écroulements des roches :

Ils sont dus à la perte de stabilité sous l'action de divers facteurs. Les éboulements ont lieu généralement lorsque la série des couches forées est comprimée par des processus tectoniques (fautes directes, inverses, etc...).

Ils se manifestent également dans les forages des argiles feuilletées et autres terrains à couches fines fissurées. Le mécanisme de la formation des écroulements est analogue à celui des éboulements.

Les indices caractéristiques des horizons où les puits subissent un éboulement ou un écroulement sont :

- La présence dans la boue à la sortie sur terrain des fragments de déblais.
- La croissance importante de la viscosité de la boue.
- La pression accrue des boues à la sortie des pompes.
- les coinçages (croissance de brève durée de la charge au crochet) lors de la remontée du train de sonde.
- La présence dans le trou de bouchons constitués de déblais éboulés et écroulés qui imposent le reforage du puits lors de la descente du trépan.

Les éboulements des roches font que le diamètre du trou augmente par rapport à sa valeur nominale (celle de l'outil).

10-3- Rétrécissement des puits : formation des canaux.

Le rétrécissement des trous résulte du fluage des couches plastiques (sels et argiles) sous l'action de la pression de gisement, ainsi que du gonflement des roches sous l'action du filtrat de la boue et le collage aux roches perméables du cake d'argile épais.

Les rétrécissements font croître la pression à la sortie des pompes lors du nettoyage du trou, alors que le détachement d'un cake épais de la paroi du puits rend possible l'obstruction de l'espace annulaire parois-tubage et l'arrêt de la circulation de la boue, ainsi que d'autres incidents.

10-4- Infiltration de gaz, de pétrole ou d'eau:

Dans la pratique, ces infiltrations sont très fréquentes. Leur manifestation est trahie par la pénétration du gaz, de l'huile ou de l'eau de gisement dans le trou. Il arrive que ces infiltrations se transforment en éruptions qui provoquent, non seulement la perte de gaz, de l'huile ou de l'énergie de gisement, mais aussi la pollution de l'environnement.

La cause la plus sérieuse de l'infiltration est la chute de pression dans le puits au-dessous de sa valeur de gisement. Cette chute résulte de la diminution de la densité de la boue, de la baisse de son niveau dans le trou par suite de l'absorption ou lors de la remontée du train de sonde sans ajouter du fluide dans le trou.

III- ANALYSE DE L'ACTIVITE FORAGE (SONATRACH)

L'analyse porte sur quatre années, de 1990 jusqu'à 1993. Elle est basée sur des constatations personnelles faites lors de notre stage d'été (Août 1994) au sein de la compagnie SCHLUMBERGER à Hassi-Messaoud, Hassi-Rmel, Gassi-touil et Djebel-Taktiout (Aures).

Définissons certains termes que nous aurons à utiliser par la suite :

DTM : C'est le Démontage-Transport-Montage d'un appareil de forage.

Une telle opération nécessite :

- Des moyens mécaniques (camions, grues).
- L'approvisionnement de chantier en matières consommables (eau, Fuel Oil Diesel (FOD)).
- L'implantation de la plateforme qui supportera l'appareil sur le nouveau site.

Lorsque ces éléments font défaut, l'opération DTM est arrêtée, on dit alors qu'il y a attente DTM.

Remarque :

Il est important de mentionner que le DTM est à la charge des entreprises de forage (ENAFOR, ENTP).

STAND BY : lorsqu'un appareil de forage n'est pas en activité parce qu'il est en pré montage ou qu'il lui manque une pièce quelconque, on dit qu'il se trouve en stand by.

Généralement, un appareil de forage se trouve en stand by suite aux problèmes suivants :

- Rupture du stock des pièces de rechange au niveau des magasins.
- Irrégularité dans l'approvisionnement des chantiers de forage en matières consommables.
- mauvais entretien des appareils.

REVISION : c'est le fait de réparer un appareil en panne.

Suivant la demande de forage en nombre de puits et en mètres faite par le département planification, la division forage établit un planning d'activité forage prévisionnel tenant compte des contraintes suivantes :

- La demande de forage.
- La performance des appareils.
- La nature géologique des régions de forage.

Dans le cas de champs connus, on procède à un forage développement, par conséquent les puits sont forés avec des vitesses de forage très grandes, ce qui n'est pas le cas pour les champs inconnus.

Les puits programmés durant l'année et dont le forage n'a pas été achevé, seront pris en compte dans le planning de l'année suivante.

A partir d'une analyse des plannings réalisations forage-développement et forage-exploration faite sur les quatre années, nous observons que :

1- généralement les appareils ne se déplacent pas d'une région à une autre, cela est dû d'après les responsables du département Planification, aux coûts de déplacement qui sont assez élevés.

2- Les profondeurs des puits varient de façon remarquable entre les régions, comme nous pouvons le constater à travers le tableau -1 :

région	profondeur
-- HASSI-MESSOUD	entre
-- H-BERKAOU	3000 m et 4000m
-- RHOUE EL BEGHEL	
-- RHOUD ENNOUS	entre
-- GASSI-TOUIL, STAH	2000 et 3000 m
-- HASSI R'MEL, AIN SALAH	
-- TINFOUYE TABANKOURT	entre 2000 et 2200m
-- AIN -AMENAS	entre 500 et 2500m

Tableau-1

Profondeurs par région

- 3- Durant les 4 années considérées, il y a 7 appareils sur 48 qui partent en work over.
- 4- Pendant la même période, il y a eu deux appareils qui sont passés en révision.
- 5- Chaque appareil est en activité en moyenne 75% du temps.

NATURE DU PROBLEME:

Après analyse de l'activité forage, nous avons constaté que l'une des causes de la non-réalisation des programmes de forage est celle des affectations (affectations des appareils de forage vers les puits d'hydrocarbures) qui sont faites de façon manuelle. Il faut donc élaboré un programme de forage dans lequel nous devons avoir les itinéraires de tous les appareils de forage et leurs durées de séjour sur les chantiers ainsi que les dates de commencement des travaux, sous la condition que tous les puits doivent être forés avant un certain temps fixé au préalable. Ce qui nous amène à considérer le problème comme étant un problème de tournées avec fenêtres horaires où celles-ci seront les mêmes pour chaque puits (de 0 à T, T: période de planification).

CHAPITRE II.

ETAT DE L'ART POUR LES PROBLEMES DE TOURNEES AVEC CONTRAINTES DE FENETRES DE TEMPS

1- INTRODUCTION

L'objet de ce chapitre est de fournir un état de l'art dans le domaine des tournées de véhicules avec fenêtres de temps, car notre problème, comme précédemment cité dans le chapitre III est un problème d'affectation avec fenêtres de temps. Cet état de l'art présente un problème qui consiste à optimiser la gestion d'une flotte hétérogène de capacité finie, domiciliée dans un même dépôt, et visitant un ensemble de clients ayant une demande (ou une offre, mais pas les deux à la fois) connue. Les visites ne sont autorisées que dans des intervalles horaires (fenêtres de temps) connus à l'avance.

Ce problème est désigné par le PTVFT (Problème de Tournées de Véhicules avec Fenêtres de temps), qui est le nom générique le plus fréquemment utilisé dans la littérature scientifique. De même, pour le PTV (Problème de Tournées de Véhicules) dans le cas où les fenêtres de temps ont une largeur infinie.

L'utilisation des modèles mathématiques d'optimisation des tournées de véhicules a été l'un des plus beaux succès de la Recherche Opérationnelle au cours de la dernière décade. Une fructueuse collaboration entre les spécialistes de la Programmation Mathématique et de l'Optimisation Combinatoire d'une part, et les praticiens d'autre part, s'est traduite par un nombre impressionnant d'implantations réussies de systèmes informatiques d'optimisation des tournées de véhicules (Golden et Assad, 1988).

L'intérêt du recours aux méthodes de la Recherche Opérationnelle pour l'optimisation des activités de transport, est motivé par le fait que l'une des principales préoccupations des entreprises industrielles est d'améliorer l'efficacité de leurs chaînes logistiques, pour pouvoir organiser au moindre coût et au meilleur service rendu, la continuité de la fluidité de l'écoulement de la marchandise. Cet intérêt est justifié par l'importance des coûts de distribution. Selon une étude citée par Keymolen (1988), dans de

nombreuses entreprises ces coûts représentent environ 30% du chiffre d'affaires. Cette somme est très importante, et représente souvent une charge extrêmement lourde pour des entreprises relevant de presque tous les secteurs industriels. Bodin et al. (1983) estiment les coûts annuels de distribution à 400 milliards de dollars, rien que dans un seul pays, à savoir les Etats-Unis.

Outre leur intérêt pratique, les modèles de tournées de véhicules ont été également appliqués à d'autres domaines n'ayant apparemment aucun rapport avec la gestion des véhicules. Des applications effectives ont eu lieu en ordonnancement d'atelier, où certaines situations peuvent être modélisées d'une manière identique à celle des problèmes de tournées. Ainsi, à titre d'exemple, le problème de recherche de séquences optimales de production sur plusieurs machines parallèles avec des coûts de lancement variables a été résolu par Parker et al (1977) à l'aide d'un algorithme de résolution des problèmes de tournées. De même, des problèmes de fabrication d'horaires de travail (Desrochers, 1988), ou d'optimisation des réseaux de télécommunication (Sanso et al., 1988) ont été également résolus par des algorithmes conçus à l'origine pour le traitement des problèmes de tournées.

Les modèles d'optimisation des tournées de véhicules ont également une importance théorique fondamentale. Le modèle de base est appelé "Problème du voyageur de commerce", il consiste à trouver la tournée optimale d'un commis voyageur de commerce désirant visiter un ensemble de clients (le nom original de ce problème serait dû probablement à A.W. Tucker, et daterait depuis le début des années 30; voir à ce propos le premier chapitre de l'ouvrage de Lawler et al., 1985).

Ce problème se trouve au coeur même d'une importante branche des mathématiques, qui est l'Optimisation Combinatoire (Christofides et al., 1979).

La recherche de méthodes efficaces de résolution des problèmes de tournées de véhicules, a été à l'origine d'importants développements en Programmation Mathématique en général, et en Optimisation Combinatoire en particulier, par la mise au point, l'analyse, et l'implantation d'algorithmes et d'heuristiques de plus en plus performants, pour résoudre des problèmes toujours plus complexes. Ainsi, à titre d'exemple, un système d'optimisation de la distribution des gaz industriels résoud couramment les programmes mathématiques en variables mixtes, contenant jusqu'à 800000 variables et 200000 contraintes. Les solutions proposées sont souvent très

proches de l'optimum. L'utilisation de ce système a permis une économie des coûts d'opérations de 6 à 10% (Bell et al., 1983).

Dans le présent chapitre, nous citons le problème de tournées avec fenêtres de temps. Cette terminologie désigne le cas où les visites aux clients (ou aux fournisseurs) ne sont autorisées que dans des intervalles horaires précis. Ce type de situations est fréquent par exemple dans le cas de la distribution aux hypermarchés, lesquels traitent en général avec plusieurs milliers de fournisseurs différents, et sont obligés d'imposer l'heure de livraison des commandes, pour pouvoir préparer correctement la réception des marchandises.

Les premiers travaux relatifs au PTVFT datent de la fin des années 1960, et se limitaient à des études de cas résolus par des méthodes heuristiques (Pullen et Webb, 1967, et Knight et Hoffer, 1968).

Une revue exhaustive des problèmes de tournées de véhicules est donnée par Bodin et al. (1983). Nous pourrions également nous référer à l'ouvrage de Golden et Assad (1988). Magnanti (1981) donne les principales formulations de base et les algorithmes de résolution des problèmes de tournées. Laporte et Norbert (1987) font le point sur les algorithmes exacts permettant la résolution du PTV, Solomon et Desrosiers (1988) font une revue de plusieurs problèmes de tournées (et d'autres problèmes d'optimisation) avec fenêtres de temps, et Desrochers et al. (1988) présentent également une revue des méthodes d'optimisation et d'approximation de divers problèmes de tournées avec fenêtres de temps.

2- FORMULATION MATHÉMATIQUE DU PTVFT

Les principales formulations de base du PTVFT sont les suivantes :

- 1- Problème de partitionnement,
- 2- Problème d'affectation généralisé,
- 3- Problème de flot.

2-1) Problème de partitionnement

Cette formulation traduit l'affectation optimale des clients à l'ensemble des tournées réalisables. Une tournée étant dite réalisable si elle satisfait aussi bien les contraintes de capacité que les contraintes horaires.

2-2) Problème d'affectation généralisé

Le PTVFT peut être vu comme constitué de deux sous-problèmes. Il s'agit d'une part de déterminer l'affectation optimale des clients aux véhicules, et d'autre part de déterminer la tournée optimale de chaque véhicule. Fisher et Jaikumar (1978) utilisent une formulation qui laisse apparaître ces deux composantes principales.

2-3) Problème de flot (PF)

Nous allons présenter cette formulation de façon détaillée.

Cette formulation prend en considération une flotte de K véhicules domiciliés dans un même dépôt. Un véhicule k est caractérisé par une capacité maximale D_k , et par un coût fixe F_k , s'il est utilisé.

Ces véhicules doivent visiter n clients à partir du dépôt et y retourner. Nous attribuons au dépôt l'indice 0 et au reste des clients les indices $1, \dots, n$.

Un client i est caractérisé par sa localisation, sa demande (ou son offre) d_i , l'intervalle de temps $[a_i, b_i]$ pendant lequel il peut être visité, et par la durée du déchargement (ou chargement) u_i chez ce client. La durée nécessaire pour parcourir le plus court chemin entre les clients i et j est t_{ij} et le coût de ce parcours est c_{ijk} .

Le problème de tournées avec contraintes horaires peut être formulé comme un problème de flot avec des contraintes additionnelles. Deux types de variables sont utilisées dans la formulation mathématique :

X_{ijk} : variable binaire qui vaut 1 si le véhicule k visite le client j à la suite du client i , sinon 0.

t_i : variable de temps, définie pour i ($i = 1, \dots, n$), cette variable indique le temps de début d'opération (chargement/déchargement) chez le client i .

Le problème est alors formulé de la manière suivante [Réf - 14] :

$$\text{Min } \sum_{j=1}^n \sum_K F_k X_{0jk} + \sum_K \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ijk} X_{ijk} \quad (1)$$

sous les contraintes :

$$\sum_K \sum_{j=0}^n X_{ijk} = 1, \quad i = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{j=0}^n X_{ijk} = \sum_{j=0}^n X_{jik}, \quad i = 1, \dots, n, \quad k = 1, \dots, K \quad (3)$$

$$d_i \left(\sum_{j=0}^n X_{ijk} \right) \leq D_k, \quad k = 1, \dots, K \quad (4)$$

$$X_{ijk} = 1 \Rightarrow t_i + u_i + t_{ij} \leq t_j, \quad i, j = 1, \dots, n, \quad k = 1, \dots, K \quad (5)$$

$$a_i \leq t_i \leq b_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (6)$$

$$X_{ijk} = 0 \text{ ou } 1, \quad i, j = 0, \dots, n, \quad k = 1, \dots, K. \quad (7)$$

Le premier terme de la fonction objectif (1) correspond aux coûts fixes des véhicules, le second correspond aux coûts de déplacement. Les contraintes (2) et (3) indiquent que chaque client doit être visité exactement une fois, et par un même véhicule. La contrainte (4) indique que la capacité d'un véhicule ne peut être dépassée. Les contraintes (5) et (6) sont les contraintes de fenêtres de temps. La contrainte (7) est la contrainte d'intégrité.

La contrainte (5) peut être remplacée par la contrainte linéaire suivante :

$$t_i + u_i + t_{ij} - t_j \leq M_{ij} \left(1 - \sum_K X_{ijk} \right) \quad (8)$$

avec

$$M_{ij} = b_j + u_i + t_{ij} - a_j.$$

Sans les contraintes (6) et (8), la formulation obtenue serait celle du PTV classique, sans les contraintes d'élimination des sous-tours.

Dans la formulation (PF), la contrainte (8) agit comme une contrainte d'élimination des sous-tours, puisque si j est un successeur de i alors $t_i < t_j$, et on ne peut par conséquent avoir des sous-tours.

Remarquons que dans le cas particulier où $a_i = 0$, $b_i = n-1$, $u_i = 0$ et $t_{ij} = 1$, pour tout i et j , la contrainte (8) devient :

$$t_i - t_j + n \sum_k X_{ijk} \leq n-1, \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (9)$$

Nous retrouvons ainsi la contrainte d'élimination des sous-tours utilisée par Christofides et al. (1981) pour le PTV, et qui dérive de celle proposée par Miller, Tucker et Zemlin (1960), pour le problème du voyageur de commerce.

Ces contraintes ont été améliorées par Desrochers et Laporte (1989).

3- METHODES DE RESOLUTION

3-1) Algorithmes exacts

Le PTVFT appartient à la grande famille des problèmes NP-durs par analogie avec le problème classique des m voyageurs de commerce (m-PVC).

Il s'agit d'un problème particulièrement difficile à résoudre d'une manière exacte puisque même si la flotte de véhicules est connue, Savelsbergh (1985) montre que le problème qui consiste à trouver une solution réalisable est lui-même NP-dur. Ceci explique peut être le fait que le PTVFT a reçu bien moins d'attention que le PTV pour lequel il existe maintenant un certain nombre d'algorithmes optimaux (voir à ce propos Laporte et Norbert, 1987). Néanmoins, il existe certaines méthodes de résolution du même problème mais sans contraintes de capacité. Ce problème est connu dans la littérature comme celui des m voyageurs de commerce avec fenêtres de temps (m-PVCFT).

La majorité de ces algorithmes ont été développés pour optimiser le transport scolaire.

Nous allons passer en revue les algorithmes qui permettent de résoudre d'une manière exacte le m-PVCFT et le PTVFT.

3-1-1) Problème sans contraintes de capacité

Tous les algorithmes optimaux proposés pour résoudre le m-PVCFT sont basés sur la procédure de séparation et d'évaluation progressives. Ils diffèrent par les techniques utilisées pour le calcul d'une borne inférieure de la solution optimale du problème, et par les stratégies de branchement aux différents noeuds de l'arbre de résolution.

Les différentes bornes inférieures obtenues sont la solution de diverses relaxations du problème initial. Trois types d'approches ont ainsi été mises en oeuvre : résolution du problème de partitionnement par la programmation linéaire généralisée, relaxation des contraintes de fenêtres de temps, et relaxation lagrangienne.

A) Résolution du m-PVCFT par la programmation linéaire généralisée

Cet algorithme a été mis en oeuvre par Desrosiers et al. (1984) pour résoudre le problème de ramassage scolaire. La résolution d'un tel problème peut être faite en utilisant un algorithme de génération de colonnes. Cette méthode ne diffère de l'algorithme classique du simplexe que par le mode de sélection de la variable entrant dans la base : ce choix se fait non pas par énumération complète de toutes les variables hors base et calcul de leurs coûts marginaux, mais grâce à une procédure permettant de déterminer directement la variable de coût marginal minimal (Lasdon, 1970 ; Minoux, 1983).

B) Relaxation des fenêtres de temps

En relaxant les contraintes horaires, nous obtenons un problème de flot à coût minimum. Le graphe considéré est $G = (X, A)$ où X est constitué par l'ensemble des clients et par deux noeuds supplémentaires s et t , représentant respectivement la sortie et l'entrée du dépôt. Un arc (i, j) appartient à A si la relation suivante est vérifiée :

$$a_i + \mu_i + t_{ij} \leq b_j.$$

La solution du problème de flot constitue une borne inférieure de la solution optimale, et peut donc être insérée dans une procédure de séparation et d'évaluation progressives. Des branchements sont effectués pour assurer la réalisabilité des contraintes horaires et assurer l'élimination des sous-tours. Desrosiers et al (1986), ont appliqué cette relaxation pour résoudre un problème de transport scolaire.

C) Relaxation lagrangienne

Les techniques de relaxation lagrangienne sont d'utilisation très courante en optimisation combinatoire (Fisher, 1981). De nombreux problèmes de tournées de véhicules peuvent être efficacement résolus par ces techniques

(Fisher, 1987). Desrosiers et al. (1988) les ont utilisées pour résoudre le problème de transport scolaire. Leurs tests théoriques montrent que cette technique donne des bornes inférieures meilleures que les autres. Cette relaxation a été utilisée pour déterminer la taille optimale de la flotte de véhicules, et a permis la résolution de problèmes de grande taille où le nombre de points à visiter atteint 223.

3-1-2) Problèmes avec contraintes de capacité

Dans ce qui suit, nous essayerons de décrire les différentes approches qui ont été mises en oeuvre pour résoudre le PTVFT jusqu'à l'optimalité. Il s'agit de la programmation dynamique, la décomposition lagrangienne et la programmation linéaire généralisée.

A) Résolution du PTVFT par la programmation linéaire généralisée

Haouari et Dejax (1988) ont formulé le PTVFT en tant que problème de partitionnement, et l'ont résolu par un algorithme de séparation et évaluation progressives.

B) Programmation dynamique et relaxation de l'espace d'états

Il est parfaitement connu que seul un très petit nombre de problèmes d'optimisation combinatoire peut être résolu par la programmation dynamique. L'explosion du nombre d'états rend l'utilisation de cette technique prohibitive en temps de calcul. La relaxation de l'espace d'états est une méthode efficace de réduction du nombre d'états.

Cette technique a été introduite par Christofides et al. (1981), elle fournit une borne inférieure de la solution optimale. Cette borne peut alors être utilisée dans une procédure de séparation et évaluation progressives. Kolen et al. (1987) ont appliqué la méthode de relaxation de l'espace d'états pour résoudre le PTVFT.

C) Décomposition lagrangienne

Plusieurs programmes mathématiques discrets contiennent des sous-structures spéciales. Il est possible d'introduire dans ces problèmes une structure décomposable en remplaçant les variables initiales par des copies dans chacun des sous-ensembles de contraintes sauf un, et de dualiser les conditions d'identité entre originaux et copies. Ainsi, l'on décompose le

problème initial en autant de sous-problèmes qu'il y a de sous-structures. Ce type d'approche, appelé décomposition lagrangienne, a été étudié pour la première fois par Minoux (1987). Jorsten et al. (1986) ont utilisé la décomposition lagrangienne pour résoudre le PTVFT.

3-2) Heuristiques

3-2-1) Heuristiques basées sur la programmation mathématique

Dans ce type de méthodes, on simplifie le programme mathématique initial pour pouvoir le résoudre aisément (Ball et Magazine, 1981). La grande efficacité de l'heuristique proposée par Fisher et Jaikumar (1981) pour résoudre le PTV montre que ce type d'approche peut être très utile. Plusieurs auteurs l'ont utilisée pour dériver des heuristiques pouvant traiter les contraintes de fenêtre de temps.

La difficulté de résoudre le problème de tournées avec fenêtres de temps est essentiellement due au fait que la formulation mathématique de base (problème de flot) fait intervenir des variables continues et des variables discrètes.

Une méthode approchée de résolution consiste à discrétiser les intervalles de temps et à associer à chaque variable horaire t_i un ensemble de variables binaires indiquant la période où le point i sera visité.

Le programme ainsi obtenu est linéaire et en nombres entiers. Cette approche a été utilisée pour résoudre le m-PVCFT. Levin (1971) a utilisé cette heuristique en transport aérien, Gertsbakh et Stern (1978) l'ont utilisée en ordonnancement d'atelier.

Le second type d'heuristiques basées sur la programmation mathématique, consiste en une adaptation de l'heuristique en deux phases de Fisher et Jaikumar (1981).

3-2-2) Généralisation des heuristiques du PTV

De nombreuses heuristiques ont été conçues pour résoudre les problèmes de tournées sans contraintes horaires. Ces heuristiques sont revues de manière exhaustive par Bodin et al. (1983).

D'un point de vue pratique, ces heuristiques sont très intéressantes car elles utilisent des concepts souvent simples et faciles à mettre en oeuvre.

D'autre part, elles permettent la prise en compte de contraintes additionnelles (flotte hétérogène, limite de capacité, etc.) qui enrichissent le modèle

employé et fournissent des solutions qui soient à la fois réalistes et économiquement satisfaisantes.

Solomon (1987) a généralisé plusieurs parmi ces heuristiques pour résoudre le PTVFT.

A- L'heuristique de Clark et Wright (1964).

Dans sa forme de base cette heuristique est initialisée avec n véhicules visitant chaque client. A chaque nouvelle itération, on calcule l'économie qui résulte de la liaison de deux clients terminaux (en fin de route), et on relie la paire de routes qui réalise l'économie maximale. Le processus est réitéré jusqu'à ce qu'aucune amélioration ne soit possible.

Cette heuristique est adaptée au PTVFT en vérifiant avant chaque liaison si les contraintes horaires sont satisfaites.

B- L'heuristique du plus proche voisin.

Cette heuristique initialise une route par client le plus proche du dépôt, non encore desservi par aucun véhicule. A chaque itération, on inclut dans la route courante le client le plus proche non encore desservi. Dès que la capacité limite est atteinte, une nouvelle route est initialisée.

Dans le problème avec fenêtres de temps, la mesure utilisée pour évaluer la "distance" est à deux dimensions : spatiale et temporelle.

C- L'heuristique d'insertion

Il s'agit d'une généralisation aux contraintes horaires de l'heuristique de Mole et Jameson (1976). Elle ne diffère de l'heuristique du plus proche voisin que par le fait qu'un nouveau client n'est pas systématiquement rattaché à l'une des extrémités d'une route, mais qu'il peut être inséré entre deux clients déjà desservis.

D- L'heuristique de Gillet et Miller (1974).

Cette heuristique est plus représentative des procédures qui accordent la priorité au regroupement avant la confection des tournées (cluster first, route second).

Elle consiste à effectuer un balayage rotatif autour du dépôt, pris comme pivot. Chaque client rencontré est affecté à la tournée en cours de

construction. Dès que la contrainte de capacité est violée, une nouvelle tournée est initialisée.

4- CONCLUSION

Arrivés à la fin de ce chapitre sur l'état de l'art des problèmes de tournées avec fenêtres de temps, nous pouvons nous rendre compte à quel point les recherches évoluent rapidement dans ce domaine. En effet, au début des années 1980, il n'existait pratiquement aucune méthode permettant de résoudre ces problèmes. Cependant, de nombreuses questions restent ouvertes, l'une des plus importantes consiste à savoir s'il est possible de concevoir un algorithme optimal permettant de résoudre efficacement des problèmes faiblement contraints (i. e. avec des fenêtres de temps relativement larges). La technique de génération de colonnes n'ayant permis de résoudre que des problèmes fortement contraints.

CHAPITRE III

MODELISATION

1- PROBLEME

Le problème posé au niveau de la division forage est de ne pas pouvoir réaliser le forage des puits programmés, ceci étant dû au fait que:

- Les programmes prévisionnels de forage sont élaborés manuellement et de manière empirique.
- Le Démontage-Transport-Montage (DTM) pour un certain nombre d'appareils consomme des ressources importantes à cause d'une mauvaise affectation.

Il s'agira pour nous de présenter une méthodologie d'approche aboutissant à l'élaboration d'un modèle d'affectation optimale des appareils de forage. Ce modèle nous permettra de déterminer le nombre de puits qu'il faudra affecter à chaque appareil durant une année d'activité, ainsi que les dates d'affectation et les trajets que doit effectuer chaque appareil.

2- CONTRAINTES REELLES

L'activité forage est caractérisé par ce qui suit :

- Existence de quatre types d'appareils : légers, moyens, lourds et super-lourds.
- Diversité de l'origine des appareils (voir en annexe le tableau "classification des appareils de forage").
- Différence de performances entre les appareils (même s'ils sont de même origine).
- Age des appareils.
- Nature des puits à forer
 - 1) * Puits producteurs de gaz.
 - * Puits producteurs d'huile.
 - * Puits producteurs d'eau..

2) * Puits verticaux.

* Puits horizontaux

-Type de forage

* Forage développement : forage sur des terrains connus.

* Forage exploration : forage sur des terrains inconnus.

* Work-over : reforage des puits déjà en exploitation pour une augmentation de la production.

-Nature du sol : les durées de forage (les vitesses d'avancement) dépendent de la nature du sol à traverser.

-Possibilité d'accès aux puits : pistes existantes ou inexistantes, ce qui joue un rôle très important sur la durée de DTM et même sur la durée de forage lorsque l'approvisionnement en eau se fait par des camions citernes.

-Complications techniques : apparaissent sur des terrains inconnus, ce qui augmente la durée de forage.

-Conditions climatiques (les vents de sable par exemple).

-Durée de réparation des appareils en cas de panne.

-Retard de l'un des fournisseurs (boue, diagraphie, FOD...) qui se répercute sur les autres opérations.

-Implantation de la plateforme : le forage ne peut avoir lieu si la plateforme n'a pas été mise en place.

-Disponibilité en eau : existence de trois alternatives qui sont :

1-Forage d'un puits d'eau sur place.

2-Approvisionnement par "PIPES".

3-Approvisionnement par camions citernes.

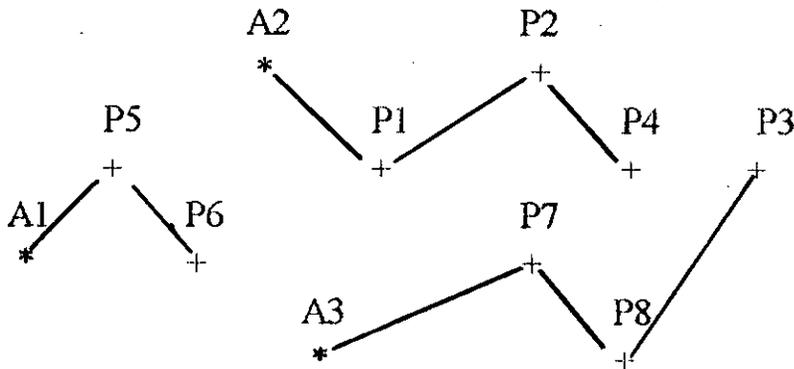
3-FORMULATION ET METHODOLOGIE

3-1-INTRODUCTION

La division forage de l'unité Production étant chargée d'affecter et de gérer les appareils de forage appartenant aux entreprises (ENFOR- ENTP), afin de maximiser le nombre de puits forés, il s'agira pour nous de choisir l'affectation optimale de ces appareils.

Pour plus d'explications, nous représenterons le système d'affectation des appareils de forage vers les puits par un ensemble de (*, +) représentant

deux types d'entités, les symboles "+" et "*" représentent les puits et les appareils respectivement.



exemple d'affectation

- Exemple : L'appareil A1 fore les puits P5 et P6 respectivement.

On peut ainsi définir un réseau (d'affectation) dont les sommets sont les entités décrites ci-dessus et les arêtes sont les tronçons de route qui les relie.

En fait, il s'agit d'un problème d'optimisation tenant compte :

- de la localisation géographique des puits et des appareils.
- de la profondeur de chaque puits.
- des distances entre les puits.
- des distances entre les puits et les appareils.
- des types d'appareils disponibles (flotte hétérogène).
- de la période sur laquelle portera l'étude (nous considérons une année d'activité).
- de l'adaptation entre appareils et puits : un appareil léger affecté vers un puits de grande profondeur (cas irréalisable), ou un appareil de type lourd affecté vers un puits de faible profondeur (dépenses supplémentaires en raison du coût élevé de l'utilisation d'un appareil lourd par rapport à un appareil léger).

3-2-FORMULATION DU PROBLEME

L'objectif de l'établissement d'accueil (SONATRACH) est de pouvoir augmenter la productivité des hydrocarbures, et cela ne peut se faire sans l'augmentation du nombre de puits producteurs.

Cependant, il existe plusieurs alternatives pour pouvoir réaliser cet objectif et qui sont les suivantes :

- 1-Agrandissement de la flotte par l'achat de nouveaux appareils de forage.
- 2-Optimisation du processus de forage.
- 3-Optimisation du DTM (démontage-transport-montage) des appareils.

3-2-1- Discussion des alternatives :

1- Nous ne pouvons pas retenir la première alternative, car l'achat d'un appareil coûte très cher, et il serait plus logique d'essayer de résoudre le problème avec les moyens disponibles.

L'acquisition de nouveaux appareils ne rend pas l'optimisation de leur utilisation superflue. Bien au contraire, la flotte devenant plus importante, il conviendra de la suivre de manière plus rigoureuse afin d'en accroître la productivité, et d'en minimiser les coûts d'exploitation.

2- L'optimisation du processus de forage constitue elle-même un vaste sujet de recherche (thèse de doctorat de Monsieur FAY intitulée "Identification, Simulation et Optimisation du processus de forage", FAY, 1974).

3- Notre étude portera principalement sur l'optimisation du transport des appareils de forage.

3-2-2- Différents objectifs

Nous citons ci-dessous les différents objectifs qui pourraient susciter l'intérêt des responsables de SONATRACH, et nous donnerons par la suite la formulation des modèles correspondant à chaque objectif.

A- Minimisation de la distance totale à parcourir

Dans cette optique, l'objectif sera de minimiser la distance parcourue par tous les appareils de forage pour satisfaire une certaine demande.

La minimisation des distances équivaut à la minimisation des coûts de déplacement car ces derniers sont proportionnels aux distances parcourues par les appareils de forage. Par conséquent, les coûts d'activité qui sont relatifs à la durée d'activité de chaque type d'appareil sur les chantiers de forage ne seront pas pris en compte.

B- Minimisation des coûts (coûts d'activité et de déplacement)

Dans ce cas, l'objectif serait de minimiser les coûts de déplacement et les coûts d'immobilisation des appareils simultanément pour satisfaire une certaine demande.

Cet objectif est complémentaire à celui cité précédemment car la distance en elle même peut représenter un coût, mais nous éviterons d'affecter des appareils à des puits qui ne leur correspondent pas pour éviter d'avoir des coûts supplémentaires.

C- Maximisation du nombre de puits à forer

Dans ce cas, nous supposons le nombre de puits à forer comme étant une variable à optimiser.

Pour aboutir à un résultat significatif, il faut avoir un nombre de puits potentiels suffisamment élevé, car si nous considérons un certain nombre de puits et que nous nous retrouvons dans un cas de disponibilité en appareils de forage après satisfaction de la demande et que nous nous décidons de réaffecter les appareils disponibles vers des puits supplémentaires la solution serait moins bonne que si nous considérons tous les puits simultanément.

Il est clair qu'un puits de pétrole ou de gaz rapporte beaucoup plus que ce qu'il pourrait consommer en matière de ressources financières, donc l'on pourrait opter à priori pour cet objectif, mais le problème est que la localisation des puits potentiels nécessite plusieurs recherches géophysiques

et que l'aménagement des puits (pistes, plateformes,..) prend beaucoup de temps dans la pratique.

Notons que la maximisation du nombre de puits est limitée par le budget alloué à l'activité forage.

D- Optimisation hybride

Dans ce modèle, nous allons regrouper les différents objectifs préalablement cités. Le nombre de puits à forer ne sera plus fixé par la SONATRACH car le fait de fixer la demande de façon empirique peut biaiser la solution, donc le nombre de puits à forer sera porté sur un nombre plus important (nombre de puits potentiel).

E- Choix d'investissement

Nous pouvons également voir le problème sous un autre angle qui est celui du choix d'investissement, c'est-à-dire sélectionner certains puits parmi la totalité des puits à forer. La sélection sera basée sur des estimations des coûts et des revenus de chaque puit.

A- PREMIER MODELE

Minimisation de la distance totale à parcourir

Dans ce modèle, l'objectif retenu consistera à minimiser la distance totale parcourue par tous les appareils. Pour cela nous émettons les hypothèses suivantes :

A-1- HYPOTHESES

Vu le grand nombre de contraintes réelles d'une part et la difficulté de quantifier rigoureusement les différents facteurs impliqués dans l'activité forage (âge des appareils, efficacité des équipes de forage, retard des fournisseurs, pannes des appareils, complications techniques,...) d'autre part, nous sommes contraints à ne prendre en considération, tout au moins dans une première étape, que les facteurs quantifiables suivants :

1) Distances entre les puits : nous considérons des distances euclidiennes $\{D_{ij} = [(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2]^{1/2}$ avec X_i, Y_i (resp. X_j, Y_j) : coordonnées du puits i (respectivement du puits j) sur la carte géographique} car il n'y a pas de données concernant les longueurs des routes reliant tous les puits.

Ce choix de distances euclidiennes qui supplée à l'absence de données, est légitimé par le faible écart entre les distances réelles et celles approximées, du fait que la plupart des routes traversant le désert sont quasi-rectilignes.

2) Performance des appareils : la performance des appareils tient compte de leur âge, de l'efficacité des équipages et des différentes opérations que nécessite l'activité forage, tel que le montage-démontage des appareils, le tubage, la cimentation, la diagraphie, etc. Cette performance sera représentée par la vitesse de forage (nombre de mètres forés par jour).

D'après le comportement aléatoire des facteurs cités ci-dessus, la vitesse de forage aura un aspect aléatoire.

3) Types d'appareils : nous sommes dans un cas d'affectation où la flotte est hétérogène (elle contient quatre types d'appareils : super-lourds, lourds, moyens et légers) et où la demande est hétérogène (également quatre classes de puits : très profonds, profonds, moyennement profonds et peu profonds). Il est important de signaler qu'un appareil ne peut forer un puits correspondant à une classe supérieure à la sienne, car plus la profondeur du puits est grande plus le poids du train de sonde est important, chose que ne peut supporter un appareil conçu pour des profondeurs inférieures. La réciproque est fautive car un appareil peut forer un puits correspondant à une classe inférieure à la sienne, cependant le coût d'utilisation serait beaucoup plus élevé.

4) Dans ce modèle, l'objectif est de minimiser la distance totale en satisfaisant la demande qui est représentée par un nombre de puits à forer au cours de la période considérée.

5) Période d'activité : notre étude portera sur une période de durée fixée au préalable. La période d'une année sera retenue car elle correspond à la période de planification considérée actuellement par la SONATRACH.

La possibilité de faire varier cette durée ainsi que d'autres paramètres sont à la base de l'outil d'aide à la décision que nous proposons de concevoir.

6) Nous allons modéliser notre problème d'affectation en nous inspirant du modèle utilisé pour le MTSP en procédant cependant à des modifications afin d'en assurer la compatibilité.

Dans notre problème, nous ne disposons pas de dépôt unique, d'où les appareils doivent sortir et y revenir après un certain temps de service comme pour le MTSP, mais les appareils doivent rester sur les chantiers de forage en attendant des affectations vers d'autres chantiers, sauf en cas de révision générale.

Ceci nous amène à considérer un dépôt fictif et à associer un coût nul pour chaque affectation dépôt-puits, puits-dépôt.

Comme chaque appareil doit se trouver sur le site d'un puits, en début de période, nous affectons d'emblée les appareils aux puits qui sont en cours de forage.

7) Coût de déplacement : les coûts de transport dépendent de la distance à parcourir. Ces coûts sont fixes lorsque cette distance est inférieure à 50 km, et variables dans le cas de distances plus importantes.

Quelle que soit la distance D_{ij} , nous aurons les deux cas suivants :

a) $D_{ij} \leq 50$ km ----- un coût forfaitaire du déplacement de l'appareil k : C_{fk}

b) $D_{ij} > 50$ km ----- un coût CT_{ijk} (coût total) du déplacement l'appareil k défini comme suit:

$CT_{ijk} = C_{fk} + (D_{ij} - 50) \times C_{vk}$ tel que C_{vk} est un coût unitaire de déplacement de l'appareil k (DA/Km).

8) Coûts d'activité : à chaque type d'appareil sera associé un coût unitaire d'utilisation (DA/jour).

Le coût d'utilisation est constitué de :

- Frais de personnel.

- Frais de matières consommables (eau, boue, FOD, électricité, etc).
- Coût des pièces de rechange.
- Coût de location de l'appareil.
- Frais divers.

A-2- VARIABLE DE DÉCISION

Le problème porte sur l'affectation de m appareils vers n puits ($n > m$) et il s'agit ainsi du déplacement de chaque appareil k vers un certain nombre de puits (n_k) donc :

Quelque soit l'appareil k et quelque soit le puits i , nous aurons les deux situations suivantes :

- Il y a une affectation de l'appareil vers le puits.
- Il n'y a pas d'affectation.

Ceci nous amène à définir la variable de décision comme étant une variable binaire.

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si l'appareil } k \text{ qui se trouve sur le site du puits } i \text{ sera affecté} \\ & \text{vers le puits } j. \\ & \text{pour } i, j = 0, \dots, n. \quad k = 1, \dots, m. \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

A-3- PARAMETRES D'ETAT

En début de période, un appareil se trouve dans l'une des situations suivantes :

- L'appareil est sur le site d'un puits et n'a pas achevé l'opération forage.
- L'appareil est en inactivité.

Pour cela, nous définissons un paramètre d'état qui exprime cette contrainte comme suit :

$$Z_k = \begin{cases} 1 & \text{si l'appareil } k \text{ se trouve en état d'activité en début de période.} \\ & \text{pour } k = 1, \dots, m. \\ 0 & \text{dans le cas contraire.} \end{cases}$$

La compatibilité entre les appareils de forage et les puits sera représentée par le paramètre d'état suivant :

$$Y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{si le puits } i \text{ est compatible avec l'appareil } k. \\ & \text{pour } i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m. \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases}$$

A-4- FONCTION OBJECTIF

L'objectif est de minimiser la distance totale parcourue par tous les appareils. Si la variable de décision X_{ijk} prend la valeur 1, l'appareil k devra se déplacer du puits i vers le puits j en parcourant la distance D_{ij} , donc pour minimiser la distance totale parcourue par tous les appareils il faut :

$$\text{Minimiser } \sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n D_{ij} X_{ijk} \quad (1).$$

tel que :

m : nombre d'appareils disponibles.

n : nombre de puits.

A-5- CONTRAINTES

1) Il faut affecter à chaque puits un appareil et un seul, car il ne peut pas y avoir plus d'un appareil pour un même puits.

Ceci peut être assuré par la contrainte suivante :

$$\sum_{k=1}^m \sum_{j=0}^n X_{ijk} = 1 \text{ pour } i = 1, \dots, n. \quad (2).$$

2) Le flux doit être conservé, c'est-à-dire que chaque appareil affecté à un puits doit en ressortir, est assurée par la contrainte suivante :

$$\sum_{j=0}^n X_{ijk} = \sum_{j=0}^n X_{jik} \text{ pour } i = 1, \dots, n \text{ et } k = 1, \dots, m \quad (3).$$

3) Il s'agit d'élaborer un planning de forage pouvant être réalisé dans la période considérée ($T =$ une année), donc chaque appareil doit être affecté successivement à un certain nombre de puits pendant un intervalle de temps ne pouvant excéder T .

Chaque affectation d'un appareil, d'un puits à un autre, demande un certain temps qui peut être décomposé en deux parties :

a) Temps d'activité de l'appareil sur le site du puits, qui peut être calculé de la façon suivante :

soit F_j la profondeur estimée du puits j et soit VF_k la vitesse moyenne de forage de l'appareil k , donc le temps d'activité est défini par :

$$TF_{jk} = F_j / VF_k.$$

b) Temps de déplacement de l'appareil k du site i au site j , qui peut être calculé comme suit :

soit D_{ij} la distance entre le puits i et le puits j et soit VD_k la vitesse moyenne de déplacement de l'appareil k qui se trouve sur le site i , donc le temps de déplacement est défini par :

$$TD_{ijk} = D_{ij} / VD_k.$$

+ Nous définissons un temps complémentaire dans le cas où l'appareil travaille en début de période comme suit :

$$TF''_{jk} = F''_j / VF_k$$

où F''_{jk} est la profondeur du puits j restant à forer ayant été entamé durant l'année précédente (information recueillie au début de chaque année).

Comme chaque appareil passe par un certain nombre de puits, la contrainte temps sera comme suit :

$$\sum_{i \in \Omega} \sum_{j \in \Omega} [TD_{ijk} + TF_{jk}] X_{ijk} + TF''_{jk} Z_k \leq T \quad \text{pour } k = 1, \dots, m.$$

Autrement dit

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n [(D_{ij} / VD_k) + (F_j / VF_k)] X_{ijk} + (F_{jk}'' / VF_k) Z_k \leq T$$

pour $k = 1, \dots, m.$ (4).

4) La contrainte qui interdit la formation des sous-tours : c'est-à-dire que nous ne pouvons pas avoir de tournée contenant des puits reliés entre eux sans qu'il ne soient reliés au dépôt.

Cette contrainte s'écrit comme suit :

$$\sum_{i \in R} \sum_{j \in R} X_{ijk} \leq \text{card}(R) - 1 \quad \text{tel } R \subset \{2, \dots, n\}, R \neq \{ \},$$

$k = 1, \dots, m.$ (5).

5) La contrainte de compatibilité entre les appareils et les puits : nous interdirons l'affectation d'appareils vers des puits de classes supérieures, sans interdire l'affectation d'appareils vers des puits de classes inférieures (voir paragraphe : puissance des appareils de forage, § I).

La contrainte s'écrit comme suit :

$$0 \leq X_{ijk} \leq Y_{ik} \cdot Y_{jk} \quad \text{pour } i, j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m. \quad (6).$$

6) Contrainte budgétaire :

Cette contrainte nous permettra de vérifier que les coûts associés aux différentes tâches prévues par le programme de forage ne dépassent pas le budget alloué.

Soit B le budget prévu par la division forage de la SONATRACH pour la réalisation du programme de forage pour l'année considérée.

Cette contrainte s'écrit comme suit :

$$\sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n (CT_{ijk} + C'_{jk}) X_{ijk} \leq B \quad (7).$$

7) La contrainte d'intégrité :

C'est une contrainte qui assure la faisabilité de la solution car les variables de décision doivent être binaires.

$$X_{ijk} \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, \dots, n. \quad k = 1, \dots, m. \quad (8).$$

Le problème s'énonce alors comme suit :

$$\text{Minimiser } \sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n D_{ij} X_{ijk} \quad (1).$$

$$\sum_k \sum_{j=0}^n X_{ijk} = 1 \text{ pour } i = 1, \dots, n. \quad (2).$$

$$\sum_{j=0}^n X_{ijk} = \sum_{j=0}^n X_{jik} \text{ pour } i = 1, \dots, n \text{ et } k = 1, \dots, m \quad (3).$$

$$\sum_i \sum_j [(D_{ij} / VD_k) + (F_j / VF_k)] X_{ijk} + (F''_{jk} / VF_k) Z_k \leq T \quad \text{pour } k = 1, \dots, m. \quad (4).$$

$$\sum_{i \in R} \sum_{j \in R} X_{ijk} \leq \text{card}(R) - 1 \quad \text{tel } R \subset \{2, \dots, n\}, R \neq \{\}, \quad k = 1, \dots, m. \quad (5).$$

$$0 \leq X_{ijk} \leq Y_{ik} \cdot Y_{jk} \quad \text{pour } i, j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m. \quad (6).$$

$$\sum_k \sum_i \sum_j (CT_{ijk} + C'_{jk}) X_{ijk} \leq B \quad (7).$$

$$X_{ijk} \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m. \quad (8).$$

B- DEUXIEME MODELE

Minimisation des coûts

Dans ce modèle, l'objectif retenu consistera à minimiser les coûts de déplacement et d'utilisation des appareils.

En réalité, c'est le même modèle que le précédent mais avec une fonction objectif différente, car nous considérons les mêmes hypothèses, les mêmes paramètres d'état, les mêmes variables de décision et les mêmes contraintes à l'exception de la 7ème qui devient fonction objectif.

Ce changement de fonction objectif vient pallier à une insuffisance qui caractérise le premier modèle que nous explicitons ci-dessous.

En considérant la première formulation, nous aurons une solution qui donne un coût de déplacement minimal, mais nous pourrions avoir des affectations d'appareils lourds vers des puits de faible profondeur à cause de leur proximité, alors que ceux-ci peuvent être forés par des appareils légers plus éloignés avec des coûts plus bas surtout que le coût d'exploitation d'un appareil est beaucoup plus important que son coût de déplacement.

B-1- FONCTION OBJECTIF

L'objectif est de minimiser les coûts de déplacement et d'activité des appareils.

Si la variable de décision X_{ijk} prend la valeur 1, l'appareil k qui se trouve sur le site du puits i devra se déplacer vers le puits j avec un coût de déplacement CT_{ijk} (voir hypothèse (7)) et un coût d'activité C'_{jk} (voir hypothèse (8)).

Donc pour minimiser les coûts, la fonction objectif (1) du premier modèle sera remplacée par la suivante :

$$\text{Minimiser } \sum_k \sum_i \sum_j (CT_{ijk} + C'_{jk}) X_{ijk} \text{ -----(10).}$$

C- TROISIEME MODELE

Maximisation du nombre de puits à forer :

Dans ce modèle, l'objectif est de maximiser le nombre de puits à forer et non plus de satisfaire la demande.

Nous ne traiterons pas ce problème par faute de temps, mais nous donnons quelques directions pour une éventuelle reprise de notre travail.

1-Retenir les mêmes hypothèses que dans le modèle précédent.

2-Considérer lors de la résolution du problème, un nombre de puits potentiels assez important (car plus grand sera le nombre de puits considérés mieux serait la solution).

DEMONSTRATION :

Si nous devons prendre n puits parmi p nous aurons C_p^n combinaisons d'affectations et si nous devons prendre n puits parmi $p+q$ nous aurons

C_{p+q}^n combinaisons d'affectations,

comme $C_p^n / C_{p+q}^n < 1$ (voir démonstration en annexe III).

Le fait de considérer $p+q$ puits potentiels au lieu de p nous donne plus de possibilités d'affectation, donc une meilleure solution.

Cependant, nous ne pouvons pas prendre un nombre infini de puits potentiels car il faut connaître à priori la position et les différentes caractéristiques de chaque puits.

3- La fonction objectif devra être de la forme suivante :

$$\text{Maximiser } \sum_k \sum_i \sum_j X_{ijk} \text{ ----- (20).}$$

D- QUATRIEME MODELE

Modèle hybride :

Dans ce modèle l'objectif sera de minimiser les coûts de déplacement et d'exploitation des appareils de forage en maximisant le nombre de puits à forer.

Dans ce cas, pour la même raison que précédemment, nous ne donnons que des suggestions.

Il est possible d'établir un modèle avec deux fonctions objectif (modèle multi-critères), mais si l'on ne dispose pas d'outils informatiques pouvant résoudre ce genre de problèmes, il serait possible de procéder de la manière suivante :

- La fonction objectif sera de minimiser les coûts.
- La demande ne sera plus fixée par la SONATRACH mais elle sera portée à un nombre de puits potentiels plus important.
- Les affectations seront faites jusqu'à ce qu'il y ait saturation de l'une des deux contraintes temps ou budget.

C'est-à-dire que nous ne parlons pas réellement de la maximisation du nombre de puits à forer mais nous parlons plus exactement d'une augmentation du nombre de puits à forer, jusqu'à épuisement des différentes ressources (temps et budget).

E- CINQUIEME MODELE

Nous ne donnons ici qu'une formulation de base et laissons à d'autres le soin de développer le modèle complet. Celui-ci intégrera, naturellement, l'ensemble des contraintes énumérées auparavant (voir le modèle P).

Ce travail n'a pas été réalisé pour deux bonnes raisons :

- La complexité du modèle mathématique qui en résulterait étant supérieure à celle du modèle élaboré (en effet, il faudra résoudre simultanément un problème de sélection de puits, et un autre d'affectation des appareils de forage vers ces puits), nous serons confrontés aux mêmes problèmes de résolution.

- Le temps imparti à l'étude.

Par ailleurs, il faut bien noter que la mise en oeuvre d'un tel modèle requiert un grand nombre de données, dont certaines sont difficiles et coûteuses à obtenir. En particulier, l'estimation du revenu espéré d'un gisement, qui dépend de nombreux paramètres (réserves prouvées, mode d'exploitation, etc.) n'est pas une chose aisée.

La formulation que nous proposons est la suivante:

$$\text{Max } \sum_{i=1}^n (R_i - C_i) X_i$$

sous les contraintes suivantes :

$$\sum_{i=1}^n C_i X_i \leq B$$

$$X_i \in \{0,1\}.$$

Où i : puits.

R_i : Revenu estimé du puits i .

C_i : Coût estimé du forage du puits i .

X_i : Variable de décision valant 1 si le puits i est choisi, sinon 0.

REMARQUE

Nous pouvons éventuellement rajouter une contrainte assurant le respect des priorités entre les puits, car en réalité il existe des puits prioritaires par rapport à d'autres dans la mesure où certains terrains sont plus faciles à traverser que d'autres ou que l'importance du volume ou de la qualité de la nappe souterraine est plus grande dans certaines régions que dans d'autres, ou pour des raisons d'existence ou d'inexistence de pistes d'accès ou de plateforme de forage.

Dans ce cas les puits seront classés par priorité (priorité établie par des services compétents) et nous ne devons pas forer un puits avant un autre puits le précédant dans le classement.

Cela peut se faire en rajoutant la contrainte suivante :

$$\text{Si } X_{ijk} = 1 \quad \Rightarrow \quad \sum_{k=1}^m \sum_{\ell=1}^j X_{i\ell k} = j \quad \text{pour } j = 1, \dots, n.$$

CHAPITRE IV

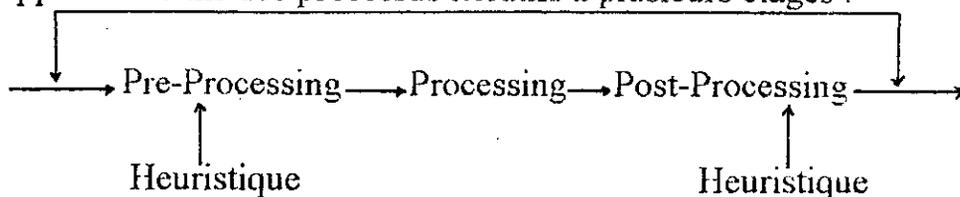
APPROCHE DE RESOLUTION PAR METHODES EXACTES

1- INTRODUCTION

Nous estimons que la résolution et la validation par une méthode exacte est la suite logique de toute modélisation mathématique. D'autant plus que de nos jours, il existe de nouveaux moyens de résolution (outils et supports informatiques) pouvant résoudre des problèmes de grande taille, chose qui était impossible ou du moins difficile à entreprendre par des méthodes exactes. Nous citons par exemple l'utilisation de machines à plusieurs processeurs ce qui permet la résolution de certains problèmes en utilisant la méthode Branch and Bound en explorant chaque branche à part, ce qui donne plusieurs avantages parmi lesquels nous citons les suivants :

- Réduction considérable du temps d'exécution.
- Augmentation de la disponibilité en espace mémoire.

Par ailleurs, le temps de calcul d'une méthode exacte peut souvent être réduit en démarrant d'une bonne solution initiale, ce qui conduit à intégrer de plus en plus ces approches dans des processus itératifs à plusieurs étages :



La rigidité des méthodes exactes découlant directement de la modélisation mathématique ne constitue plus un handicap, puisque le processus à étages décrit ci-dessus et suffisamment souple et ouvert pour autoriser toutes modifications permettant d'en accroître les performances.

Outre l'existence de supports informatiques performants, il existe des outils de résolution par méthode exacte que nous citons ci-dessous.

2- OUTILS DE RESOLUTION

Parmi les principaux "solvers" disponibles sur le marché, nous retiendrons les suivants:

- SUPER GINO (General Interactive Optimizer)
- EUREKA : THE SOLVER
- OPTISOLVE
- MP6-NLPROG
- NLPSOLVER
- GAMS (General Algebraic Modeling System)

2-1- PRESENTATION

A- SUPER GINO

A-1- Fiche technique de la version du 5/9/86.

- Distributeur: LINDO System Inc.
- Mémoire minimum: 512 K.
- Machines: IBM AT avec DOS 3.1, version disponible pour Macintosh.
- Type de problèmes : Problèmes généraux (GP) et équations non linéaires simultanées (SN).

- Dimension maximale: 50 lignes et 100 colonnes.
- Algorithme utilisé: GRG2 de LADSON et WAREN.

A-2- Avantages

- Disponibilité des versions éducative et professionnelle.
- Capacité d'importer des modèles créés par des éditeurs de texte comme EDLIN.
- Production d'un écho visible du modèle i.e. : l'utilisateur peut appeler un modèle après l'avoir sauvegardé et le revoir directement sur l'écran.
- Facilité d'ajouter ou de supprimer une contrainte.

- Autorisation à l'utilisateur de spécifier des points de départ faisables ou non faisables.
- Formulation du modèle sous sa forme naturelle (facilité en programmation).

A-3- Inconvénients

- L'utilisateur a un contrôle limité sur l'apparence du rapport final et/ou sur la somme des informations que contient ce rapport.

B- EUREKA : THE SOLVER

B-1- Fiche technique de la version 1.0

- Distributeur : Borland international.
- Mémoire minimum : 384 K.
- Type de problèmes : GP et SN.
- Machines : IBM AT avec DOS 3.1, version disponible pour Macintosh.
- Dimensions maximales: 20 lignes et 20 colonnes.
- Algorithme utilisé: Variables métriques.

B-2- Avantages

- EUREKA contient un large champ d'autres outils puissants pour tracer les graphes de fonctions directement sur écran, trouver les zéros d'une dérivée, calculer une intégrale définie, résoudre une équation de racine complexe et générer un rapport qui contient les données du problème, la solution et les schémas des fonctions.
- EUREKA accepte les inputs en code ASCII.
- Comme SUPER GINO, il produit un écho visible du modèle.
- EUREKA peut utiliser l'éditeur WORDSTAR: il lui est donc facile de copier, insérer, déplacer ou supprimer un bloc de texte.
- Production d'un rapport final détaillé.
- Formulation du modèle dans sa forme naturelle

B-3- Inconvénients

- Dimensionnement insuffisant pour les problèmes de grande taille.
- L'utilisateur a un contrôle limité sur l'apparence du rapport final et/ou de la somme des informations que contient ce rapport.

C- OPTISOLVE

C-1 Fiche technique de la version 1.00.

- Distributeur: Optisoft.
- Mémoire minimum: 128K.
- Machine: IBM AT avec DOS 3.1.
- Type de problèmes: GP, SN.
- Dimensions maximales 25 lignes et 25 colonnes.
- Algorithme utilisé: Variables métriques.

C-2- Avantages

- OPTISOLVE accepte aussi bien l'entrée par clavier que les entrées d'un fichier texte extérieurement créé.
- Formulation du problème sous sa forme naturelle.

C-3- Inconvénients

- Dimensionnement insuffisant pour les problèmes de grande taille.
- Il n'a pas de capacité d'édition ni de sauvegarde. Néanmoins, avec la commande ALSO, l'utilisateur peut ajouter des contraintes à un problème construit et résoudre le nouveau modèle.
- Il ne dispose que de quatre fonctions qui sont : EXP, LOG, SIN et TAN.

D- MP6-NLPROG

D-1- Fiche technique de la version 3.0.

- Distributeur: SCICOM.
 - Mémoire minimum: 256K.
 - Machine: IBM AT avec DOS 3.1.
 - Type de problèmes: GP.
 - Dimensions maximales:
Mode interpréteur avec 256K : $N+M \leq 25$.
Mode en lots (Batch mode) avec 256K : $N+M \leq 50$.
Mode en lots alternés (Batch alternate mode) avec 256K : $N+M \leq 140$.
- N: Nombre de variables.
M: Nombre de contraintes.
- Algorithme utilisé: Le point fixe.

D-2- Avantages

- Il fait partie d'un système d'optimisation connu sous le nom d'OPTPAK, les autres modules isolés peuvent résoudre les PL et les problèmes quadratiques convexes.
- Ce package a un mode interpréteur facilement utilisable disposant d'une interface avec un fichier de données extérieurement fourni par l'utilisateur et qui contient le problème.
- Formulation du problème sous sa forme naturelle.

D-3- Inconvénients

- Dans le mode alterné en lots (Batch Alternate Mode), l'utilisateur a besoin de créer et de compiler un fichier source en FORTRAN contenant les données du problème et les sous-programmes appropriés.
- Ne permet pas à l'utilisateur de désigner les noms de variables.

E- NLPSOLVER

E-1-Fiche technique de la version 1.0.

- Distributeur: 3i Corporation.
- Mémoire minimum: 512K.
- Machine: IBM AT avec DOS 3.1.
- Type de problèmes: GP.
- Dimensions maximale: 70 lignes et 100 colonnes.
- Algorithme utilisé: Programmation Quadratique Convexe.

E-2- Avantages

- Disponibilité d'autres versions qui permettent de traiter des problèmes plus larges.
- L'utilisateur peut créer, revoir et rédiger un modèle dans chaque programme.
- Production d'un écho visible du modèle.

E-3- Inconvénients

- L'utilisateur doit entrer le nombre de variables de décision à l'avance. Le package ne permet pas de modifier ce nombre une fois qu'il a été spécifié.

F-GAMS

F-1-Fiche technique de la version 2.02A

- Distributeur: The Scientific Press (Stanford University).
- Mémoire minimum: 512K (Disque dur nécessaire).
- Machine: IBM AT avec DOS 3.1.
- Type de problèmes: GP.
- Dimensions maximales : 300 lignes et 500 colonnes.
- Algorithme utilisé : Branch and bound.

F-2- Avantages

- GAMS peut résoudre des problèmes de grande taille (un bulletin d'information distribué par "The Scientific Press" donne des détails additionnels à propos de la taille des problèmes; GAMS peut manipuler au maximum 32767 lignes et 32767 colonnes).
- Production d'un rapport détaillé contenant le modèle initial et les valeurs de départ pour les variables de décision.
- Utilisation d'un éditeur extérieur et séparé pour créer le modèle.
- Formulation du modèle sous sa forme compactée.
- Possibilité d'activer ou de désactiver une ou plusieurs contraintes.

F-3-Inconvénients

- Produit un écho imprimé de l'input qui est seulement visible dans un fichier output sur disque.
- L'écho est produit automatiquement et ne peut être supprimé par l'utilisateur.
- Les capacités d'output sont les plus limitées par rapport aux autres systèmes, il émet seulement des résultats finaux à l'utilisateur.

CONCLUSION

Après énumération des fiches techniques et des critiques des différents "solvers", et surtout pour des raisons de disponibilité nous optons pour l'utilisation de GAMS que nous présentons ci-dessous de façon plus détaillée.

3- DESCRIPTION DU LOGICIEL UTILISE (GAMS)

GAMS (General Algebraic Modeling System) est conçu pour la construction et la résolution de modèles de programmation mathématique larges et complexes. Il est plus accessible pour les programmeurs et plus compréhensible pour les utilisateurs des modèles dans diverses disciplines tels que les économistes, car il peut rendre brèves les déclarations algébriques des modèles et cela dans un langage facile à lire pour les modélisateurs et les ordinateurs. GAMS peut

réellement améliorer la productivité des modeleurs et largement étendre les dimensions et l'utilité des applications de la programmation mathématique dans les politiques d'analyse et de prise de décision.

Même avec les techniques de résolution disponibles pouvant résoudre plusieurs problèmes, par exemple, les modèles multi-sectoriels des économies larges ou les modèles de simulation et les modèles d'optimisation, l'utilisation de GAMS est parfois préférable.

Les programmeurs utilisaient le langage FORTRAN pour résoudre certains problèmes. Le travail était fastidieux et les erreurs faciles à commettre et difficiles à détecter. Cependant, les économistes fréquemment impliqués, ont trouvé la présentation de leurs modèles par ordinateur compliquée et demandant énormément de temps. Le programmeur du modèle était souvent la seule personne qui en connaissait exactement le fonctionnement. Ainsi, si le programmeur change d'activité, il faudra des mois au successeur pour maîtriser l'utilisation du modèle.

Les modifications des modèles étaient difficiles et chères à effectuer, surtout si le changement n'a pas été prévu ou planifié.

Dans des séminaires, les modeleurs devaient défendre les versions existantes de leur modèles, de temps à autre, d'une manière complètement irrationnelle, car l'argent et le temps demandés pour les modifications proposées étaient très considérables. Ces modèles ne pouvaient pas être étendus à d'autres applications, non seulement à cause de la spécialisation des programmes, mais aussi à cause de la non flexibilité des formats des données.

GAMS est conçu pour améliorer cette situation en fournissant un système de structuration et un langage de programmation dans lequel la brièveté de l'expression, et la portabilité sont facilement maintenues.

3-1- Motivations

Des progrès remarquables ont été faits entre les années 1950 et 1960 avec le développement des algorithmes pour résoudre de larges problèmes de la

programmation mathématique. Le nombre d'applications de ces outils dans les années 70 était en dessous des espérances, car les procédures de résolution ne formaient qu'une petite partie des efforts généraux de modélisation. Une large partie du temps exigé pour développer un modèle était due à la préparation des données. Chaque modèle exigeait plusieurs heures d'analyse et de temps de programmation pour organiser les données et écrire les programmes qui transformeraient les données sous la forme requise.

En outre il était difficile de détecter et d'éliminer les erreurs car les programmes qui effectuaient les opérations sur les données n'étaient accessibles que pour les spécialistes les ayant mis en oeuvre et non pour les analystes chargés du projet.

GAMS a été développé pour changer cette situation en :

- fournissant un langage de haut niveau pour les représentations compactes des modèles larges et complexes.
- permettant des changements pouvant être utilisés dans les spécifications du modèle avec simplicité et sans risque.
- permettant des formulations claires des relations algébriques
- permettant des descriptions du modèle qui sont indépendantes des algorithmes de résolution.

3-2- Les caractéristiques de GAMS

A- Les principes généraux

La conception de GAMS a incorporé des idées découlant de la relation entre la théorie des bases de données et des programmes mathématiques, et a essayé de les adapter aux besoins stratégiques des modélisateurs.

La relation de base de données améliore les structures de plan de travail pour développer une organisation de données générale, tandis que la programmation mathématique offre les méthodes pour résoudre les problèmes correspondants.

B- Structure d'un modèle GAMS

La structure générale d'un modèle sous GAMS est la suivante :

INPUTS

Sets

Declaration

Assignment of members

Data (Parametres, Tables, Scalars)

Declaration

Assignment of values

Variables

Declaration

Assignment of type

(Optional) Assignment of bounds and / or initial values

Equation

Declaration

Definition

Model and solve statements

(Optional) display statements

OUTPUTS

Echo Print

Reference Maps

Equation Listings

Results

C- Classification des modèles GAMS

Une grande variété de problèmes peuvent être résolus à l'aide du logiciel GAMS, mais avant d'essayer de résoudre un problème il faut en connaître à priori le type.

GAMS reconnaît les types suivants :

LP : Linear Programming (Programmation Linéaire).
 NLP : Non Linear Programming (Programmation Non Linéaire).
 DNLP : Non Linear Programming with Discontinious derivatives
 (Programmation Non Linéaire avec Dérivées discontinues).
 RMIP : Relaxed Mixed Integer Programming (Programmation en Nombres
 Entiers Relaxés).
 MIP : Mixed Integer Programming (Programmation Linéaire en Nombres
 Entiers).
 RMIDNLP : Relaxed Mixed Integer Nonlinear Programming with
 Discontinious derivatives.
 MIDNLP : Mixed Integer Nonlinear Programming with Discontinious
 derivatives

D-Les points particuliers de GAMS

GAMS est constitué d'un modeleur et de plusieurs solvers que l'on peut utiliser au choix. Ces solvers sont :

Solver	type de problèmes
BDMLP	LP, RMIP.
ZOOM	LP, RMIP, MIP.
MINOS5	LP, RMIP, NLP, DNLP, RMINLP.
CONOPT	LP, RMIP, NLP, RMINLP.
DICOPT	MINLP.
MPSWRITE	LP, NLP, RMIP, MIP, DNLP, RMINLP, MINLP.

Si l'on ne spécifie pas le nom du solver à utiliser, GAMS établit les correspondances suivantes par défaut :

LP MINOS5
 RMIP MINOS5
 MIP ZOOM
 NLP MINOS5
 DNLP MINOS5

RMINLP MINOS5
MINLP DICOPT.

Après utilisation des différents solvers pouvant résoudre les PLNE (MIP) (ZOOM et MPSWRITE), nous avons constaté que ZOOM était le plus adéquat pour notre modèle. Car l'utilisation du solver MPSWRITE nécessite plus d'espace mémoire que ZOOM.

ZOOM (ZERO / ONE OPTIMIZATION METHODS) est un système écrit en FORTRAN et spécialement modifié pour être utilisé de façon efficace sous GAMS.

E- DOCUMENTATION

La présentation de GAMS est sous une forme qui peut être lue par les utilisateurs et les ordinateurs. Ceci veut dire que le programme GAMS lui-même est la documentation du modèle, et que la description séparée exigée par le passé n'a plus lieu d'être. De plus, la conception de GAMS contient les caractéristiques suivantes qui s'adressent spécifiquement aux usagers :

- la présentation du modèle GAMS est brève et fait une utilisation complète de l'élégance de la représentation mathématique.
- toutes les transformations de données sont spécifiées brièvement et algébriquement. Ceci veut dire que toutes les données peuvent être entrées dans leur forme élémentaire et que toutes les transformations faites dans la construction du modèle et dans le compte rendu sont disponibles pour inspection ou vérification.
- le texte explicatif peut faire part de la définition des symboles et il est reproduit quand les valeurs associées sont visualisées.
- toute information relative à la compréhension du modèle est dans un seul document.

F- LA PORTABILITE

Le système GAMS est conçu pour que les modèles puissent être résolus par différents types d'ordinateurs sans aucun changement. Un modèle développé sur un petit ordinateur personnel peut être résolu sur de grands systèmes.

Par ailleurs, une personne peut développer un modèle qui peut être utilisé par d'autres personnes.

4- MISE EN OEUVRE A L'AIDE DE GAMS

Dans cette partie nous écrivons le modèle proposé dans le chapitre "Modélisation" à l'aide du modèleur de GAMS.

Rappel : nous rappelons ci-dessous le modèle mathématique

$$\text{Minimiser } \sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n D_{ij} X_{ijk} \quad (1).$$

$$\sum_{k=1}^m \sum_{j=0}^n X_{ijk} = 1 \text{ pour } i = 1, \dots, n. \quad (2).$$

$$\sum_{j=0}^n X_{ijk} = \sum_{j=0}^n X_{jik} \text{ pour } i = 1, \dots, n \text{ et } k = 1, \dots, m \quad (3).$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n [(D_{ij} / VD_k) + (F_j / VF_k)] X_{ijk} + (F'_{jk} / VF_k) Z_k \leq T \quad \text{pour } k = 1, \dots, m. \quad (4).$$

$$\sum_{i \in R} \sum_{j \in R} X_{ijk} \leq \text{card}(R) - 1 \quad \text{tel } R \subset \{2, \dots, n\}, R \neq \{ \}, \quad k = 1, \dots, m. \quad (5).$$

$$0 \leq X_{ijk} \leq Y_{ik} \cdot Y_{jk} \quad \text{pour } i, j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m. \quad (6).$$

$$\sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n (CT_{ijk} + C'_{jk}) X_{ijk} \leq B \quad (7).$$

$$X_{ijk} \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m. \quad (8).$$

4-1- STRUCTURE DU MODELE SOUS GAMS

SETS

- K ensemble des appareils
I ensemble des puits, des appareils et du dépôt fictif
II(I) ensemble des puits sans le dépôt
C(I) ensemble des puits sans les appareils et sans le dépôt;

ALIAS (I, J); ALIAS (II, J1);

PARAMETERS

- VD(k) vitesse de déplacement des appareils
VF(k) vitesse de forage des appareils
F(j) profondeurs des puits et profondeurs restant à forer pour les appareils;

TABLE D(i, j) distances entre les appareils, les puits et le dépôt;

SCALAR T : période de planification considérée;

VARIABLES

- X(k, i, j) variable d'affectation
Z distance totale parcourue
S(i, k) temps de démarrage du forage pour chaque puits;

BINARY VARIABLE X(k, i, j);

POSITIVE VARIABLE S(i, k);

EQUATIONS

- DIST fonction objectif
UNPAS passage des appareils par chaque puits
FLOT passage d'un même appareil par chaque puits

TIME temps de service de chaque appareil
SUBTOUR élimination des sous-tours
COMPA contraintes de compatibilité entre les appareils et les puits;

S.UP(I, K) = T;

S.LO (I, K) = 0;

Durée de service des appareils supérieure ou égale à 0 et inférieure ou égale à T.

X.UP(K, I, I) = 0;

X.LO(K, I, I) = 0;

Interdire la formation de boucles sur la même entité.

X.UP(K, '0', C) = 0;

X.LO(K, '0', C) = 0;

Interdire les affectations directes du dépôt vers l'ensemble C (voir SETS)

X.UP(appareil, '0', puits correspondant à la position de l'appareil en début de période) = 1;

X.L (appareil, '0', puits correspondant à la position de l'appareil en début de période) = 1;

X.LO(appareil, '0', puits correspondant à la position de l'appareil en début de période) = 1;

Obliger l'affectation d'un appareil du dépôt vers le site sur lequel il se trouve réellement en début de période.

Faire la même chose pour tous les appareils.

MODEL FORAGE (DIST/UNPAS/FLOT/TIME/SUBTOUR/COMPA);

OPTION MIP = ZOOM;

SOLVE FORAGE USING MIP MINIMIZING Z;

DISPLAY X.L;

DISPLAY S.L;

DISPLAY Z.L;

REMARQUE :

La contrainte d'élimination des sous-tours que nous utilisons sur GAMS n'est pas la même que celle que nous avons citée dans le chapitre "Modélisation". Cette contrainte est pratiquement impossible à mettre en oeuvre et reste purement théorique, car elle nécessite énormément de ressources en matière de mémoire et de temps de calcul et surtout parce qu'elle nécessite la génération de tous les sous-ensembles possibles, de cardinal allant de 2 jusqu'au nombre de puits, chose que ne peut faire GAMS automatiquement et pour cela il faut une énumération explicite.

En se référant à l'état de l'art pour les PTVFF nous remplaçons cette contrainte par la suivante :

$$t_i + \mu_i + t_{ij} - t_j \leq M_{ij} (1 - X_{ijk}) \quad k \in K, i \in I \text{ et } j \in JI.$$

Cette contrainte introduit une nouvelle variable de décision qui déterminera l'instant à partir duquel chaque puits devra être foré.

Comme aucun appareil ne peut se déplacer d'un puits foré vers un autre qui l'est déjà, nous caractérisons chaque puits par une valeur $S(i, k)$ et nous interdirons l'affectation de tout appareil k vers un puits j à partir d'un autre puits i si $S(j, k)$ est inférieure à $S(i, k)$.

5-2- EXEMPLE

Pour illustrer la validation de notre modèle mathématique sous GAMS nous présentons le fichier output (16P5A.LST) du plus grand problème que nous sommes parvenu à résoudre compte tenu de la capacité en mémoire vive du PC que nous avons utilisé (4 MO de RAM) (voir annexe IV).

4-3- CARACTERISTIQUES DES PROBLEMES TESTS

Nous présentons ci-dessous les caractéristiques des solutions que nous avons obtenu en résolvant un certain nombre de problèmes de GAMS/ ZOOM.

NOTATIONS

NV : Nombre de Variables
 NVD : Nombre de Variables Discrètes
 NMN : Nombre Maximal de Noeuds
 NE : Nombre d'Equations
 ETA : Espace de Travail Alloué

3 puits et 2 appareils

	Itérations	Temps	Caractéristiques	
PL initial	36	0.39	NV	83
			NVD	52
Heuristique	27	1.97	NMN	0
Branch & Bound	0	0	NNE	0
PL final	4	0.17	NE	78
			ETA	0.09 Mb
Total	67	3.18		

4 puits et 3 appareils

	Itérations	Temps	Caractéristiques	
PL initial	66	1.49	NV	214
			NVD	153
Heuristique	19	2.19	NMN	0
Branch & Bound	0	0	NNE	0
PL final	5	0.39	NE	200
			ETA	0.22 Mb
Total	90	4.89		

5 puits et 3 appareils

	Itérations	Temps	Caractéristiques	
PL initial	138	3.57	NV	268
			NVD	198
Heuristique	28	177.19	NMN	1588
Branch & Bound	1166	43.72	NNE	55
PL final	5	0.44	NE	252
			ETA	0.28 Mb
Total	1337	225.86		

9 puits et 3 appareils

	Itérations Temps		Caractéristiques	
PL initial	278	3.02	NV	544
			NVD	438
Heuristique	96	579.52	NMN	3028
Branch & Bound	98644	1390.38	NNE	327
PL final	8	0.17	NE	520
			ETA	0.62 Mb
Total	99026	1973.36		

8 puits et 4 appareils

	Itérations Temps		Caractéristiques	
PL initial	186	2.37	NV	725
			NVD	588
Heuristique	260	21.75	NMN	3928
Branch & Bound	18587	402.99	NNE	230
PL final	6	0.22	NE	689
			ETA	0.82
Total	19039	427.16		

10 puits et 3 appareils

	Itérations Temps		Caractéristiques	
PL initial	293	3.63	NV	628
			NVD	513
Heuristique	81	74.53	NMN	3478
Branch & Bound	264704	4425.40	NNE	1716
PL final	10	0.22	NE	602
			ETA	0.72 Mb
Total	265088	4504.11		

10 puits et 4 appareils

	Itérations	Temps	Caractéristiques	
PL initial	371	27.91	NV	957
			NVD	796
Heuristique	78	119.62	NMN	5176
Branch & Bound	43376	4216.41	NNE	374
PL final	9	1.54	NE	915
			ETA	1.08 Mb
Total	43834	4367.23		

10 puits et 5 appareils

	Itérations	Temps	Caractéristiques	
PL initial	499	50.59	NV	1356
			NVD	1145
Heuristique	65	146.81	NMN	7270
Branch & Bound	45181	6127.93	NNE	438
PL final	8	2.03	NE	1296
			ETA	1.54 Mb
Total	45753	6329.67		

11 puits et 5 appareils

	Itérations	Temps	Caractéristiques	
PL initial	490	11.36	NV	1526
			NVD	1300
Heuristique	78	48.12	NMN	8200
Branch & Bound	75910	2821.85	NNE	731
PL final	12	0.50	NE	1462
			ETA	1.74 Mb
Total	76490	2882.44		

6- CONCLUSION ET SUGGESTION

La vérification du modèle a été faite pour un certain nombre de problèmes de taille inférieure à celle qui nous a été demandée par SONATRACH, car nous avons été limité par l'espace mémoire disponible sur le micro-ordinateur que nous avons utilisé.

Notre méthode de résolution exacte est utilisable sur micro-ordinateurs mais sous la contrainte de l'espace mémoire disponible, donc il serait plus intéressant d'utiliser ce genre de méthodes sur de grands systèmes tel que le VAX par exemple, chose que nous n'avons pas pu faire car nous ne disposons pas de version GAMS pour ordinateur VAX.

CHAPITRE V

APPROCHE HEURISTIQUE

1- INTRODUCTION

De nombreux problèmes d'optimisation rencontrés dans la pratique sont impossibles à résoudre par des méthodes exactes. Par ailleurs, la taille de certains problèmes empêche que la résolution soit entreprise par des méthodes exactes, et pour d'autres, la résolution exacte requiert des calculs trop longs.

Dans notre cas, l'absence de machines (micro-ordinateurs) dotées de grands espaces mémoire nous empêche de résoudre le problème dès que sa taille dépasse un certain seuil (la validation numérique de notre méthode exacte a été faite sur un PC 80486 DX2-50 MHz avec 4 Mo de RAM). Nous avons donc été limités non pas par l'outil de résolution mais par l'absence de support informatique hautement performant. Nous rappelons que nous n'avons pu résoudre que des problèmes de taille inférieure ou égale à 11 puits et 5 appareils (1462 équations et 1526 variables dont 1300 variables discrètes, la résolution de ce problème a consommé 48 minutes en temps de calcul sans comptabiliser le temps d'écriture des résultats sur disque et un espace mémoire de 1.74 Mb).

Pour ces raisons, nous sommes orientés vers des méthodes approximatives dites "heuristiques", qui permettent de trouver des solutions approchées, réalisables, en un temps d'exécution relativement rapide, que l'on considère acceptables quoiqu'elles ne garantissent pas l'optimalité.

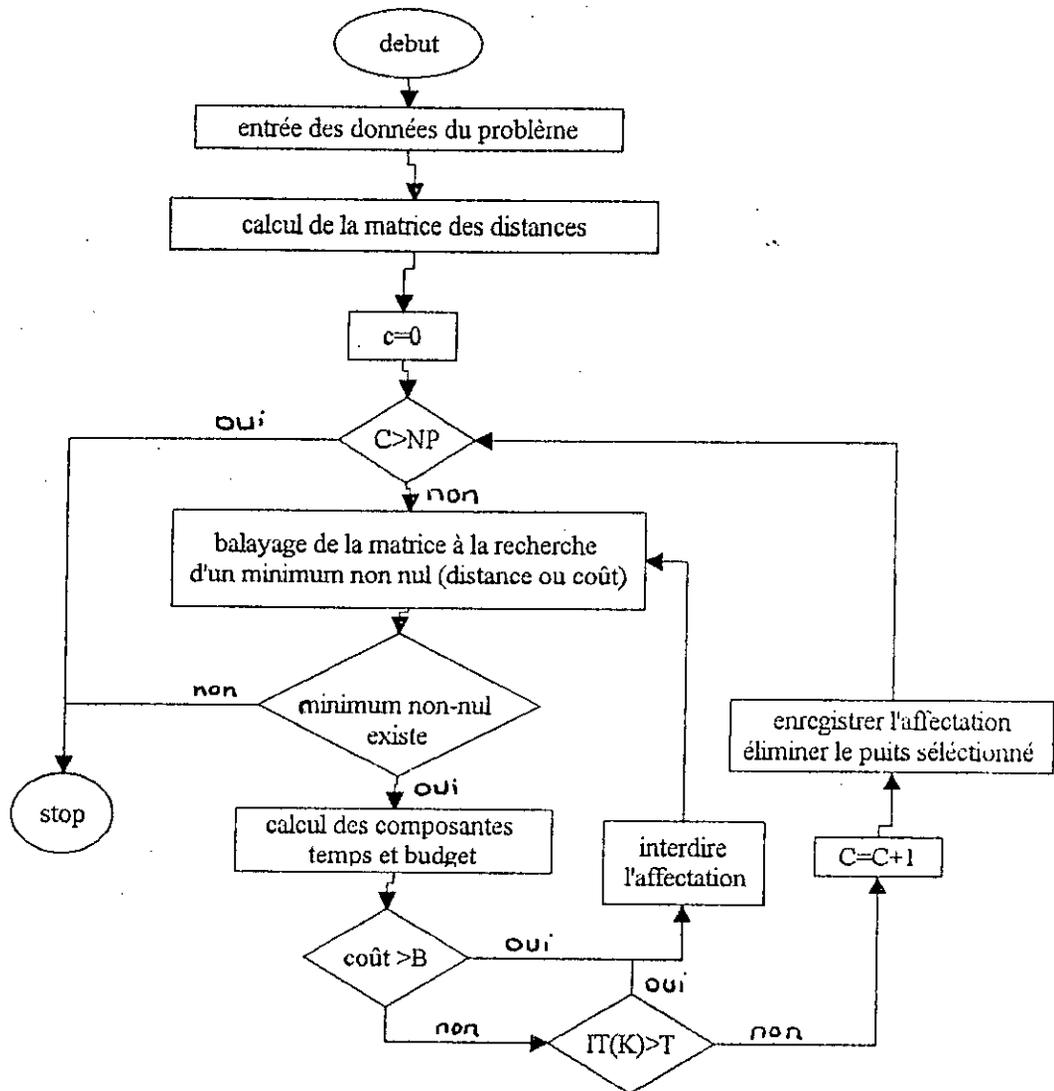
2- PRINCIPE GENERAL DE L'ALGORITHME PROPOSE

L'algorithme que nous proposons a pour objectif d'élaborer des affectations entre les appareils de forage disponibles et les puits programmés pour la période considérée.

Pour cela nous procédons de la manière suivante :

- Choisir la distance minimale (ou coût minimal) entre les appareils et les puits pour établir l'affectation.
- S'arrêter lorsque le nombre de puits à forer ou le budget alloué sont épuisés ou lorsqu'il ne reste plus d'appareils disponibles.

ORGANIGRAMME DE L'HEURISTIQUE PROPOSEE



4- ALGORITHME

pas 0

Soit la valeur IT (i) : l'horloge qui comptabilise la durée totale des opérations que devra effectuer l'appareil i tel que $i = 1, \dots, m$.

Un appareil peut être en activité au début de l'année dans le cas où il n'aurait pas achevé le forage d'un puits prévu pour l'année précédente. On évalue alors le temps restant pour que l'appareil soit disponible en fonction de la profondeur qui reste à forer, ceci implique que la valeur initiale de IT pour l'appareil en question sera :

$IT(i) = \text{profondeur restant à forer (prf)} / \text{la vitesse de forage de l'appareil } i$.

Dans le cas contraire, c-à-d que l'appareil i est disponible (en inactivité), l'horloge est mise à zéro : $IT(i) = 0$.

Soit par ailleurs B le budget alloué au forage des puits programmés, et soit budgetf la variable comptabilisant le coût total à chaque instant. Initialement, budgetf = 0.

Soit C un compteur indiquant le nombre de puits planifiés à tout moment. $C = 0$: valeur initiale du compteur.

Soit enfin S un seuil d'utilisation des appareils dont l'estimation sera laissée à l'appréciation du gestionnaire.

pas 1

Créer un fichier contenant les coordonnées (x_i, y_i) $\{i = 1, \dots, m+n\}$ de tous les puits et les appareils (n: nombre de puits à forer, m: nombre d'appareil disponible). Ces coordonnées seront déterminées sur une carte géographique.

Créer un autre fichier dans lequel nous enregistrerons toutes les distances séparant les puits des appareils et les puits entre eux.

Les distances calculées sont des distances euclidiennes.

$$D_{ij} = [(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2]^{1/2}$$

avec $D_{ij} = 0$ pour les cas suivants :

- pour $i = j$.
- pour $i, j = 1, \dots, m$. (ceci correspond aux distances entre les appareils).
- pour les distances séparant les appareils et les puits incompatibles.

Pas 2

Parmi toutes les distances strictement positives entre les appareils et les puits, nous choisissons la distance minimale (s'il y en a plusieurs, en prendre la dernière) dans le cas de minimisation des distances, ou bien le coût d'affectation minimal dans le cas de minimisation des coûts (coût de déplacement de l'appareil k du site sur lequel il se trouve vers le puits l plus le coût d'utilisation de l'appareil k pour le forage du puits l).

S'il n'existe pas de valeur non-nulle alors stop,

sinon ;

Soit (k, l) le couple correspondant à la distance minimale (ou au coût minimal) dans la matrice (k : ligne, l : colonne).

pas 3

Calculer la composante temps et coût pour le couple (k, l)

$$IT(k) = IT(k) + [D[k, l] / VD(k) + Pr(l) / VF(k)] .$$

$$\text{budgetf} = \text{budgetf} + Cdu(k) \cdot D[k, l] + Ciu(k) \cdot Pr(l) / VF(k) .$$

- $D[k, l]$: distance entre l'appareil k et le puits l .
- $VD(k)$: vitesse de déplacement de l'appareil k .
- $Pr(l)$: la profondeur du puits l .
- $VF(k)$: vitesse de forage de l'appareil k .
- $Cdu(k)$: coût de déplacement unitaire (par unité de distance) de l'appareil k .
- $Ciu(k)$: coût de forage unitaire (par unité de temps service) de l'appareil k .

Si le taux d'utilisation de l'appareil k dépasse S ou si le coût budgetf dépasse B

- interdire l'affectation correspondante (mettre un zéro sur la case k, l de la matrice des distances) sans comptabiliser le temps et le coût qu'aurait engendrer cette affectation.

Sinon

- $C = C + 1$

enregistrer l'affectation (k,l) ,

-éliminer la colonne l correspondant au puits l (mettre des 0 pour cette colonne à la place des distances $D(i,l)$ pour $i=1,\dots,m+n$),

-changer la ligne k correspondant à la position de l'appareil k par la ligne l en conservant les cases contenant des 0 (pour conserver le critère d'incompatibilité entre les appareils et les puits).

$$D[k,j] := \begin{cases} 0 & \text{si l'ancien } D[k,j] = 0 \\ D[l,j] & \text{si } j \text{ appartient à } \{m+1,\dots,m+n\} \end{cases} \quad \text{pour } j = 1,\dots,m+n.$$

aller à 2

Sinon STOP.

5-EXEMPLE ILLUSTRATIF

La méthode heuristique que nous avons développée a été présentée en plusieurs étapes, nous nous proposons à présent de la compléter par un exemple illustratif dans le but de rechercher une solution réalisable.

Données :

Les appareils

	X	Y	TYPE	PRF	VF	VD	CIU	CDU
TP136	70	150	L.D	0	45	15	8	10
ENF6	30	20	L.G	0	40	20	3	2
TP126	300	40	L.D	0	30	25	14	20
ENF15	200	120	L.D	0	50	30	15	15

Les puits

	HMD	HR	GT	HBK	RN	MDZ	DTK	RB	HM	INAS
X	25	40	300	60	120	70	20	130	35	70
Y	200	120	400	30	50	130	70	20	150	300
PR	4000	3500	2000	2600	5400	3700	4200	1700	2000	2500

La matrice des distances est donnée comme suit :

	TP136	ENF6	TP126	ENF15	HMD	HR	GT
TP136	0	0	0	0	67.27	42.43	339.7
ENF6	0	0	0	0	0	0	466.1
TP126	0	0	0	0	318.1	272.0	360
ENF15	0	0	0	0	192.4	160	297.3
HMD	67.27	0	318.1	192.42	0	81.39	340.0
HR	42.43	0	272.0	160	81.39	0	38.10
GT	339.7	466.1	360	297.32	340.0	38.10	0
HBK	120.4	31.62	240.4	166.43	173.5	92.2	441.0
RN	118.8	0	180.2	106.3	177.5	106.3	393.5
MDZ	20	0	246.9	130.38	83.22	31.62	354.6
DTK	94.34	0	281.6	186.82	130.3	53.85	432.7
RB	143.1	100	171.1	122.07	208.3	134.5	416.2
HM	35	130.1	286.9	167.71	50.99	30.41	364.3
INAS	150	282.8	347.1	222.04	109.6	182.4	250.8

matrice des distances.

	HBK	RN	MDZ	DTK	RB	HM	INAS
TP136	120.4	111.8	20	94.34	143.1	35	150
ENF6	31.62	0	0	0	100	130.1	282.8
TP126	240.4	180.2	246.9	281.6	171.1	286.9	347.1
ENF15	166.4	106.3	130.3	186.8	122.0	167.7	222.0
HMD	173.5	177.5	83.22	130.1	208.3	50.99	109.6
HR	92.2	106.3	31.62	53.85	134.5	30.41	182.4
GT	441.0	393.5	354.6	432.7	416.2	364.3	250.8
HBK	0	63.25	100.5	56.57	70.71	122.5	270.1
RN	63.25	0	94.34	101.9	31.62	131.2	254.9
MDZ	100.5	94.34	0	78.1	125.3	40.31	170
DTK	56.57	101.9	78.1	0	120.8	81.39	235.3
RB	70.71	31.62	125.3	120.8	0	161.0	286.5
HM	122.5	131.2	40.31	81.39	253.3	0	154.0
INAS	270.1	254.9	170	235.3	286.5	154.0	0

suite de la matrise des distances

ETAPES DE RESOLUTION :

Etape 0 :

Pour un budget B de 1000000 UM et un taux d'utilisation maximale égale à 100% . $IT(i) = 0$ pour $i = 1, \dots, 4$. {pour les appareils }
 $C = 0$ {compteur pour le nombre de puits forés }.

Nous supposons que le critère de sélection est la distance.

Etape 1 : Voir matrice des distances.

Etape 2 : Parmi toutes les distances entre les appareils et les puits (les quatre premières lignes de la matrice des distances, la distance minimale non nulle égale à 20 (la position de cette distance dans la matrice est (1ère ligne, 10ème colonne).

Etape 3:

- Calcul de la composante temps et la composante budget pour le couple (TP136,MDZ).

$$IT(TP136) = 0 + [20/15 + 3700/45] = 83.56 \text{ j.}$$

$$\text{Budgetf} = 0 + 10 \times 20 + 8 \times 3700/45 = 857.78 \text{ UM. Budgetf} < B.$$

-Le taux d'utilisation de l'appareil TP136 égal à
taux = $83.56 / 364 = 22.77 < 100$.

Affecter l'appareil TP136 au puits MDZ et enregistrer le couple (TP136, MDZ) sur un fichier "recfile". recfile = {(TP136,MDZ)}.

$$C = C+1 = 0 + 1 = 1.$$

- Eliminer la colonne 10 (correspondant au puits MDZ) en mettant des 0 dans les cases distances $D[j, 10]$ pour $j = 1, \dots, 14$.

- Changer la ligne 1 (correspondant à l'appareil TP136) en mettant :

0 pour $j = 1, \dots, 4.$
 $D[1, j] =$
 $D[10, j]$ pour $j = 5, \dots, 14.$

C= 1<10 aller au pas 2.

Aller à la page 2

La matrice des distances devient comme suit :

	TP 136	ENF6	TP126	ENF1 5	HMD	HR	GT
TP136	0	0	0	0	83.22	31.62	354.6
ENF6	0	0	0	0	0	0	466.1
TP126	0	0	0	0	318.1	272.0	360
ENF15	0	0	0	0	192.4	160	297.3
HMD	67.27	0	318.1	192.4	0	81.39	340.0
HR	42.43	0	272.0	160	81.39	0	38.10
GT	339.7	466.1	360	297.3	340.0	38.10	0
HBK	120.4	31.62	240.4	166.4	173.5	92.2	441.0
RN	118.8	0	180.2	106.3	177.5	106.3	393.5
MDZ	20	0	246.9	130.3	83.22	31.62	354.6
DTK	94.34	0	281.6	186.8	130.3	53.85	432.7
RB	143.1	100	171.1	122.0	208.3	134.5	416.2
HM	35	130.1	286.9	167.7	50.99	30.41	364.3
INAS	150	282.8	347.1	222.0	109.6	182.4	250.8

	HBK	RN	MDZ	DTK	RB	HM	INAS
TP136	100.5	94.34	0	78.1	125.3	40.31	170
ENF6	31.62	0	0	0	100	130.1	282.8
TP126	240.4	180.2	0	281.6	171.1	286.9	347.1
ENF15	166.4	106.3	0	186.8	122.0	167.7	222.0
HMD	173.5	177.5	0	130.1	208.3	50.99	109.6
HR	92.2	106.3	0	53.85	134.5	30.41	182.4
GT	441.0	393.5	0	432.7	416.2	364.3	250.8
HBK	0	63.25	0	56.57	70.71	122.5	270.1
RN	63.25	0	0	101.9	31.62	131.2	254.9
MDZ	100.5	94.34	0	78.1	125.3	40.31	170
DTK	56.57	101.9	0	0	120.8	81.39	235.3
RB	70.71	31.62	0	120.8	0	161.0	286.5
HM	122.5	131.2	0	81.39	253.3	0	154.0
INAS	270.1	254.9	0	235.3	286.5	154.0	0

suite de la matrice des distances.

Pour les autres itérations, les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant:

ordre d'affecta	apparei	puits	distanc	coût associé
1	TP136	MDZ	20	857.78
2	ENF6	HBK	31.62	258.25
3	TP136	HR	31.62	938.45
4	TP136	HM	30.41	659.69
5	ENF6	RB	70.71	268.92
6	ENF15	RN	106.3	344.52
7	ENF15	DTK	101.98	2789.71
8	ENF15	HMD	130.38	3151.44
9	ENF15	INAS	109.66	2394.88
10	TP126	GT	360	8133.33

Tableau des affectations selon critère distance.

Les taux d'utilisation des appareils selon critère distance sont donnés dans les tableaux suivants :

TP136	57.7
ENF6	30.3
TP126	18.5
ENF15	92

Supposons maintenant que le critère de sélection des affectations est le coût engendré par chaque affectation (coût de déplacement et coût d'utilisation). Le critère de sélection ainsi choisi, nous procédons de la manière suivante:

soit C_{du} le coût unitaire de déplacement d'un appareil de forage et soit C_{iu} le coût unitaire d'utilisation d'un appareil de forage. Nous calculons la composante coût engendré pour chaque affectation et nous comparons l'ensemble des coûts d'affectations au budget alloué B , dès qu'il y a violation de cette contrainte le processus d'affectation s'arrête.

En considérant le même problème que précédemment avec le coût comme critère de sélection nous obtenons les résultats suivants :

ordre d'affectat	apparei	puits	coût asso
1	ENF6	HBK	258.25
2	ENF6	RB	268.92
3	ENF6	HM	472.02
4	ENF6	INAS	495.56
5	ENF6	GT	651.60
6	TP136	MDZ	857.78
7	TP136	HR	938.45
8	TP136	DTK	1285.18
9	TP136	HMD	2012.07
10	ENF15	RN	3214.52

Les taux d'utilisation des appareils selon critère coût sont donnés dans les tableaux suivants :

TP136	97
ENF6	86
TP126	0
ENF15	30

Le coût total engendré selon le critère distance est 19796.97 UM tandis que pour dans le deuxième cas (selon le critère coût), le coût total est 10454.35 UM ce qui donne une différence de 9342.62 UM.

- En changeant le budget alloué au forage des puits programmés par une valeur inférieure, par exemple B=14000 UM et en gardant la distance comme critère de sélection, nous obtenons les mêmes résultats que pour le premier cas mais sans la dernière affectation car le budget ne le permet pas.

-Maintenant, si nous remplaçons les vitesses de forage et les vitesses de déplacement par des vitesses inférieures, les contraintes temps de service des appareils seront rapidement saturées et par conséquent les lignes correspondant aux appareils dans la matrice des dist seront remplacées par des zéro et nous ne pourons plus trouver un minimum non-nul. Dans ce cas nous aurons une sous-capacité en appareils et nous aurons une affectation partielle des appareils vers l'ensemble des puits.

6- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU PROGRAMME PASCAL ELABORE

Notre algorithme a été implémenté sur un PC (2 Mo RAM, Microprocesseur DX 80386) en Turbo Pascal version 6.0, en utilisant la programmation orientée objets.

6-1- PRESENTATION DU PROGRAMME

Nous avons partitionné le programme informatique en plusieurs unités auxquelles fera appel le programme principal.

Définition du concept d'unité de Turbo Pascal

Les versions de 4.0 à 6.0 constituent de puissantes extensions de Turbo Pascal. L'apport le plus important est certainement celui du concept d'unité, qui augmente la facilité de programmation ainsi que la souplesse du langage.

Une unité est une bibliothèque de déclaration de types, de constantes, de variables, de fonctions et de procédures, qu'il est possible d'intégrer dans un programme lorsque besoin est. Une unité n'est par contre pas un fichier inclus, car elle est stockée sous sa forme compilée. Lorsque nous reprenons une unité dans un programme, elle est tout simplement intégrée dans ce dernier, et non d'abord lue puis compilée comme c'est le cas des fichiers inclus.

Définition du concept Turbo Vision

Turbo Vision est un système hiérarchique d'objets qui communiquent entre eux. Ces objets, réunis en unités, constituent un "échafaudage" de plusieurs applications orientées objets qui, en fonction des besoins, peuvent être développées ou modifiées.

Exemple

Program Forage ;

uses Dos, Crt, Puits, Appareil, ;

Ce programme principal permet de gérer les menus en Turbo vision, c'est à dire que nous avons des menus déroulants où il est possible d'accéder à n'importe quelle application que permet le programme principal, à tout moment.

6-2- PRESENTATION DES MENUS

Nous avons un menu principal contenant des sous-menus qui à leur tour peuvent en contenir d'autres.

Le menu principal se présente comme suit

A propos Stat. Files Impr. Affectations appareils puits utilitaires sortie

Nous allons décrire les principaux sous-menus

A) Puits: en accédant au sous-menu Puits, nous obtenons les sous-menus suivants :

- + Saisie.
- + Consultation/Modification.
- + Suppression.

A-1) Saisie :

Cette procédure permet la saisie et l'enregistrement dans un fichier "Puits" des données suivantes :

- Nom du puits.
- Abscisse du puits.
- Ordonnée du puits.
- Profondeur du puits.

A-2) Consultation/Modification :

Cette procédure permet de consulter les enregistrements du fichier "Puits" et d'y apporter des modifications.

A-3) Suppression :

Cette procédure permet soit une suppression totale du fichier "Puits", soit une suppression d'un élément donné.

B) Appareil :

De même que pour le menu "Puits", nous avons (Saisie, consultation/modification, suppression) sauf que les données requises sont les suivantes :

- Nom de l'appareil.
- Type de l'appareil.
- Abscisse de l'appareil.
- Ordonnée de l'appareil.
- Vitesse de forage de l'appareil.
- Vitesse de déplacement de l'appareil.
- Coût unitaire de déplacement de l'appareil.
- Coût unitaire d'utilisation de l'appareil.
- Profondeur restant à forer en début de période.

C) Affectation :

Cette procédure permet de trouver et de visualiser les affectations des puits vers les appareils en utilisant notre algorithme. Les affectations sont faites selon l'un des deux critères : distance ou coût.

Le gestionnaire devra spécifier le critère de sélection, le budget alloué à la réalisation du programme de forage et la borne supérieure des taux d'utilisation des appareils.

D) Statistiques :

Cette procédure permet de donner le taux d'utilisation de chaque appareil durant la période d'activité considérée.

E) Impression

Cette procédure permet des sorties sur imprimante.

F) Files

Cette procédure permet des entrées/sorties sur disque dur et disquettes. Nous avons aussi la possibilité de renommer et d'effacer des fichiers si besoin est.

Deux fichiers "NONAME.APP" et "NONAME.PUI" sont ouverts automatiquement, l'un pour les appareils et l'autre pour les puits.

6-3- UTILISATION DU LOGICIEL

Dans cette partie du chapitre, nous indiquons la bonne manière pour utiliser le logiciel "Forage".

A) Accès au logiciel

L'utilisation du logiciel se fait par simple appel du programme exécutable "Forage.EXE" sous MS-DOS.

B) Etapes à suivre

1ère étape

Avant toute chose, il faut introduire les données du problème soit en faisant appel à des fichiers déjà existants soit par saisie directe sur les fichiers "NONAME.*"

Il est préférable, lors d'une destruction ou d'une redéfinition de fichier, de veiller à ce que cela soit fait pour chacun des deux types de fichiers "*.APP" et "*.PUI".

2ème étape

Choisir le critère selon lequel les affectations seront faites.

3ème étape

Donner le budget alloué à la réalisation du programme de forage.

Il est préférable de mettre un budget assez important en premier lieu et voir les affectations pour ensuite mettre le budget réel et voir ce que pourrait engendrer une dépense supplémentaire.

4ème étape

Consulter les affectations : Cette procédure entraîne automatiquement le calcul des distances, l'établissement des affectations en tenant compte du budget alloué et des contraintes temps de service des appareils.

5ème étape

- Visualisation des taux d'utilisation des appareils.
- Visualisation du graphe "taux d'utilisation des appareils": Cette procédure peut se faire indépendamment de la précédente.

6ème étape

- Impression des affectations : Cette procédure imprime un tableau qui donne les noms des appareils, des puits à forer, les dates de commencement des forages et les durées des opérations de forage.
- Impression des taux : Cette procédure imprime les noms des appareils et les taux d'utilisation correspondants.

7ème étape

Utilisation de la calculatrice et du calendrier : Ce sont des utilitaires qui peuvent être utilisés indépendamment de toutes les autres procédures et à tout moment.

C) Touches d'accès aux menus

F10	Activer le menu
F2	calendrier
F3	calculatrice
Alt-X	sortie du logiciel
Alt-F3	Fermeture des utilitaires (calculatrice, calendrier)

Alt-F1	saisie des appareils
Alt-F2	consultation/modification des appareils
Shift-F1	saisie des puits
Shift-F2	consultation/modification des puits
Shift-F4	critère distance
Shift-F5	critère coût
Shift-F3	consultation des affectations.

- La touche "TAB" peut être utilisée pour des déplacements du curseur en avant et "Shift-TAB" pour des déplacements en arrière.

- Toutes les lettres affichées sur l'écran en couleurs (rouge ou jaune) indiquent que les rubriques sur lesquelles elles se trouvent peuvent être appelées en tapant sur Alt et la lettre correspondante.

7- APPLICATION DU LOGICIEL A UN CAS D'ASSEZ GRANDE TAILLE

Nous présentons ci-dessous, un problème de 50 puits et 20 appareils avec une flotte hétérogène et en utilisant les deux critères coûts et distance.

Les tableaux que nous présentons sont les outputs de notre logiciel.

(voir annexe V).

7-1 Discussion des résultats

Les résultats obtenus en résolvant un problème de taille 50 puits et 20 appareils selon les deux critères (distance et coût) avec des taux d'utilisation différents ont présenté des différences significatives.

Pour un taux d'utilisation maximal de 140 % et selon le critère distance, nous remarquons que les appareils tp127 et tp132 ne sont affectés vers aucun puits, tandis que pour un taux maximal de 100 % et pour le même critère de sélection, ils sont utilisés respectivement à 67.2 et 70.7 % de la période considérée (une année). Cela est justifié par le fait qu'il y a plus de possibilités d'affectation des appareils dans le premier cas que dans le deuxième, donc plus le taux maximal est élevé plus il y a disponibilité d'appareils.

En réduisant la borne supérieure des taux d'utilisation des appareils, nous procédons à un lissage de ces derniers et cela en réduisant la disponibilité de certains appareils pour en engager d'autres.

Avec un même seuil d'utilisation et des critères de sélection différents, nous observons également des différences significatives entre les coûts d'affectation (les coûts engendrés par les affectations selon le critère coût sont moyennement inférieurs à ceux engendrés par le critère distance de 30%).

Dans tous les exemples que nous avons résolu à l'aide de l'heuristique et selon le critère coût, nous avons remarqué que les appareils de type léger sont utilisés jusqu'à épuisement de leurs ressources, car ils engendrent des coûts d'utilisation relativement faibles.

8- COMPARAISON ENTRE LA METHODE EXACTE ET L'HEURISTIQUE

Nous procédons à l'évaluation de l'heuristique proposée du point de vue de la qualité de la solution en l'appliquant à un certain nombre de problèmes de tailles différentes.

L'évaluation de la solution donnée par l'heuristique a été faite sur la base d'une approche comparative avec celle déterminée par le modèle résolu par GAMS (application de la programmation linéaire en nombres entiers) qui a servi comme une borne supérieure (dans le sens de l'optimalité) pour la solution générée par l'heuristique.

Les déviations obtenues peuvent nous donner une bonne information sur la qualité de l'heuristique proposée par rapport à la méthode exacte que nous avons préalablement utilisée.

En résolvant 7 problèmes différents par chacune des deux méthodes (exacte, heuristique) nous obtenons le tableau suivant :

N° problème	sol. GAMS	sol. heuristique	déviaton	rapport
X puit/Y app.	dist. T.C	dist T.C	distance	temps
1 3P 2A14	0.66	14	1	0 0.66
2 5P 2A19	4.53	20	2.3	5.26 2
3 8P 4A16	427.16	16	3.7	0 115
4 9P 3A29	1973.36	30	5	3.45 400
5 10P 3A37	4504.21	39	6.5	5.40 690
6 10P 5A34	6429.67	35	7.8	2.94 825
7 11P 5A36	2881.83	38	8.3	5.56 347

T.C : temps de calcul.

dist : distance totale parcourue.

8-1- Interprétation des résultats

- La solution générée par la résolution du modèle sous GAMS est une solution optimale.
- Le temps de calcul pour la résolution de tous les problèmes sous GAMS est relativement grand, cela est dû au fait que l'utilisation d'une heuristique pour la convergence vers la solution optimale et l'utilisation de la méthode de séparation et d'évaluation progressive consomme un temps assez important.
- La déviation calculée est comprise entre 0 et 6% ce qui justifie l'obtention de solutions satisfaisantes par l'application de l'heuristique.
- Le temps de calcul d'une solution résultant de l'application de l'heuristique est relativement petit, car notre heuristique appartient à la classe des algorithmes gloutons, dont l'avantage est leur convergence relativement rapide.
- Dans le tableau précédent, nous trouvons deux problèmes P1(10P 5A) et P2(11P 5A) où la taille de P2 est supérieure à celle de P1 et le temps de résolution de P2 est inférieur à celui de P1. Cela est dû au nombre d'itérations générées par l'application de la méthode de séparation et d'évaluation progressive. Car il est possible de trouver une solution entière qui satisfait le critère d'optimalité indépendamment de la taille.

9- CONCLUSION ET SUGGESTIONS

Conclusion

Après analyse des comportements de la méthode exacte et de l'heuristique, nous dégageons les points suivants :

- L'algorithme n'est basé que sur deux critères d'affectation (coût et distance), et il serait intéressant d'en prévoir d'autres.
- L'algorithme est de type "glouton" et ne peut "revenir en arrière" lorsqu'il se trouve dans une situation de blocage. Cependant, il est possible de remédier à cela en utilisant une liste "tabou" c'est-à-dire que si l'algorithme conduit à une solution inadmissible, enregistrer la dernière étape (affectation) dans une liste (liste tabou), et reprendre l'exécution de l'algorithme en évitant les affectations enregistrées sur la liste "tabou".

- Notre algorithme peut résoudre des problèmes de taille relativement grandes en utilisant moins d'espace mémoire que GAMS.

Exemple : le problème test (50 puits, 20 appareils) que nous avons résolu par la méthode heuristique a nécessité moins de 60 K.O tandis que le problème (11 puits, 5 appareils) que nous avons résolu à l'aide GAMS a nécessité 1.74 M.b (Mega byte).

En conclusion, la résolution par méthode exacte donne des solutions optimales mais nécessite un espace mémoire et un temps d'exécution assez importants, tandis que la résolution par une méthode heuristique ne nécessite pas autant de mémoire et de temps d'exécution mais donne souvent des solutions de moindre qualité.

Suggestions

Nous suggérons d'utiliser la méthode heuristique pour voir si la solution existe avant de se lancer à la recherche d'une solution optimale à l'aide de GAMS, parce que si celle-ci existe, GAMS la trouvera sûrement.

ZOOM procède de la manière suivante :

- Chercher une solution initiale au problème relaxé.
- Si celle-ci n'existe pas alors "stop".
- Sinon, chercher une solution entière, si celle-ci n'existe pas, ZOOM explorera tous les noeuds et toutes les branches de l'arborescence pour montrer la non faisabilité de la solution et cela peut prendre énormément de temps, et même si la solution entière existe et que ZOOM n'arrive pas à la trouver rapidement, il se pourrait que l'utilisateur s'inquiète et arrête l'exécution en cours, tandis que s'il était sûr de l'existence d'une solution entière, il laisserait ZOOM poursuivre l'exécution.

Par ailleurs, nous pouvons utiliser la résolution par méthode heuristique pour avoir des solutions qui seront utilisées comme solutions initiales pour la résolution par méthode exacte (processus itératif à plusieurs étages).

CONCLUSION GENERALE

L'étude que nous avons menée consiste à traiter un problème d'affectation optimale des appareils de forage vers des puits d'hydrocarbures selon deux critères (coût et distance) afin d'alléger la charge financière de la fonction forage et de satisfaire la demande.

Cherchant à atteindre notre objectif principal qui est de mettre en oeuvre un outil d'aide à la décision, nous avons proposé une formulation mathématique du problème en un problème linéaire en nombres entiers que nous avons validée par une méthode exacte à l'aide de GAMS. Toutefois, et bien que le modèle semble donner des résultats cohérents, sa mise en oeuvre reste tributaire des moyens de calcul disponibles au niveau de l'entreprise. La disponibilité de versions de GAMS pour mini et gros ordinateurs d'une part, et la possibilité d'augmenter la puissance des micro-ordinateurs (extension de la capacité de la mémoire vive, élévation de la fréquence du microprocesseur, notamment) d'autre part, devraient permettre l'utilisation du modèle élaboré.

Pour pallier à cela, nous avons développé une méthode heuristique de type glouton qui donne des résultats comparables à ceux donnés par la méthode exacte mais contrairement à celle-ci, l'heuristique peut résoudre des problèmes de grande taille en un temps relativement faible et sans pour autant engager des ressources énormes en mémoire vive.

Pour la convivialité et la souplesse de l'utilisation de notre heuristique, nous l'avons incorporée dans un logiciel qui reconnaît plusieurs supports d'entrées/sorties, ce qui donne à notre heuristique un aspect dynamique permettant à l'utilisateur d'expérimenter plusieurs scénarii.

Enfin, nous espérons que notre modeste travail pourra aider les responsables de la division forage de SONATRACH dans leur prise de décision en matière d'élaboration des plannings de forage.

SUGGESTIONS

- Dans notre étude, nous n'avons utilisé que quelques paramètres quantifiables pour les raisons suivantes :
- + Manque de données.
- + Complexité de la fonction forage.

+ Difficulté de quantifier certains paramètres tels que les facteurs climatiques et les complications techniques.

-Les deux modèles que nous avons proposés sont des méthodes déterministes, par contre les "inputs" (vitesse de forage, vitesse de déplacement, profondeur du puits,...) sont des variables aléatoires.

Pour avoir des solutions plus significatives et plus représentatives de la réalité, nous suggérons d'étudier les distributions de probabilité des différents paramètres prépondérants dans l'activité forage.

Il est possible d'optimiser le processus de forage en analysant les différentes étapes du cycle forage (problème d'ordonnancement). Il existe aussi une autre alternative qui consiste à choisir parmi les puits à forer ceux qui dégagent le plus de revenus avec le moindre coût (choix d'investissements) car chaque puits est caractérisé par le volume et la qualité de sa nappe d'hydrocarbures et ces deux caractéristiques peuvent lui accorder une certaine priorité par rapport aux autres. Toutefois, la mise en oeuvre d'un tel modèle suppose la disponibilité d'une grande quantité d'informations concernant les différents sites.

La construction d'une base de donnée regroupant ces différentes informations serait d'un apport réel et permettrait, seule, de concevoir un véritable outil d'aide à la décision.

REFERENCES

TRAVAUX DE RECHERCHE :

- 1- S. Ourari, F. Ourari, (mémoire de fin d'étude. E.N.P 1990).
"Approche de résolution heuristique d'un problème d'affectation de véhicules dans un réseau de distribution. Application à L'U.C.A de DIPROCHIM".
- 2- D. Saidi, N. Touati, (mémoire de fin d'étude. E.N.P 1989).
"Analyse et adaptation d'une approche heuristique de résolution du problème combinant la détermination de la flotte et l'élaboration de tournées de livraison".
- 3- Fay , (thèse de doctorat. U.P.Sabatier 1965).
"Identification, Simulation et optimisation du processus de forage".
- 4- M. Adouane, L. Amrani et M. Smail,
(mémoire de fin d'étude. E.N.P1975).
" Utilisation optimale du parc de forage".

OUVRAGES

- 5- J. Nougaro (1963), "Le forage Rotary".
- 6- L. Golden, A. Assad (1988), "Vehicle routing problem : methods and studies".
- 7- E.L. Lawler, "The Travelling salesman problem".
- 8- M. Sakarovitch (1984), "Optimisation combinatoire : méthodes mathématiques et algorithmiques". Ed Hermann.
- 9- H. Taha (1975), "Integer programming : Theory, Application and computations". Ed Academic press.
- 10- A. Kaufman (1970), "Méthodes et modèles de la recherche opérationnelle". Ed Dunod.
- 11- Y. Muller (1965), "Application pratique des graphes à la recherche d'un minimum". Ed Eyrolles.
- 12- D.E.KNUTH (1969), "The art of computer programming : fundamental algorithms". Ed Addison-Wesley.
- 13- A. Brooke, D. Kendrick et A. Meeraus (1990).
"GAMS, user's guide". Ed The scientific press.

ARTICLES

14- M. Haouari, P. Dejax et M. Desrochers.
Recherche opérationnelle (vol. 24, num. 3, 1990).
"Les problèmes de tournées avec fenêtres de temps".

15- B. Gavish, K. Srikanth.
Operations research, the journal / of the operations research society of
america (vol. 34, num. 5, 1986).
"An optimal solution method for large-scale multiple traveling salesman
problems".

16- M. Fischetti, S. Martello et P. Toth.
Operations research, the journal / of the operations research society of
america (vol. 37, num. 3, 1989).
"The fixed job schedule problem with working-time constraints".

Annexe I

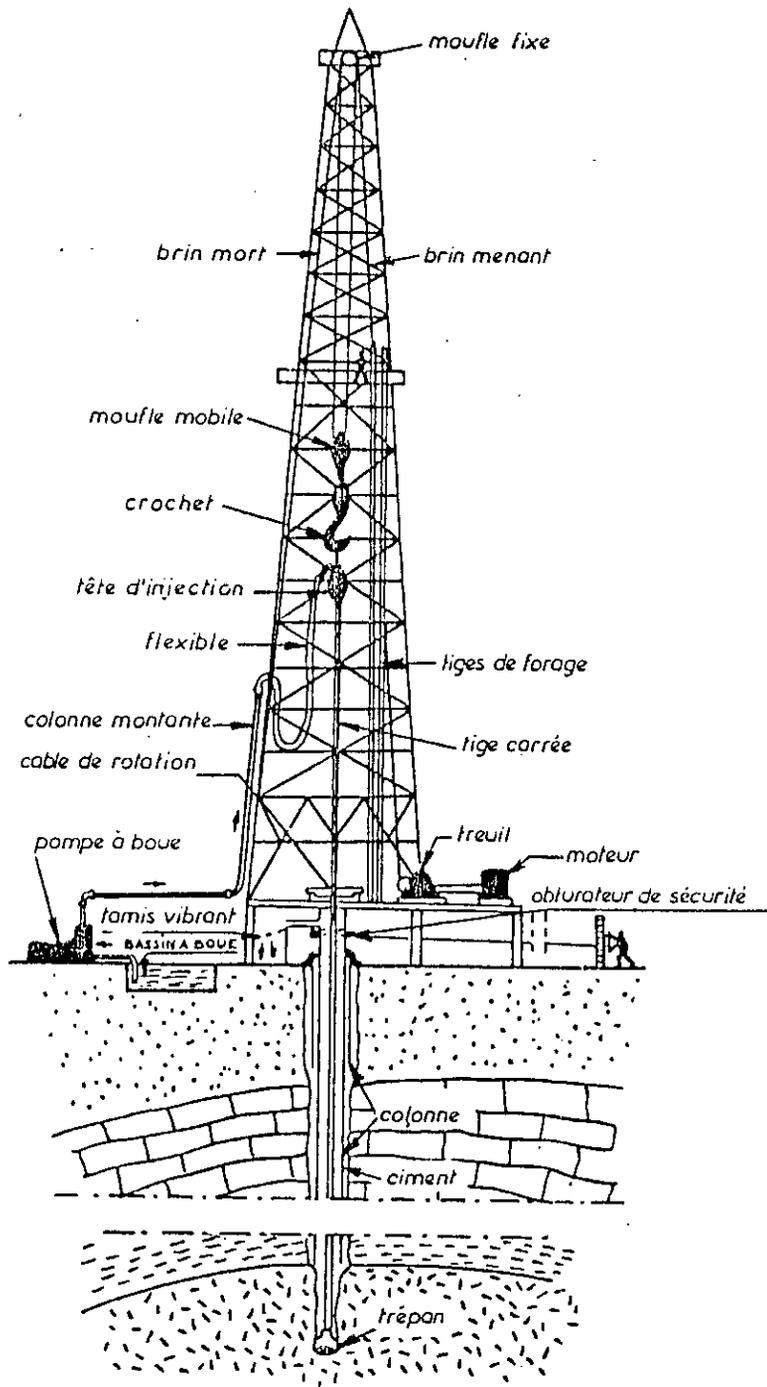


Planche 1. Schéma d'une installation de forage rotary.

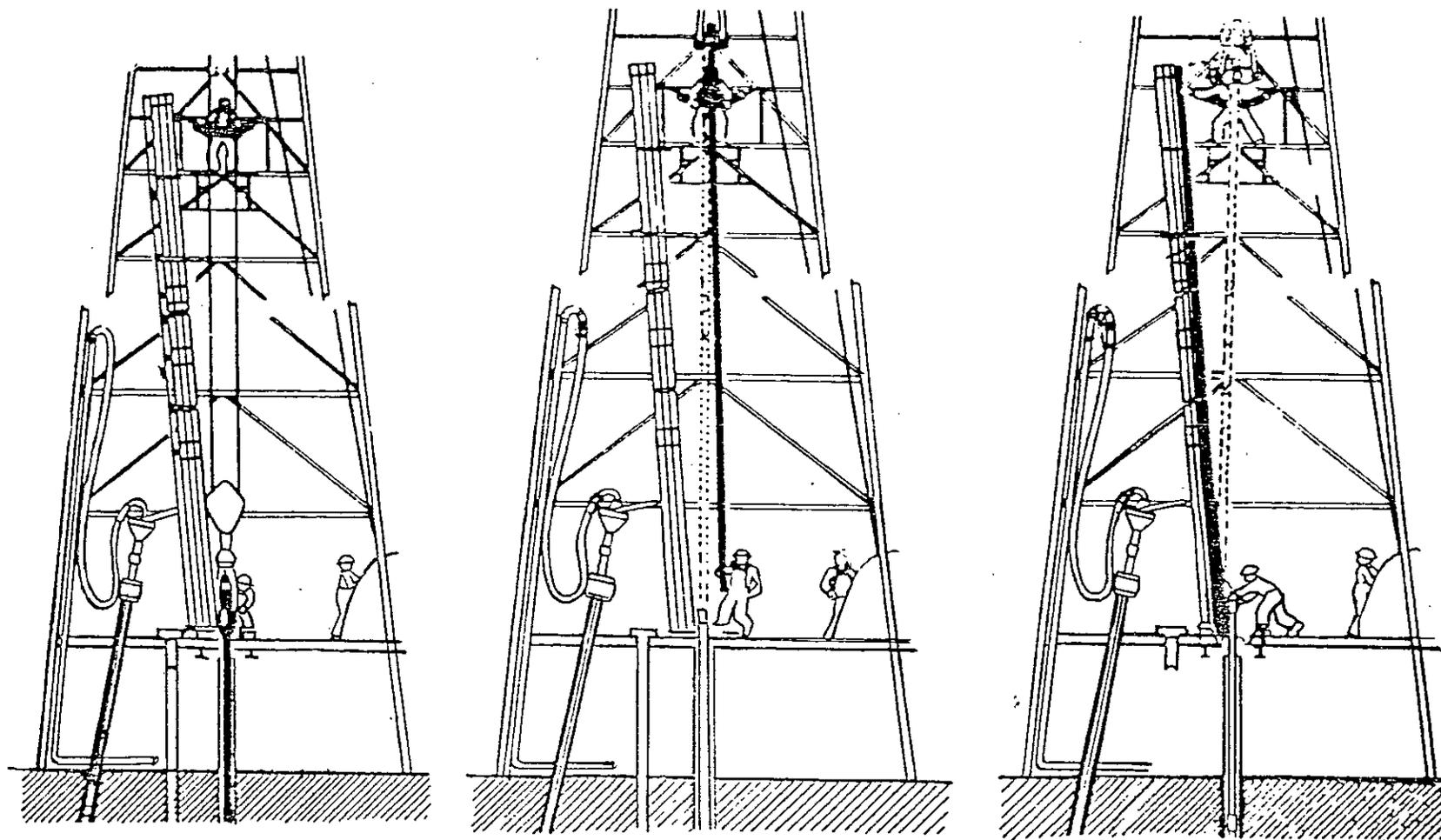
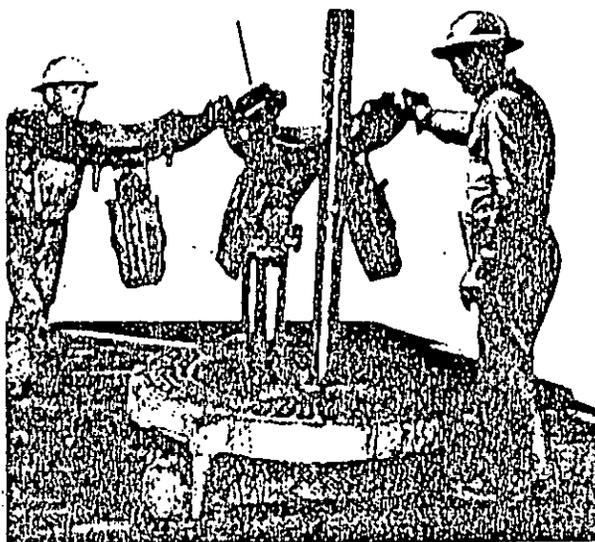
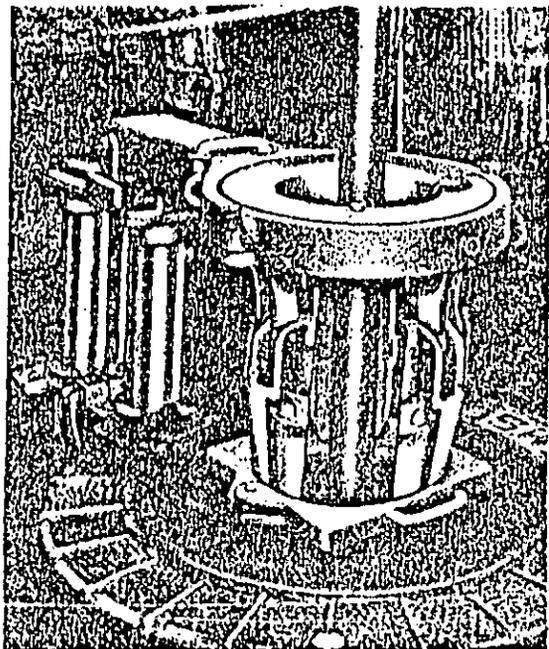
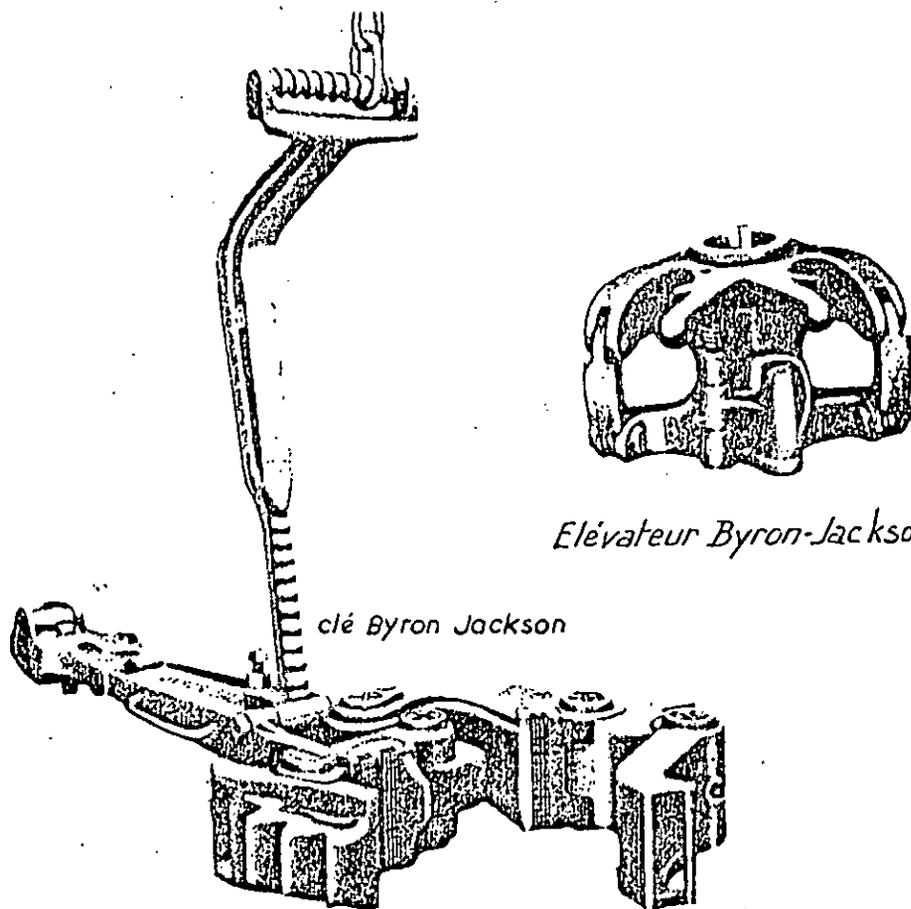


Planche 28. Manœuvre de remontée des tiges de forage.



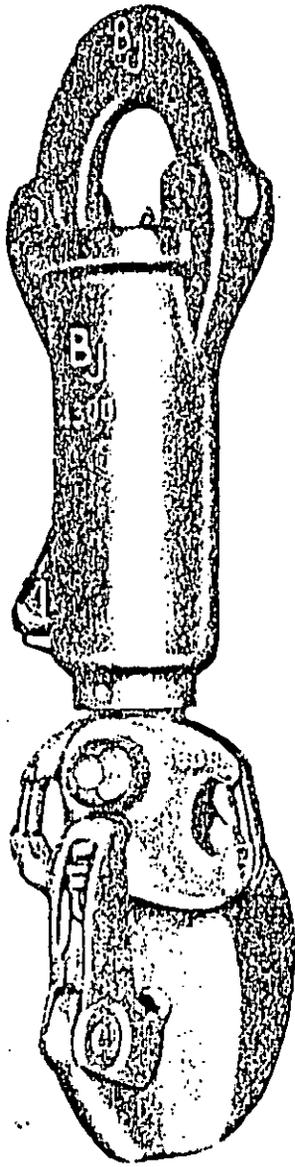
Coins automatiques "Byron Jackson".



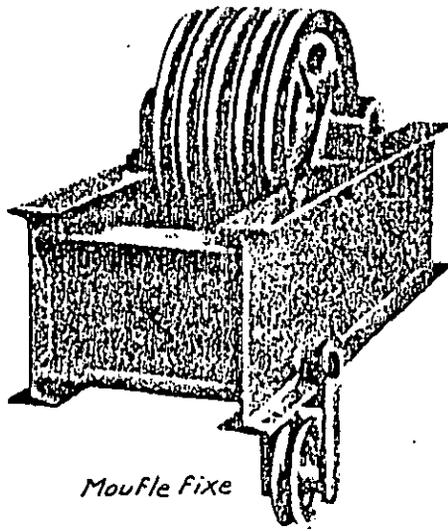
Elévateur Byron-Jackson

clé Byron Jackson

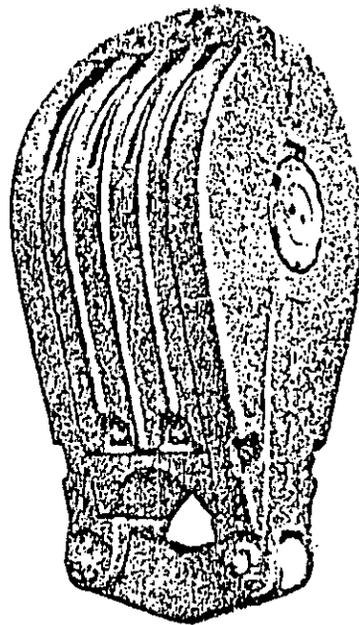
Planche 17.



Crochet de levage



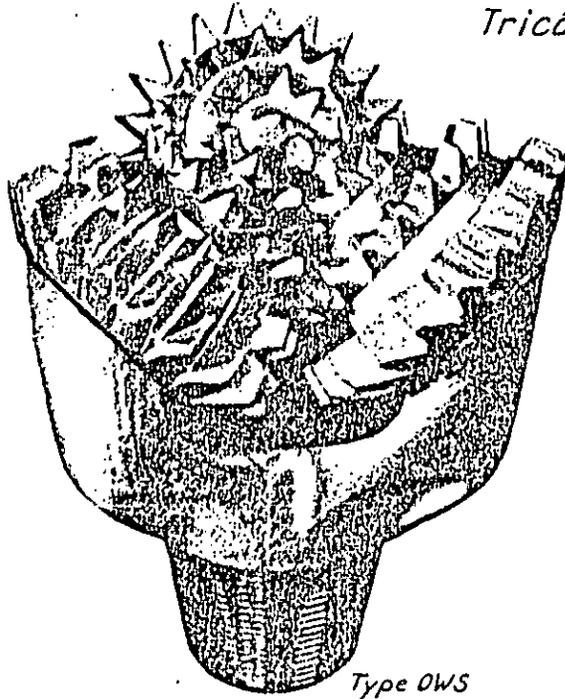
Moufle fixe



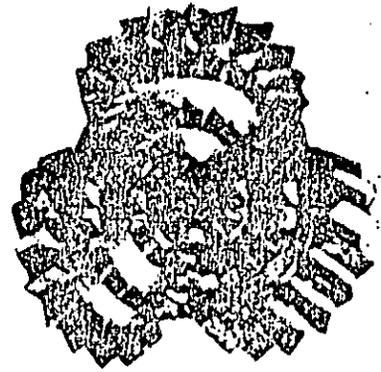
Moufle mobile

Planche 16a. Moufles et crochets.

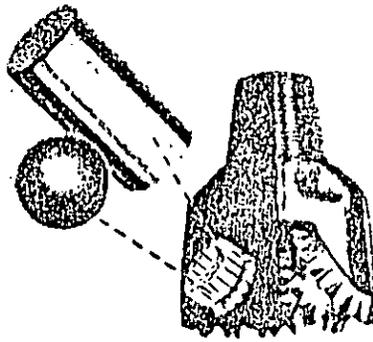
Tricônes Hughes



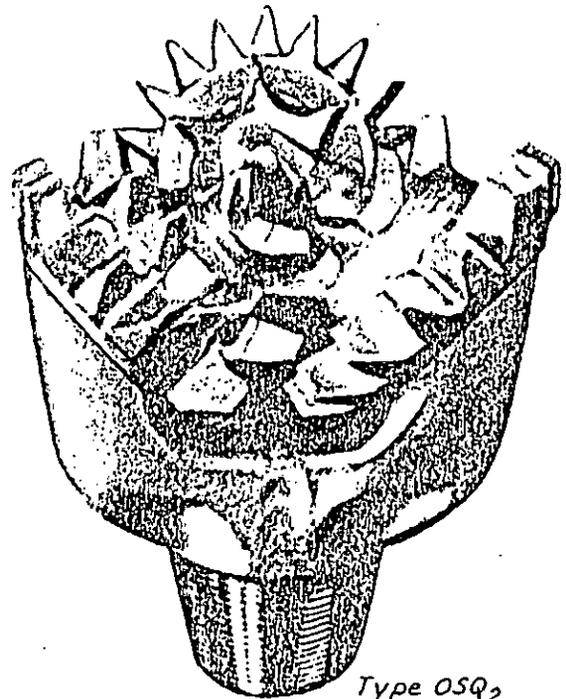
Type OWS



Vue de dessous



Montage des molettes



Type OSQ2

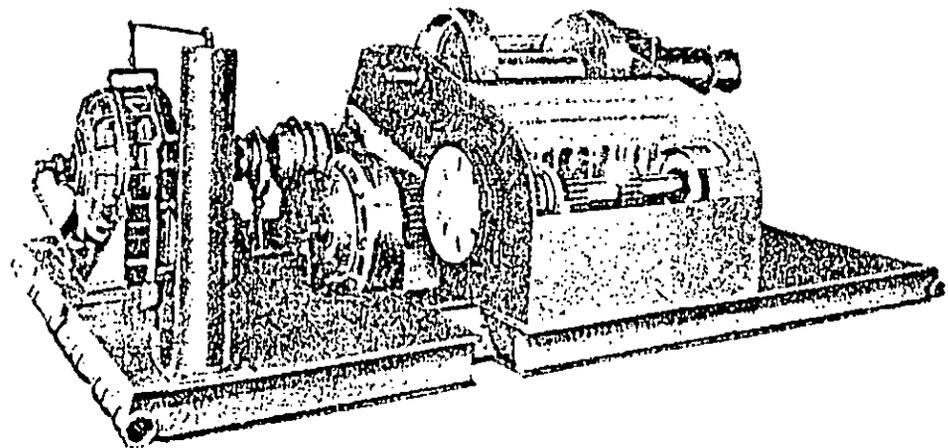
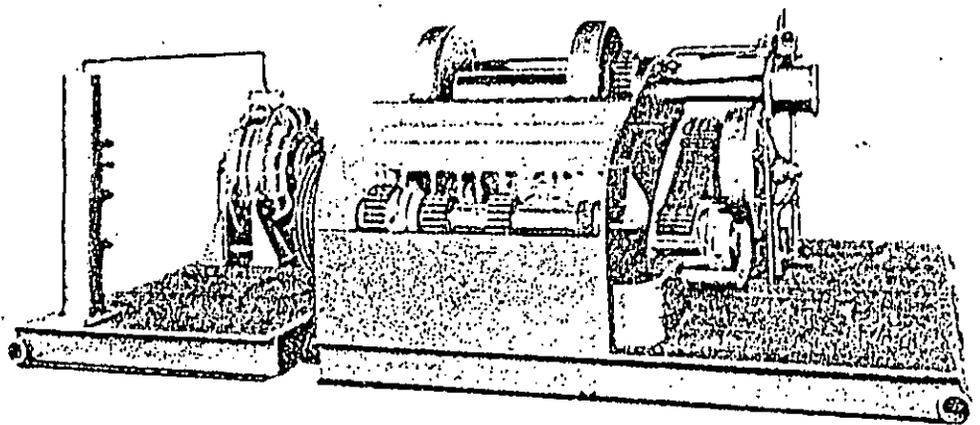
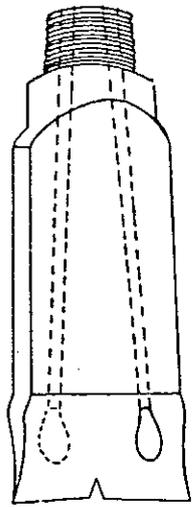
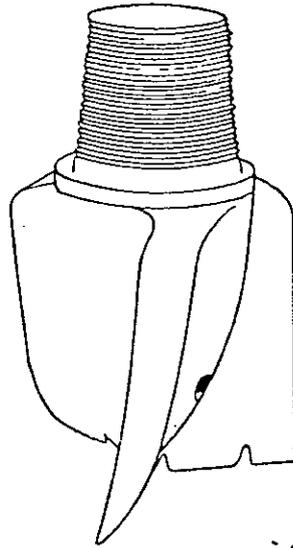


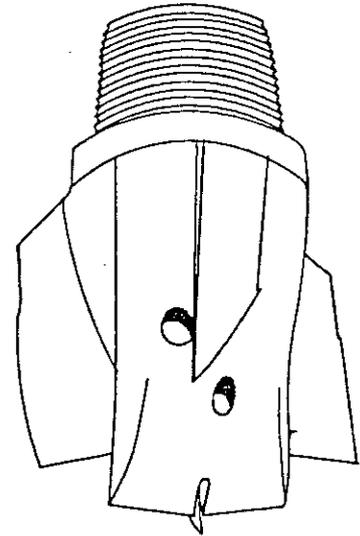
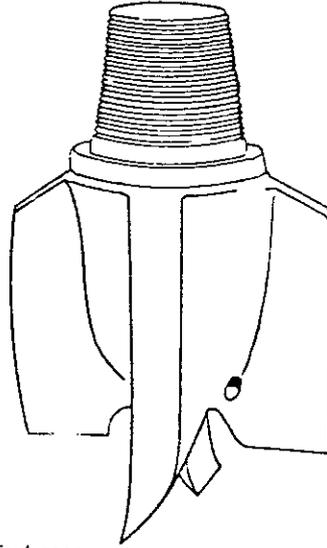
Planche 14. Treuils de forage.



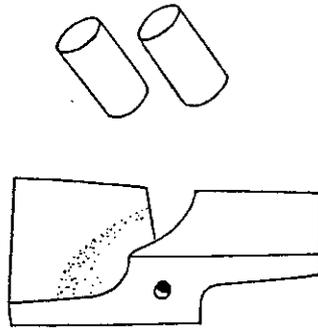
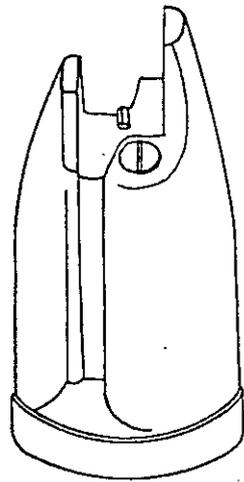
queue de poisson



à trois lames



à six lames



à lames amovibles

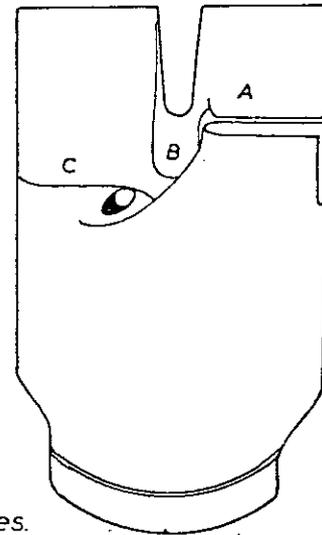


Planche. 4. Trépan à lames.

ANNEXE II

CLASSIFICATION DES APPAREILS DE FORAGE

CATEGORIE	ORIGINE	TYPE	S I G L E
LEGERES	AMERICAINE	OIL-WELL 2000 E	TP 169.
		I. 2500	TP 137.
		J. 1400	TP 139.
		OIL-WELL 840 E	TP 158, TP 159, TP 160, TP 161, TP 162, TP 180, TP 181, TP 182, TP 183, TP 184, TP 185.
		NATIONAL 110 UE	TP 127, TP 128, TP 129, TP 130.
		CABOT 1200	TP 179, TP 186, TP 187, TP 188, TP 189, TP 190, TP 191, TP 192.
LEGERES	ROUMAINE	3 DH 250	TP 132, TP 133, TP 134, TP 136.
	SOVIETIQUE	BRD 125	TP 151, TP 154, TP 155, TP 156, TP 157.
LEGERES	AMERICAINE	CABOT 750	TP 170, TP 171, TP 172, TP 173, TP 178.
	SOVIETIQUE	BU 80	TP 125, TP 146, TP 147,
APPAREILS INTERMEDIAIRES CABOT 500: TP 174, TP 175, TP 176, TP 177.			
LEGER	AMERICAINE	NATIONAL T 45	TP 123.
		CABOT COMET	TP 118.
	ROUMAINE	T 50	TP 113, TP 114, TP 115.

Annexe III

Démonstration :

$$C_p^n = \frac{p!}{n!(p-n)!} \quad ; \quad C_{p+q}^n = \frac{(p+q)!}{n!(p+q-n)!}$$

$$\frac{C_p^n}{C_{p+q}^n} = \frac{p! \times n! (p+q-n)!}{n! (p-n)! (p+q)!} = \frac{p!}{(p+q)!} \times \frac{(p+q-n)!}{(p-n)!}$$

$$= \frac{(p+q-n)(p+q-n-1)\dots(p-n+1)}{(p+q)(p+q-1)\dots(p+1)} = \left(\frac{p+q-n}{p+q}\right) \times \left(\frac{p+q-1-n}{p+q-1}\right) \dots \left(\frac{p+1-n}{p+1}\right)$$

Pour $n > 0$ et $x \geq 0$ nous avons $\frac{p+q-n-x}{p+q-x} < 1$.

Donc nous aurons :

$$\frac{C_p^n}{C_{p+q}^n} < 1 \Rightarrow C_p^n < C_{p+q}^n$$

Annexe IV

3 * le but de cette formulation est la recherche d'une solution optimale
 4 * afin de minimiser les couts de l'activite forage
 5 * modele ecrit par GROUSSI A. ET CHALAH A.
 6 Option LimRow = 0, LimCol = 0, Reslim = 100000000, Iterlim = 100000000;

7
 8 SETS

9
 10 K les appareils / TP136,TP137, ENF6,ENF20,ENF15 /
 11 I les puits /0*16/
 12 I1(I) /1*16/
 13 C(I) /6*16/
 14

15 ALIAS (I,J); Alias(i1, j1);
 16

17 PARAMETERS

18 VD(K) vitesse de deplacement de l'appareil k
 19 / TP136 10
 20 TP137 15
 21 ENF6 20
 22 ENF20 15
 23 ENF15 20 /
 24

25 VF(K) vitesse de forage de l'appareil k
 26 / TP136 50
 27 TP137 20
 28 ENF6 30
 29 ENF20 35
 30 ENF15 40 /
 31

32 F(J) la profondeur du puits J
 33 / 0 0
 34 1 10
 35 2 10
 36 3 300
 37 4 100
 38 5 150
 39 6 1200
 40 7 2100
 41 8 1300
 42 9 3600
 43 10 2200
 44 11 3100
 45 12 2800
 46 13 2250
 47 14 1700
 48 15 2000
 49 16 1900 /;
 50

51 TABLE D(I,J) distance entre puits

52

53		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	1	0	0	0	0	0	0	7	20	5	8	2	4	6	15	20	12	10
56	2	0	0	0	0	0	0	8	10	16	7	9	3	4	6	7	8	9
57	3	0	0	0	0	0	0	5	40	30	10	5	7	8	9	6	5	7
58	4	0	0	0	0	0	0	6	20	10	8	5	6	9	12	8	4	6

```

59      5  0  0  0  0  0  0  8  15  8  15  7  8  11  17  9  7  9
60      6  0  7  8  5  6  8  0  20  5  7  8  20  10  8  9  8  11
61      7  0  20  10  40  20  15  20  0  9  7  15  3  8  7  10  9  3
62      8  0  5  16  30  10  8  5  9  0  20  13  4  8  2  7  6  5
63      9  0  8  7  10  8  15  7  7  20  0  16  8  3  10  20  19  8
64     10  0  2  9  5  5  7  8  15  13  16  0  9  20  15  3  2  1
65     11  0  4  3  7  6  8  20  3  4  8  9  0  11  20  5  4  5
66     12  0  6  4  8  9  11  10  8  8  3  20  11  0  17  3  2  8
67     13  0  15  6  9  12  17  8  7  2  10  15  20  17  0  20  19  5
68     14  0  20  7  6  8  9  9  10  7  20  3  5  3  20  0  12  2
69     15  0  12  8  5  4  7  8  9  6  19  2  4  2  19  12  0  3
70     16  0  10  9  7  6  9  11  3  5  8  1  5  8  5  2  3  0 ;
71
72     SCALAR T la periode d'etude consideree /360/;
73
74     VARIABLES
75         X(K,I,J) l'affectation de l'appareil vers le puits
76         Z        distance totale parcourue
77         S(i,k)   temps de demarrage des operations pour le puits i1;
78
79     BINARY VARIABLE X(K,I,J) ;
80     POSITIVE VARIABLE S(i,k);
81
82     PARAMETER TF(I,K);
83         TF(I,K) = F(I)/VF(K);
84
85     EQUATIONS
86         DIST          fonction objectif
87         UNPAS(I1)    passage des appareils par chaque puits
88         FLOT(K,I1)   le passage d'un meme appareil par chaque puits
89         TIME(K)      temps de service de chaque appareil
90         SUBTOUR(K,I,J1) contraintes d'elimination de sous-tours;
91
92
93     DIST.. Z =E= SUM((K,I,J), D(I,J)*X(K,I,J)) ;
94     UNPAS(I1).. SUM((K,J), X(K,I1,J)) =E= 1 ;
95     FLOT(K,I1).. SUM(J, X(K,I1,J)) =E= SUM(J, X(K,J,I1)) ;
96     TIME(K).. SUM((I,J), (D(I,J)/VD(K)+TF(J,K))*X(K,I,J)) =L= T ;
97     SUBTOUR(K,I,J1).. S(I,k)-S(J1,k) =L= T-(T+TF(I,K)+D(I,J1)/
98         VD(K))*X(k,I,J1) ;
99     S.UP(I,k) = T;
100    S.L (I,k) = 0;
101
102    X.UP(K,I,I) = 0;
103    X.L (K,I,I) = 0;
104    X.LO(K,I,I) = 0;
105
106    * Affectations initiales (puits en cours de forage)
107    X.UP(k, '0', c) = 0;
108    X.LO(k, '0', c) = 0;
109
110    X.UP('TP136', '0', '1') = 1;
111    X.L ('TP136', '0', '1') = 1;
112    X.LO('TP136', '0', '1') = 1;
113
114    X.UP('TP137', '0', '2') = 1;
115    X.L ('TP137', '0', '2') = 1;
116    X.LO('TP137', '0', '2') = 1;
117
118    X.UP('ENF6', '0', '3') = 1;

```

```

119 X.L ('ENF6', '0', '3') = 1;
120 X.LO('ENF6', '0', '3') = 1;
121
122 X.UP('ENF20', '0', '4') = 1;
123 X.L('ENF20', '0', '4') = 1;
124 X.LO('ENF20', '0', '4') = 1;
125
126 X.UP('ENF15', '0', '5') = 1;
127 X.L('ENF15', '0', '5') = 1;
128 X.LO('ENF15', '0', '5') = 1;
129
130 MODEL FORAGE /DIST, UNPAS, FLOT, TIME, SUBTOUR/ ;
131 option MIP=ZOOM;
132 SOLVE FORAGE USING MIP MINIMIZING Z ;
133
134 DISPLAY X.L ;
135 display S.L;
136 display Z.L;

```

SETS

```

C
I      les puits
I1
J      Aliased with I
J1     Aliased with I1
K      les appareils

```

PARAMETERS

```

D      distance entre puits
F      la profondeur du puits J
T      la periode d'etude consideree
TF
VD     vitesse de deplacement de l'appareil i
VF     vitesse de forage de l'appareil i

```

VARIABLES

```

S      temps de demarrage des operations pour le puits i1
X      l'affectation de l'appareil vers le puits
Z      distance totale parcourue

```

EQUATIONS

```

DIST   fonction objectif
UNPAS  passage des appareils par chaque puits
FLOT   le passage d'un meme appareil par chaque puits
TIME   temps de service de chaque appareil
SUBTOUR contraintes d'elimination de sous-tours

```

MODELS

FORAGE

MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS	5	SINGLE EQUATIONS	1462
BLOCKS OF VARIABLES	3	SINGLE VARIABLES	1526
NON ZERO ELEMENTS	10301	DISCRETE VARIABLES	1300

GENERATION TIME = 2.310 SECONDS

EXECUTION TIME = 2.580 SECONDS VERID MW2-00-064
 probleme de forage (FORAGE,SEQ=1) 05/28/94 16:00:41 PAGE 4
 Solution Report SOLVE FORAGE USING MIP FROM LINE132 GAMS 2.25.064 386/486DOS

S O L V E S U M M A R Y

MODEL	FORAGE	OBJECTIVE	Z
TYPE	MIP	DIRECTION	MINIMIZE
SOLVER	ZOOM	FROM LINE	132

**** SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION
 **** MODEL STATUS 8 INTEGER SOLUTION
 **** OBJECTIVE VALUE 32.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT	2882.440	100000000.000
ITERATION COUNT, LIMIT	76490	100000000

Z O O M / X M P --- 386 Version 2.2 Nov 1990

Dr Roy E. Marsten and Dr Jaya Singhal,
 XMP Optimization Software Inc.
 Tucson, Arizona

Work space allocated -- 1.74 Mb

Note: The stopping tolerance is satisfied,
 but the solution may not be optimal.

No better solution than :	29.297479
	Relative Absolute
Actual distance	9.22441632E-02 2.7025214
Tolerances	0.10000000 0.00000000E+00

The branch and bound tree contained 731 nodes (max. 8200 nodes).

	Iterations	Time
Initial LP	490	11.36
Heuristic	78	48.12
Branch and bound	75910	2821.85
Final LP	12	0.50

**** REPORT SUMMARY :
 0 NONOPT
 0 INFEASIBLE
 0 UNBOUNDED

probleme de forage (FORAGE,SEQ=1)

05/28/94 16:00:41 P

AGE 21
Execution

GAMS 2.25.064 386/4

86 DOS

---- 134 VARIABLE X.L l'affectation de l'appareil vers le puits
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

TP136.0	1															
TP136.1									1							
TP136.10															1	
TP136.14	1															
TP136.16													1			
TP137.0		1														
TP137.2										1						
TP137.7	1															
TP137.11							1									
ENF6 .0			1													
ENF6 .3						1										
ENF6 .6								1								
ENF6 .8													1			
ENF6 .13	1															
ENF20.0				1												
ENF20.4															1	
ENF20.9	1															
ENF20.12									1							
ENF20.15												1				
ENF15.0					1											
ENF15.5	1															

---- 135 VARIABLE S.L temps de demarrage du forage pour le puits i1

	TP136	TP137	ENF6	ENF20
5			10.250	
7		155.900		
8			50.500	
9				140.600
10	0.400			
11		0.700		
12				60.400
13			93.933	
14	82.700			
15	360.000			3.124
16	44.500			

---- 136 VARIABLE Z.L = 32.000 distance totale parcourue

EXECUTION TIME = 2.250 SECONDS VERID MW2-00-064

USER: Catherine Lecomte
ENSIA - CEPAL, MASSY, France

G931125-1828A -MW2

**** FILE SUMMARY

INPUT D:\GAMS\16P5A.GMS
OUTPUT D:\GAMS\16P5A.LST

Annexe V

Nom	Type	X	Y	VF	VD	CIU	CDU	PRF
tp127	lourd	200	50	33	5	20	4	0
tp100	lourd	200	180	30	8	20	4	0
tp139	lourd	50	70	23	5	20	4	0
enf6	lourd	430	105	30	8	25	8	0
enf13	lourd	60	60	18	5	18	5	147
enf15	lourd	210	53	38	5	27	6	0
tp136	lourd	110	15	27	7	22	5	1032
tp147	leger	320	90	28	7	10	2	1049
enf8	lourd	80	12	18	6	20	6	0
tp182	lourd	130	15	35	7	18	5	0
tp125	leger	360	60	34	4	10	2	1702
tp146	leger	140	15	29	9	9	3	0
tp156	lourd	362	59	35	12	20	4	0
tp178	lourd	392	78	26	5	10	6	0
enf20	lourd	450	100	22	7	16	5	0
enf21	lourd	480	150	24	8	18	4	0
tp132	lourd	140	150	27	6	14	3	48
tp181	lourd	154	196	29	9	19	5	0
enf14	lourd	180	80	25	8	21	6	0
tp134	lourd	80	120	25	6	17	8	198

Liste des appareils

Nom	X	Y	Pr
omoha-2	80	30	1424
omoha-4	10	20	1431
omnha-3	70	29	1410
omn-24	50	40	3640
omn-25	35	60	3442
md-450	90	45	3548
omp-312	85	60	3439
md-452	85	31	3492
rdc-6	17	69	3788
oml-661	23	68	3506
md-455	10	10	3460
md-45	75	28	3118
mdz-453	90	60	4063
omoha-1	24	150	1445
md-454	70	180	3404
ar-43	99	180	3132
ar-44	80	160	3135
teg-10	410	95	3160
teg-11	415	34	3065
teg-9	450	22	3121
teg-12	485	57	1228
brn-9	215	115	3903
brn-11	250	150	3915
brn-12	230	110	3903
brn-8	205	130	3900
brn-10	290	120	3812
brn-16	270	160	2092
tft-273	305	53	2104
tft-274	315	65	2083
tft-276	325	10	1995
tft-271	330	20	2125
tft-272	360	50	2124
tftnw-2	300	35	2154
trnw-4	360	90	2100
tft-320	350	70	2100
tft-325	370	25	2161
tft-326	329	49	2200
tft-321	390	12	2150
hamra-19	110	22	2262
hamra-21	140	80	2258
hamra-22	153	39	2185
okr-111	220	50	3380
oks-77	253	90	3480
dimw-8	312	175	2893
zr-209	412	153	1357
zr-210	450	180	1350
zr-217	490	113	1363
zr-215	470	125	1372
stah-301	450	120	2950
stah-205	480	103	1095

Liste des puits

Appareil	puits(date de debut de forage)/duree		
tp127	okr-111(1- 1)/102	oks-77(17- 4)/105	brn-12(13- 8)/118
tp100	brn-8(1- 1)/130	brn-9(17- 5)/130	
tp139	omn-25(1- 1)/150	oml-661(4- 6)/152	
enf6	teg-9(1- 1)/104		
enf13	omn-24(9- 1)/202		
enf15	brn-10(1- 1)/100	brn-11(2- 5)/103	
tp136	md-45(9- 2)/115	md-452(10- 6)/129	
tp147	tft-274(8- 2)/ 74 tft-276(3/10)/ 71	tft-273(26- 4)/ 75	tftnw-2(14- 7)/ 77
enf8	rdc-6(1- 1)/210		
tp182	hamra-19(1- 1)/ 65	hamra-22(9- 3)/ 62	
tp125	stah-205(21- 2)/ 32 teg-12(25/ 7)/ 36	zr-217(25- 4)/ 40 zr-209(18- 9)/ 40	zr-215(9- 6)/ 40
tp146	omoha-2(1- 1)/ 49 omoha-1(13/ 6)/ 50	omnha-3(27- 2)/ 49 hamra-21(17- 8)/ 78	omoha-4(17- 4)/ 49
tp156	tft-326(1- 1)/ 63	tft-271(7- 3)/ 61	tft-321(10- 5)/ 61
tp178	trnw-4(1- 1)/ 81 tft-325(20/ 9)/ 83	tft-320(29- 3)/ 81	tft-272(24- 6)/ 82
enf20	teg-10(1- 1)/144	teg-11(30- 5)/139	
enf21	zr-210(1- 1)/ 56		
tp132	brn-16(3- 1)/ 77	dimw-8(12- 4)/107	stah-301(7- 8)/109
tp181	ar-43(1- 1)/108	ar-44(25- 4)/108	md-454(17- 8)/117
enf14	mdz-453(1- 1)/163	md-455(25- 6)/138	
tp134	omp-312(9- 1)/138	md-450(7- 6)/142	

Liste des affectations

Critere : cout

Taux maximal : 100 %

Appareil	taux d'utilisation %
tp127	94.6
tp100	74.0
tp139	84.9
enf6	28.9
enf13	58.4
enf15	62.3
tp136	80.1
tp147	95.5
enf8	58.5
tp182	36.1
tp125	82.6
tp146	84.4
tp156	52.9
tp178	95.0
enf20	80.2
enf21	15.6
tp134	82.6
enf14	86.8
tp134	82.6

Liste des taux d'utilisation

Critere : cout

Taux d'utilisation maximal : 100 %

Appareil	puits(date de debut de forage)/duree		
tp127	omp-312(1- 1)/104	rdc-6(8- 5)/115	
tp100	brn-8(1- 1)/130	brn-9(17- 5)/130	brn-16(30- 9)/ 70
tp139	omn-25(1- 1)/150	oml-661(4- 6)/152	
enf6	teg-10(1- 1)/105		
enf13	omn-24(9- 1)/202	omoha-4(6- 8)/ 80	
enf15	okr-111(1- 1)/ 89	oks-77(2- 4)/ 92	brn-12(14- 7)/103
tp136	hamra-19(9- 2)/ 84		
tp147	tft-274(8- 2)/ 74	tft-273(26- 4)/ 75	tftnw-2(14- 7)/ 77 tft-326(3/10)/ 79
enf8	md-45(1- 1)/173	omnha-3(27- 6)/ 78	omoha-2(16- 9)/ 79
tp182	md-452(1- 1)/100	md-450(18- 4)/101	mdz-453(1- 8)/116
tp125	tft-320(21- 2)/ 62	trnw-4(26- 4)/ 62	dimw-8(4- 7)/ 85
tp146	hamra-22(1- 1)/ 75		
tp156	tft-272(1- 1)/ 61	tft-325(2- 3)/ 62	tft-321(6- 5)/ 61 tft-271(10/ 7)/ 61
tp178	teg-11(1- 1)/118	teg-9(9- 5)/120	teg-12(16- 9)/ 47
enf20	stah-301(1- 1)/134	zr-215(18- 5)/ 62	zr-217(23- 7)/ 62 stah-205(29/ 9)/ 50
enf21	zr-210(1- 1)/ 56	zr-209(3- 3)/ 57	
tp132	ar-43(3- 1)/116	md-455(7- 5)/128	
tp181	brn-11(1- 1)/135	brn-10(28- 5)/131	
enf14	hamra-21(1- 1)/ 90		
tp134	ar-44(9- 1)/125	md-454(21- 5)/136	omoha-1(11-10)/ 58

Liste des affectations

Critere : distance

taux maximal : 100 %

Appareil	taux d'utilisation %

tp127	67.2
tp100	94.0
tp139	84.9
enf6	29.3
enf13	81.8
enf15	82.1
tp136	33.9
tp147	97.5
enf8	92.9
tp182	90.6
tp125	74.4
tp146	20.9
tp156	86.6
tp178	84.0
enf20	88.1
enf21	32.8
tp132	70.7
tp181	77.3
enf14	25.1
tp134	93.8

Liste des taux d'utilisation

Critere : distance

Taux d'utilisation maximal : 100 %

Appareil	puits(date de debut de forage)/duree		
tp127	okr-111(1- 1)/102 brn-9(18/12)/118	oks-77(17- 4)/105	brn-12(13- 8)/118
tp100	brn-8(1- 1)/130	brn-11(17- 5)/131	mdz-453(4-10)/135
tp139	md-455(1- 1)/150		
enf6			
enf13			
enf15			
tp136			
tp147	tft-274(8- 2)/ 74 tft-276(3/10)/ 71	tft-273(26- 4)/ 75 tft-271(20-12)/ 76	tftnw-2(14- 7)/ 77
enf8			
tp182	md-45(1- 1)/ 89 omp-312(3/11)/ 98	md-452(8- 4)/100	md-450(19- 7)/101
tp125	stah-205(21- 2)/ 32 teg-12(25/ 7)/ 36 trnw-4(20/13)/ 62	zr-217(25- 4)/ 40 zr-209(18- 9)/ 40	zr-215(9- 6)/ 40 zr-210(29-11)/ 40
tp146	omoha-2(1- 1)/ 49 omoha-1(13/ 6)/ 50 hamra-19(10/14)/ 78	omnha-3(27- 2)/ 49 hamra-21(17- 8)/ 78	omoha-4(17- 4)/ 49 hamra-22(20-11)/ 75
tp156	teg-11(1- 1)/ 88 brn-10(13/10)/109	teg-9(3- 4)/ 89	teg-10(6- 7)/ 90
tp178	tft-320(1- 1)/ 81 tft-321(25/ 9)/ 83	tft-272(30- 3)/ 82 tft-326(22-12)/ 85	tft-325(26- 6)/ 83
enf20			
enf21			
tp132	brn-16(3- 1)/ 77	dimw-8(12- 4)/107	stah-301(7- 8)/109
tp181	ar-43(1- 1)/108 omn-25(16/12)/119	ar-44(25- 4)/108	md-454(17- 8)/117
enf14			
tp134	oml-661(9- 1)/140	rdc-6(12- 6)/152	omn-24(15-11)/146

Liste des affectations.

Critere : cout

Taux maximal : 140 %

Appareil	taux d'utilisation %
tp127	129.1
tp100	113.4
tp139	41.8
enf6	0.0
enf13	0.0
enf15	0.0
tp136	0.0
tp147	118.0
enf8	0.0
tp182	111.2
tp125	122.4
tp146	132.6
tp156	108.6
tp178	121.1
enf20	0.0
enf21	0.0
tp132	90.2
tp181	128.9
enf14	0.0
tp134	127.5

Liste des taux d'utilisation

Critere : cout

Taux d'utilisation maximal : 140 %

Appareil	puits(date de debut de forage)/duree		
tp127			
tp100	brn-8(1- 1)/130	brn-9(17- 5)/130	brn-12(30- 9)/130
tp139	omn-25(1- 1)/150	oml-661(4- 6)/152	rdc-6(10-11)/165
enf6	teg-10(1- 1)/105		
enf13	omn-24(9- 1)/202	md-452(6- 8)/194	
enf15	okr-111(1- 1)/ 89 brn-16(4/11)/ 55	oks-77(2- 4)/ 92 dimw-8(8-13)/ 76	brn-10(14- 7)/100
tp136	hamra-19(9- 2)/ 84		
tp147	tft-274(8- 2)/ 74 tft-326(3/10)/ 79	tft-273(26- 4)/ 75 tft-271(27-12)/ 76	tftnw-2(14- 7)/ 77
enf8	md-45(1- 1)/173 omoha-4(7/12)/ 80	omnha-3(27- 6)/ 78	omoha-2(16- 9)/ 79
tp182	md-450(1- 1)/101 md-455(27/11)/ 99	mdz-453(20- 4)/116	omp-312(18- 8)/ 98
tp125	tft-320(21- 2)/ 62	trnw-4(26- 4)/ 62	
tp146	hamra-22(1- 1)/ 75		
tp156	tft-272(1- 1)/ 61 tft-276(10/ 7)/ 57	tft-325(2- 3)/ 62	tft-321(6- 5)/ 61
tp178	teg-11(1- 1)/118	teg-9(9- 5)/120	
enf20	stah-301(1- 1)/134 stah-205(29/ 9)/ 50	zr-215(18- 5)/ 62 teg-12(20-11)/ 56	zr-217(23- 7)/ 62
enf21	zr-210(1- 1)/ 56	zr-209(3- 3)/ 57	
tp132			
tp181	brn-11(1- 1)/135		
enf14	hamra-21(1- 1)/ 90		
tp134	ar-44(9- 1)/125 omoha-1(21/14)/ 58	md-454(21- 5)/136	ar-43(11-10)/125

Liste des affectations

Critere : distance

Taux d'utilisation maximal : 140 %

Appareil	taux d'utilisation %
tp127	0.0
tp100	110.8
tp139	131.5
enf6	29.3
enf13	113.6
enf15	123.0
tp136	33.9
tp147	119.9
enf8	115.4
tp182	117.9
tp125	49.2
tp146	20.9
tp156	68.3
tp178	68.8
enf20	104.2
enf21	32.8
tp132	0.0
tp181	37.5
enf14	25.1
tp134	129.9

Liste des taux d'utilisation

Critere : distance

Taux d'utilisation maximal : 140 %