

10/95
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التربية الوطنية

MINISTRE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT **Génie Industriel**

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**Modélisation du process de production
de composants dérivés du pétrole
Application : Raffinerie d'Alger**

Proposé par :

Mr R.BENCHERIF

Etudié par :

S. NAÏT-KACI
L. OUADAHI

Dirigé par :

Melle N.ABOUN
Mme O. BELMOKHTAR

PROMOTION

Juillet 1995

*A mes parents,
à mes neveux Ahmed, Asma et Yasmine
et à tous mes amis.*

Sabéha.

*A mes parents
A mes grands parents
A Myriam
A Nadir
A Djamila et à tous les membres de ma famille
A Mina et à tous mes amis.*

Louiza.

Remerciements

Nous tenons à adresser nos remerciements les plus sincères à tous ceux qui nous ont aidés et soutenus jusqu'à la réalisation complète de ce travail.

Nous pensons en particulier à nos promotrices : Melle N. Aboun et Mme O. Belmokhtar pour leur constante assistance, leur aide continuelle, leur confiance et leurs encouragements. Nous tenons aussi à les remercier pour les conseils judicieux qu'elles nous ont prodigués tout au long de la progression de cette présente étude.

Nous sommes reconnaissantes à Mr Bencherif de la SONATRACH qui nous a fourni le sujet de ce travail et qui nous a encouragé à le réaliser.

Ce travail n'aurait pu être réalisé sans la contribution de l'équipe de la Raffinerie d'Alger. Nous les remercions bien vivement pour l'accueil qui nous a été réservé. Nous pensons en particulier à Mrs Yaguer, Boudkane et Ladjouzi qui nous ont fait profiter de leur expérience avec beaucoup de compétence et de dévouement.

Nos remerciements vont également à Mr H. Sari pour son aide et ses suggestions. Malgré ses nombreuses occupations, il a su trouver le temps de s'intéresser à ce modeste travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à Mr OUIABDESSELAM, professeur à l'E.N.P., qui a bien voulu accepter de présider le jury de soutenance de ce mémoire.

Nous remercions Mr Lamraoui et MeKarnia pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail en acceptant de faire partie du jury.

Enfin, nous n'oublierons pas de remercier tous les enseignants qui ont contribué à notre formation durant le cursus universitaire.

Résumé

Cette étude est consacrée à la modélisation d'un processus de production au sein de la Raffinerie d'Alger.

Le modèle établi est linéaire et se formule en variables mixtes. Il décrit le comportement du processus de fabrication de la chaîne considérée face à des situations concrètes définies par les données de stockage, les demandes en produits finis, les spécifications légales imposées à ces mêmes produits, etc.

Le modèle a été muni de plusieurs programmes écrit en Turbo Pascal. Ces programmes permettent de générer tous les coefficients du problème et d'introduire les paramètres qui les pondèrent. Pour faciliter l'exploitation du modèle et des différents programmes qui lui ont été associé, nous avons établi une interface utilisateur permettant l'introduction des données du problème, le choix de l'objectif à atteindre, la résolution et la lecture des résultats obtenus.

Abstrat

The present study is consecrated to the modelisation of the production process in Algiers Rafinery.

The model established is linear with mixed variables. The model describe the behave of the production process of the chain considerate in the opposite of concrete situations : stock level, demand of finished products, quality specifications ...

The model have been provided by differents programs written in Turbo Pascal. These programs allow to generate all the model coefficients and introduct the parameters of the probleme. In order to make easy the exploitation of the model and the differents programs, we have established a user interface which permitted to introduct the model parameters, to choose the objectif, to resolve the probleme and to read the solutions.

ملخص
فحصت هذه الدراسة لإقامة نموذج خاص بشبكة إنتاجية بتركيب تكنولوجي
البنزول بالجزائري العاصمة.
النموذج المتعمل عليه خطي ذو متغيرات مزدوجة، وهو يهدف تصورات شبكة
الإنتاج للمرونة أمام معطيات حقيقية: معطيات التخزين، طلب المنتوجات
البنزولية...
زود النموذج بعدة برامج تسمح بحساب كل مؤشرات المسألة وإدخال كل
المعطيات المستحقة لذلك.
لتسهيل استغلال النموذج وصقل البرامج أنشأنا صولة للمتعامل تسمح
بإدخال المعطيات، بإدخال الهدف المراد وأخيراً بقرادة النتائج
المتحصل عليها.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : LE RAFFINAGE

I.1. Introduction	3
I.2. Le Raffinage	4
I.2.1. Principe	4
I.2.2. Procédés	
a) Techniques de séparation	
b) Techniques de transformation ou de conversion	
- Procédés thermiques	
- Procédés catalytiques	6
I.2.3. Produits fabriqués en raffinerie	6
I.2.4. Définition des caractéristiques	
a) Densité	
b) Tension de vapeur Reid (T.V.R.)	
c) Teneur en soufre	
d) Indice d'octane	
e) Point initial	
f) Point final	
g) Intervalle de distillation	8
I.2.5. Définitions relatives aux unités de production	
a) Charge	
b) Taux de charge	
c) Rendement d'un produit	
d) Marche-type	
e) Sévérité	9
I.3. En Algérie...	9
I.3.1. Historique et intérêt	9
I.3.2. Raffineries existantes	

CHAPITRE II : La Raffinerie d'Alger

II.1. Historique	11
II.2. Situation géographique	12
II.3. Champs couverts	12
II.4. Approvisionnement	12
II.5. Capacité	13
II.6. Production	13
II.7. Processus de fabrication	14
II.7.1. Moyens d'approvisionnement	14
II.7.2. Unité de distillation atmosphérique	14
II.7.3. Unité de Platforming	15
II.7.4. Unité de Gas-plant	16
II.7.5. Station d'éthylation	16
II.7.6. Installations pour le mélange des produits en ligne	17

II.7.7. Installations de stockage	18
II.7.8. Unité de pomperie d'expédition	18
II.7.9. Centrales d'utilités	18
II.8. Contrôle des unités de production	20
II.9. Personnel de la Raffinerie d'Alger	20
II.10. Problématique	22
II.11. Chaîne étudiée	23

CHAPITRE III : CONSTRUCTION DU SCHEMA DE MODELISATION

III.1. Marches des unités de fabrication	24
III.1.1. Unité de Topping	24
III.1.2. Unité de Platforming	25
III.1.3. Unité de Gas-plant	26
III.1.4. Station d'éthylation	29
III.2. Modélisation de la chaîne considérée	29
III.2.1. Principes de construction du schéma de modélisation	29
a) 1er principe	
b) 2ème principe	
III.2.2. Modélisation de l'unité de Topping	
III.2.3. Modélisation de l'unité de Platforming	30
III.2.4. Modélisation de l'unité de Gas-plant	30
III.2.5. Modélisation de la station d'éthylation	30
III.2.6. Produits finis	31
III.3. Caractéristiques des unités de fabrication	36
III.3.1. Taux de charge et rendements des unités de Topping	36
III.3.2. Taux de charge et rendements des unités de Platforming	36
III.3.3. Taux de charge et rendements des unités de Gas-plant	36

CHAPITRE IV : Le modèle mathématique

IV.1. Modélisation dans les secteurs de raffinage à travers le monde	39
IV.2. Présentation du modèle	41
IV.2.1. Variables du modèle	41
IV.2.2. Contraintes du modèle	41
IV.2.2.1. Contraintes de capacités de production	
IV.2.2.2. Equations de bilan-matière	
IV.2.2.3. Contraintes de stockage	
IV.2.2.4. Contraintes de spécifications ou de qualité	
IV.2.2.5. Contraintes de capacités d'expédition	
IV.2.2.6. Contraintes de satisfaction de la demande	
IV.2.3. La fonction objectif	43
IV.3. Formulation mathématique du modèle	44
IV.3.1. Variables du modèle	44
IV.3.2. Contraintes du modèle	46
IV.3.2.1. Contraintes de capacité de production	

a) Les unités de fabrication	
b) La mélangeuse des carburants	
IV.3.2.2. Equations de bilan-matière	
A/ Equations relatives aux produits	
A.1. Equations bilans	
A.1.1. Au niveau des unités de fabrication	
A.1.2. Au niveau des opérations de mélange	
A.2. Equations de liaison	
B/ Bilans relatifs aux utilités principales	
B.1. Les gaz combustibles	
B.1.1. Bilan des fuel-gaz	
B.1.2. Contrainte due au minimum de gaz à torcher	
B.1.3. Contrainte due à la limitation de la quantité de gaz importée	
B.2. L'électricité	
B.2.1. Bilan	
B.2.2. Contrainte due à la limitation de la puissance électrique disponible en usine	
IV.3.2.3. Contraintes de stockage	
A/ Contraintes du premier type	
B/ Contraintes du deuxième type	
C/ Contraintes du troisième type	
IV.3.2.4. Contraintes de spécifications	
A/ Densité	
B/ T.V.R.	
C/ Taux d'éthylation	
D/ Indice d'octane (Research Octane Number)	
E/ Teneur en paraffines, naphènes et aromatiques	
IV.3.2.5. Contraintes de capacité d'expédition	
IV.3.2.6. Contraintes de demande	
IV.3.3. Fonction objectif	78
IV.3.3.1. Coût de la matière première	
IV.3.3.2. Coût des opérations de raffinage	
a) Coût de la distillation atmosphérique	
b) Coût du Platforming	
c) Coût du Gas-plant	
d) Coût de fabrication des carburants	
e) Coût de stockage	
f) Coût d'expédition	
IV.4. Caractéristiques du modèle	83
IV.4.1. Nature du modèle	83
IV.4.2.. Complexité du modèle	83
IV.4.3. Objectif du modèle	84
IV.4.4. Apport du modèle	84
IV.5. Différents objectifs	85
IV.5.1. Les différentes variantes du modèle de base	86
A/ Maximisation de la production de supercarburant	

- B/ Satisfaction de la demande de supercarburant au moindre coût
 C/ Satisfaction de la demande de supercarburant en assurant une production minimale de carburant auto au moindre coût
 D/ Minimisation du coût d'approvisionnement de la région centre

CHAPITRE V : Mise en oeuvre du modèle

V.1. Le modèle testé	90
V.1.1. Taille du modèle	90
V.1.2. Période de programmation	90
V.2. Particularités du modèle	90
V.2.1. Paramètres techniques	91
V.2.2. Paramètres économiques	91
V.3. Essai d'application	91
V.3.1. Outil de résolution	92
V.3.2. Formalisation du modèle en GAMS	92
V.4. Introduction des paramètres	93
V.4.1. Génération de la matrice du problème	93
V.5. Interface utilisateur du modèle	97
V.6. Application du modèle à une situation vécue	100
V.7. Etude et interprétation des résultats	100
V.7.1. Optimum libre	101
V.7.2. Variante 1	101
V.7.3. Variante 2	102
V.7.4. Variante 3	102
V.7.5. Détermination du niveau maximal de production de carburant auto	105
V.8. Analyse de sensibilité	105

CHAPITRE VI : Extensions du modèle

VI.1. Introduction de la deuxième sous-chaîne	107
VI.2. Aspect dynamique du modèle	107
VI.2.1. Le modèle multipériodique	111
VI.2.2. Formulation du modèle dynamique	114

Conclusion générale

- ANNEXE 1: Données utilisées pour tester le modèle
 ANNEXE 2: Données sur le raffinage

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Introduction générale

Introduction générale

Le but de l'industrie du raffinage est fondamentalement de transformer, en mettant en oeuvre une série de procédés techniques, le pétrole brut en produits pétroliers utilisables. Ces derniers sont destinés à satisfaire la demande quantitative et qualitative d'un marché de l'énergie chaque jour plus exigeant. Cela confère à cette industrie un caractère dynamique, l'obligeant à adapter continuellement son schéma de production à la situation économique.

Le problème du choix des procédés de fabrication, des conditions optimales de fonctionnement des unités et des produits finis à élaborer est à la fois technique et économique. Il constitue un problème d'optimisation dont la solution devrait conduire au schéma de fabrication le plus approprié de façon à minimiser un coût global de traitement.

En Algérie, l'utilisation des modèles de raffinage n'est pas d'usage courant et cela pour des raisons d'ordres financier et technologique.

En effet, les raffineries algériennes ont été réalisées à grands frais et le pays se devait d'assurer, en priorité, la maîtrise du fonctionnement des unités et la régularité de la production [34].

Mais, compte tenu du rôle prépondérant des hydrocarbures comme source de profits et des nouvelles données économiques mondiales, la mise au point de modèles d'organisation optimale des raffineries devient nécessaire.

L'établissement de tels modèles suppose la connaissance et la description des différentes installations, du processus de production, de l'état du stock et des spécifications des produits bruts ainsi que celles des produits finis.

La taille de ces modèles est importante et nécessite, selon leur application, un certain nombre d'agrégations qui peuvent être faites à différents niveaux :

- les produits finis ayant les mêmes caractéristiques pourront être regroupés en familles qui constitueront des produits fictifs ;
- les installations pourront être décrites par les points les plus représentatifs...

Dans ce contexte, l'objectif de notre travail, mené dans le cadre de l'industrie du raffinage, est de contribuer à l'établissement d'un modèle d'organisation de la production pour la Raffinerie d'Alger. L'intérêt d'un tel modèle est :

- d'améliorer la compréhension du fonctionnement du système et par là même la gestion des unités de production
- de visualiser les liaisons reliant les différents composants du système et d'assurer la prise en compte des éléments agissant sur ces dernières
- et enfin d'apporter une assistance en vue d'une meilleure prise de décision.

Le premier chapitre dresse le paysage dans lequel nous nous situons : le raffinage, son principe, ses procédés, ses caractéristiques...

Ce chapitre met également l'accent sur le rôle et l'intérêt de l'industrie du raffinage en Algérie.

Au chapitre II, nous situons la Raffinerie d'Alger dans son contexte économique et géographique. Nous décrivons également le processus de fabrication de la Raffinerie, nous exposons enfin la nature du problème à étudier et la chaîne de production considérée.

L'objectif du chapitre III est de dresser le schéma général de programmation. Dans ce chapitre, sont examinées de plus près les marches des unités de fabrication et leurs caractéristiques.

Le chapitre IV est consacré à la formulation mathématique du modèle. A ce niveau, sont identifiées les variables de quantités à déterminer par le modèle, sont formulées dans le détail les différentes contraintes de ce dernier (capacité de production, bilans matière, spécification...) et sont présentés les différents objectifs susceptibles d'intéresser les responsables de la Raffinerie d'Alger.

Nous présentons, dans le chapitre V, un essai d'application du modèle de base et de quelques variantes définies au chapitre IV, suivi d'une analyse et d'une interprétation des résultats obtenus.

Enfin, dans le chapitre VI, quelques extensions du modèle établi sont proposées.

CHAPITRE I

Le Raffinage

I.1. Introduction

Depuis sa découverte, le pétrole est devenu la source d'énergie la plus utilisée dans le monde.

Matière brute contenant une infinité de composants, il a été à l'origine du développement rapide d'une importante industrie de transformation.

C'est ainsi que les complexes de raffinage se sont multipliés en vue de l'exploitation effective des hydrocarbures et de la commercialisation de leur large gamme de dérivés.

En effet, le pétrole est pratiquement la seule source qui, après raffinage, offre les divers carburants employés dans les moteurs à explosion (automobile), les moteurs diesel (camions lourds, cars, tracteurs, bateaux) et les turboréacteurs, les essences spéciales, le fuel-oil domestique, et la liste est loin d'être exhaustive. Outre les produits énergétiques, le pétrole offre une gamme très riche de sous-produits (éthylène, propylène, alcool...) qui alimentent à leur tour une série d'industries (dont la pétrochimie⁽¹⁾).

Le développement de l'industrie et la mise au point de procédés de séparation et de transformation de plus en plus sélectifs, associés à la découverte de gisements multiples de pétrole brut, ont conditionné l'évolution du raffinage jusqu'à sa complexité actuelle.

En effet, l'industrie du raffinage a connu de grandes étapes de développement technique.

La distillation a été pendant longtemps le seul procédé utilisé en raffinage. La dissociation du pétrole dans les tours de distillation ouvrit des champs d'action insoupçonnés et illimités aux chercheurs. Ils en tirèrent les produits les plus divers et découvrirent les applications les plus inattendues. Avec l'essor de l'industrie et les nouvelles exigences énergétiques, la mise au point de procédés thermiques et catalytiques qui améliorent la qualité des produits issus de la distillation est devenue nécessaire.

C'est ainsi que l'industrie du raffinage s'est vue attribuer le rôle prépondérant de la fabrication des produits finis destinés à l'industrie et à la consommation des particuliers.

(1) La pétrochimie est une industrie qui utilise des hydrocarbures issus du pétrole pour la fabrication de produits chimiques organiques (solvants, matières plastiques, textiles artificiels, détergents,...).

Dans cet environnement, le contrôle continu de la production est nécessaire pour pouvoir répondre à une demande de plus en plus croissante et diversifiée ; demande concernant tous les secteurs de l'activité humaine.

I.2. Le raffinage

I.2.1. Principe

Le raffinage est essentiellement une fonction d'analyse d'un corps composé. Il se caractérise par une très grande souplesse de traitement qui permet l'élaboration, à partir d'une matière première unique : le pétrole brut, de divers produits dont plusieurs peuvent être convertis entre eux. L'analyse physico-chimique de ces différentes fractions pétrolières offre des propriétés, propres à chacune des fractions, suffisamment sélectives pour permettre sa séparation [8].

I.2.2. Procédés

L'industrie du raffinage met en oeuvre des techniques de séparation et de transformation permettant de produire à partir du pétrole brut l'éventail complet des produits commerciaux : propane, butane, carburants, kérosène, gasoils,... [21].

a) Les techniques de séparation

Elles assurent le fractionnement d'un mélange en ses divers constituants sans modifier la structure moléculaire, de sorte que la somme des constituants soit égale au mélange initial et que le bilan volumique soit justifié [21].

Les unités de séparation permettent de fractionner le pétrole brut en différents produits selon leurs points d'ébullition. Ces unités portent le nom de Topping ou de distillation atmosphérique et ce sont les seuls procédés de raffinage qui soient appliqués au pétrole brut.

Dans une unité de distillation, il y a apport d'énergie pour vaporiser les produits légers qui se trouvent dans la charge introduite. Ces produits légers montent et sont prélevés en tête de la colonne de distillation sous forme de vapeur tandis que les produits lourds, au point d'ébullition plus élevé, sortent sous forme de liquide au fond de la colonne.

b) Les techniques de transformation ou de conversion

Elles ont pour but de modifier la structure moléculaire et par là même, les caractéristiques physico-chimiques des hydrocarbures ou des fractions

soumises à ces transformations qui s'effectuent avec augmentation ou diminution du nombre de molécules. Seul le bilan massique doit être établi [21].

Les unités de conversion sont habituellement classées en deux procédés :

- procédés thermiques (ancienne conception)

utilisant uniquement la chaleur pour effectuer les différentes réactions chimiques nécessaires à la conversion.

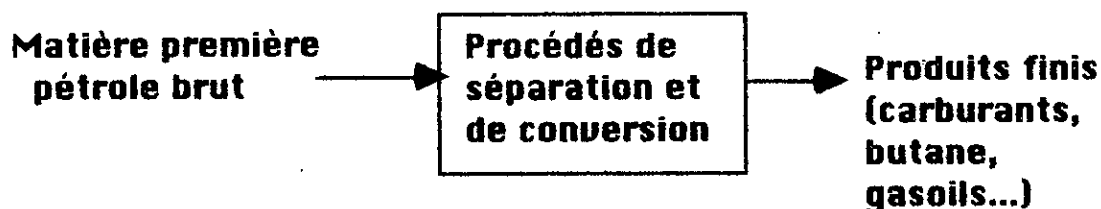
- procédés catalytiques

qui font appel à un catalyseur qui permet, à températures égales, la transformation plus profonde et mieux dirigée des différentes coupes.

Dans les deux cas, une unité de conversion agit essentiellement par craquage (décomposition) des molécules d'hydrocarbures longues en molécules plus courtes. Ces transformations servent principalement à améliorer les propriétés des essences, notamment leur pouvoir détonateur.

Le reforming catalytique, appelé aussi Platforming, est de loin l'unité de conversion classique la plus répandue. Plus de huit raffineries sur dix en Europe et aux Etats-Unis sont dotées de telles unités [8]. En Algérie, l'ensemble des raffineries est muni d'unités de Platforming.

A partir de cet aperçu général des procédés de raffinage, ce dernier peut être schématisé très globalement comme suit :



I.2.3. Les produits fabriqués en raffinerie

Trois principaux types de produits sont fabriqués en raffinerie :

- 1/ Les produits finis, qui sont directement utilisables.
Exemples : carburants, gasoil, propane, butane, kérosène...
- 2/ Les produits semi-finis, qui serviront de base à des mélanges ultérieurs.
Exemples : kérosène, gasoil lourd, gasoil léger...
- 3/ Les sous-produits, matières premières pour la pétrochimie.

Remarque 1 :

Certains produits, comme le kérosène, sont à la fois considérés comme étant des produits finis car ils peuvent être directement utilisables, ou comme des produits semi-finis car ils entrent dans la composition d'autres produits finis.

Remarque 2 :

Dans ce qui suit, les produits semi-finis seront désignés par produits intermédiaires.

I.2.4. Définition des caractéristiques

Des normes de qualité, souvent strictes, sont imposées aux différents produits issus du raffinage du pétrole brut et cela pour des raisons de sécurité et d'hygiène (risque de propagation de produits toxiques et polluants comme les vapeurs d'essences, risque d'explosions dues aux produits inflammables...).

Pour s'assurer que les produits répondent bien à ces exigences et que, par là même, le réglage des différentes unités de production est correct, les raffineries disposent toutes d'un laboratoire de contrôle.

Les différentes vérifications concernent les normes de qualité relatives aux entités suivantes :

a) La densité :

La densité est la première détermination à faire sur un produit pétrolier. En effet, dans l'industrie du pétrole, on est souvent amené à transformer les

poids en volumes ou inversement, selon des critères liés aux processus de fabrication.

La densité est définie comme étant le rapport de la masse d'un corps au volume qu'il occupe et s'exprime en kg/m^3 .

b) La tension de vapeur Reid :

La tension de vapeur Reid (T.V.R.) est la pression, exprimée en bars, développée par les vapeurs d'un produit pétrolier.

L'essai de tension de vapeur est très important car il indique la teneur en produits très légers qui conditionnent la sécurité au cours du transport, les pertes au stockage et la volatilité des essences. L'essai est effectué à une température de 37.8°C .

c) La teneur en soufre :

Elle représente le taux de soufre contenu dans un produit. Si ce dernier est élevé, une désulfuration devient nécessaire, le soufre étant polluant et corrosif.

d) L'indice d'octane ou nombre d'octane (NO) :

Caractéristique essentielle des essences ou carburants. Elle détermine les qualités de combustion du carburant, son aptitude à supporter les hautes compressions et son pouvoir détonateur. La détonation est fonction de la composition du carburant. L'indice d'octane de ce dernier est déterminé en comparant sa tendance à la détonation avec celles de mélanges de référence d'indices d'octane connus (100 pour l'isooctane et 0 pour l'heptane).

Un carburant idéal est un carburant qui comporte :

- des aromatiques dans sa partie lourde pour éviter la détonation à régime élevé,
- des butanes, pour assurer la volatilité adéquate au climat, des oléfines, pour assurer de bonnes performances antidétonantes à bas régime, dans sa partie légère.

e) Le point initial :

Représente la température à laquelle débute la vaporisation du produit pétrolier.

f) Le point final :

Représente la température observée après la vaporisation totale du produit.

g) L'intervalle de distillation :

L'intervalle de distillation [point initial, point final] renseigne sur la nature de la coupe. Il permet de savoir si la coupe considérée répond aux normes de distillation du produit.

I.2.5. Définitions relatives aux unités de production**a) La charge :**

Quantité d'input traitée par une unité de production au cours de la période de programmation.

b) Le taux de charge :

Quantité d'input traitée par une unité de fabrication au cours d'une journée de 24 heures.

c) Le rendement d'un produit :

Pourcentage du poids du produit par rapport à la charge traitée.

d) La marche-type :

Fonctionnement de l'unité considérée sous des conditions de production déterminées (température fixée, pression constante).
Chaque marche-type est caractérisée par un taux de charge et un rendement constants.

e) La sévérité :

A chaque sévérité on associe une structure donnée de la production. Une sévérité correspond à un état physico-chimique (température de réaction et temps de contact).

I.3. En Algérie...

I.3.1. Historique et intérêt

Pays producteur et exportateur de pétrole, l'Algérie se trouvait encore jusqu'en 1964 dans l'obligation de recourir à l'importation pour couvrir ses propres besoins de consommation en carburant.

L'exportation du pétrole à l'état brut privait le pays de tous les avantages financiers et économiques inhérents à la création et au développement d'une industrie nationale de raffinage : investissements, emplois, salaires, fiscalité, valeur ajoutée des prix des produits dérivés par rapport à ceux du pétrole brut... sans oublier enfin l'économie de débours en devises nécessaires à l'importation des produits et qui étaient évalués avant l'installation de la raffinerie d'Alger à 40 millions de dollars par an [22].

C'est à partir de ces données que l'Algérie a élaboré sa politique et entrepris ses activités dans le domaine privilégié du raffinage.

I.3.2. Raffineries existantes [22]

Avant la création de la Société Nationale du Transport et de la Commercialisation des Hydrocarbures (SONATRACH), en décembre 1963, deux raffineries existaient en Algérie, dont l'une, de petite dimension, était installée à Hassi-Messaoud et l'autre, relativement plus importante, à Alger. La participation de l'Etat à ces deux raffineries était négligeable.

En effet, la raffinerie d'Alger était initialement exploitée par la Société de la Raffinerie d'Alger (SRA), soit :

Shell(24%), Compagnie Française de Pétrole : CFP (32%), Esso Mediterranean (17.6%), British Petroleum(10.4%), SN Repal(10%) et Mobil Oil(6%)

Quant à la raffinerie de Hassi-Messaoud, elle était exploitée par SN Repal.

Le tableau suivant présente, dans l'ordre chronologique de mise en service, les principales raffineries et leurs capacités respectives.

Raffinerie	Année de mise en service	Capacité
Hassi-Messaoud 1	1962	0.2 M t/an
Alger	1964	2.7 M t/an
Arzew	1972	2.5 M t/an
Skikda	1980	15 M t/an
In-Amenas	1980	0.3 M t/an
Hassi-Messaoud 2	1980	1.07 M t/an

Source : NAFTEC

Remarque

Il existe deux types de raffineries :

- Les raffineries créées pour exploiter un gisement donné, exemple : La raffinerie de Hassi-Messaoud.
- Les raffineries ayant le choix de leur approvisionnement.

CHAPITRE II

La Raffinerie d'Alger

II.1. Historique

La Raffinerie d'Alger fut créée en 1959 par 7 actionnaires mondialement connus :

- Société Shell d'Algérie,
- Groupe CFP-CFR (Compagnie Française de Pétrole-Compagnie Française de Raffinage) dont Total SAHM,
- ESSO Mediterranean INC,
- British Petroleum Limited Company,
- SN REPAL,
- MOBIL OIL Française.

Le chantier fut ouvert en janvier 1960, sous la direction de la C.F.P.

La Raffinerie d'Alger était considérée, lors de sa mise en service le 19 février 1964, comme étant le complexe le plus important d'Afrique. Son coût de réalisation a été de l'ordre de 27 milliards de centimes.

Réalisée et exploitée par des firmes étrangères, la Raffinerie d'Alger est passée progressivement sous le contrôle de l'Etat. Les taux de participation de la SONATRACH dans sa gestion ont été :

de 10% en juin 1968 ;

de 44% en janvier 1969 ;

de 80% en janvier 1970 ;

jusqu'à atteindre les 100% en janvier 1971.

Dans le cadre du programme de restructuration de la SONATRACH, la production et la distribution des produits raffinés ont été attribuées à NAFTAL (mot d'origine Arabe signifiant : Naft Algérien).

Par la suite, l'Entreprise Nationale de Raffinage du pétrole "NAFTEC" a été créée, le 25 août 1987, pour gérer l'ensemble des raffineries du pays.

NAFTAL, rebaptisée alors Entreprise Nationale de Commercialisation et de Distribution des Produits Pétroliers, s'est chargée de la distribution des produits raffinés au marché domestique national.

L'exportation des produits raffinés est restée cependant du ressort de la SONATRACH.

II.2. Situation géographique

La Raffinerie d'Alger est située à 5 km au sud d'El-Harrach et à 20 km à l'est d'Alger, dans la commune de Sidi Arcine. Ses différentes installations occupent 96 hectares sur un terrain d'une superficie de 200 hectares.

Le choix de cet emplacement a été motivé par l'existence d'installations portuaires et la part importante que représente la demande du centre par rapport à la demande nationale ; notamment la fourniture de soutes au port d'Alger et de carburateurs à l'aérodrome de Dar El-Beida.

II.3. Champs couverts

A l'origine, la Raffinerie d'Alger a été conçue pour répondre aux besoins nationaux en carburants et autres produits raffinés. Ce n'est qu'après la mise en oeuvre de la Raffinerie de Skikda en Mars 1980 que sa production a été destinée à la satisfaction de la demande du centre. Cette dernière couvre notamment les Wilayas d'Alger, Tizi-ouzou, Bouira, Blida, Médéa, Chlef, Ain-Defla, Bordj-Bou-Arédj, Djelfa, Boumerdes et de Tipaza.

Néanmoins, devant la croissance continue des besoins en produits raffinés, la Raffinerie d'Alger n'arrive à satisfaire que partiellement la demande du centre. Le taux de couverture est de 85% en moyenne, variable selon le produit.

Le déficit est comblé par l'acheminement des quantités manquantes des Raffineries d'Arzew et de Skikda ; ce qui confère à la Raffinerie d'Alger une certaine liberté (flexibilité) dans le choix de la quantité et du type de produits à acheminer de ces deux raffineries.

Remarque

La production de la Raffinerie d'Alger est destinée essentiellement à la consommation locale (centre) ; la part de la production destinée au marché extérieur concerne :

- l'excédent de la production par rapport à la demande de la région centre, principalement en fuel-lourd et en gasoil,
- et le naphta, produit destiné exclusivement à l'exportation.

II.4. Approvisionnement

La Raffinerie d'Alger a été conçue pour traiter le pétrole brut de Hassi-Messaoud. Ce dernier est très riche en hydrocarbures légers (essences, pétrole lampant et gasoil) et se caractérise par une faible teneur en soufre

(0.12% en poids), avantage économique important ayant évité la construction coûteuse d'installations de désulfuration.

II.5. Capacité

Lors de sa mise en service en Février 1964, la capacité de production de la Raffinerie d'Alger était de 1.4 M t/an. Devant la croissance de la demande des produits raffinés, les installations de la Raffinerie d'Alger ont bénéficié de certaines améliorations ayant permis le traitement d'une charge de plus en plus importante jusqu'à atteindre progressivement 2.7 M t/an en 1973 [24].

Actuellement, sa capacité peut atteindre 3 M t/an.

II.6. Production

La Raffinerie d'Alger dispose, afin d'assurer sa production, des installations suivantes :

1/ Trois unités de fabrication :

- Une unité de distillation atmosphérique ou Topping ;
- Une unité de reforming catalytique ou Platforming ;
- Une unité de séparation de gaz de pétrole liquéfiés (G.P.L.) ou Gas-plant.

Ces trois unités de fabrication portent respectivement les désignations de : section 100, section 200 et section 300.

2/ Une unité de mélange et d'éthylation pour la fabrication des essences ;

3/ Des unités de mélange des produits en ligne ;

4/ Des bacs de stockage des produits bruts, intermédiaires et finis ;

5/ Une unité de pomperie d'expéditions connectée aux différents dépôts d'Alger (El-Harrach, Caroubier), au port pétrolier, à l'aéroport Houari-Boumediène et au dépôt de la Chiffa ;

6/ Une centrale thermoélectrique pour ses besoins énergétiques.

II.7. Processus de fabrication

II.7.1. Moyens d'approvisionnement

Du 10 janvier 1964 jusqu'en 1971, la Raffinerie était alimentée par tankers du port pétrolier de Béjaïa au port pétrolier d'Alger, puis par pipe de 26" de diamètre jusqu'au parc de stockage.

En 1971, un oléoduc de diamètre 16" et de longueur 131 km a été placé à Ben-Mansour pour alimenter la Raffinerie d'Alger à partir du pipe de diamètre 24" reliant Hassi-Messaoud et Bejaïa. Le débit horaire est de 500 m³.

II.7.2. L'unité de distillation atmosphérique

L'unité de distillation traite le pétrole brut de Hassi-Messaoud. Sa capacité peut atteindre 3 000 000 t/an.

la distillation est un procédé de séparation qui utilise la différence des points d'ébullition entre les produits qui se trouvent mélangés, voire même dissous les uns dans les autres, dans le pétrole brut.

Les coupes obtenues à la sortie de la section 100 sont au nombre de 8 :

1- les gaz combustibles :

Fuels gaz, utilisés comme combustibles par la Raffinerie.

2- Les G.P.L. :

Les gaz de pétrole liquéfiés, mélange d'hydrocarbures légers qui, après traitement à l'unité de Gas-plant donneront :

- * des gaz incondensables, brûlés dans les fours de la Raffinerie ;
- * du propane commercial ;
- * du butane commercial.

3- L'essence légère :

Stockée pour être utilisée, par la suite, comme composant pour la production du carburant auto et du supercarburant.

4- Le solvant total :

Mélange de solvant léger et de solvant lourd, le solvant total est dirigé soit vers le stockage, soit vers l'unité de Platforming où il sert de charge.

5- Le kérosène :

Le kérosène, issu de la distillation atmosphérique, est conforme aux normes exigées (une densité de 0.8, une viscosité de 2.9...). Il est, par conséquent, utilisé en tant que produit fini pour les besoins du marché intérieur.

L'excédent de kérosène est utilisé comme base de mélange pour la production de gasoil.

6- Le gasoil léger :

Matière de base pour la production de gasoil moteur destiné au marché intérieur, à l'exportation et pour la production de fuel-oil léger.

7- Le gasoil lourd :

Matière de base pour la production de fuel-oil lourd.

8- Le résidu :

Le résidu obtenu de la distillation atmosphérique est utilisé comme produit intermédiaire pour la production de fuel-oil lourd et de fuel-oil léger.

II.7.3. L'unité de Platforming

L'unité de Platforming utilise comme charge le solvant total provenant du Topping ou du stockage. Elle a essentiellement pour fonction de transformer le solvant total en une base - le platformat- à haut indice d'octane utilisée pour la fabrication des carburants.

Les réactions mises en jeu pour obtenir l'élévation de l'indice d'octane sont nombreuses et complexes. Elles sont favorisées par l'emploi d'un catalyseur et entraînent une modification de la structure moléculaire des hydrocarbures.

Si le temps de contact de la charge avec le catalyseur est assez long, la transformation sera plus poussée et le nombre d'octane du platformat plus élevé.

Suivant différents réglages de température, de pression et de temps de contact, le Platforming peut fonctionner selon trois régimes :

- le régime " basse sévérité" ;
- le régime " moyenne sévérité" ;
- le régime " haute sévérité".

L'unité de Platforming a une capacité de 2 500 m³/jour.

Elle produit :

- des gaz de combustion, utilisés comme combustibles par la Raffinerie ;
- des G.P.L., dirigés vers l'unité de Gas-plant où ils servent de charge ;
- du platformat, basse, moyenne ou haute sévérité selon le mode de fonctionnement de l'unité de Platforming.

II.7.4. L'unité de Gas-plant

L'unité de Gas-plant traite les G.P.L. provenant du Topping et du Platforming.

Sa capacité est de 960 m³/jour dont 415 m³/jour provenant de la section 100 et 545 m³/jour de la section 200.

Elle produit :

- des gaz combustibles ;
- du propane, stocké comme produit fini ;
- du butane, dont une partie est utilisée pour la production de carburant auto et de supercarburant ; l'autre partie étant stockée puis expédiée comme produit fini.

Remarque

L'unité de Gas-plant est relativement flexible du point de vue des rendements en propane/butane. Par différents réglages, il est en effet possible d'augmenter la production de butane au détriment du propane et vice versa.

II.7.5. La station d'éthylation

Elle met en oeuvre un certain nombre de constituants qu'elle mélange pour produire, suivant le cas, du carburant auto ou du supercarburant.

Pour la production de carburant auto, les constituants mis en jeu sont :

- le platformat basse sévérité ;
- le platformat moyenne sévérité (éventuellement) ;
- l'essence légère ;
- le solvant total ;
- le butane ;
- le plomb tetra éthyle (P.T.E.).

Pour la production de supercarburant, les constituants utilisés sont :

- le platformat haute sévérité ;
- l'essence légère ;
- le butane ;
- le plomb tétra éthyle (P.T.E.).

La marche moyenne sévérité a été utilisée par la Raffinerie d'Alger pour la fabrication d'un platformat moyenne sévérité (NO : 84.4) destiné à la production d'un supercarburant d'indice d'octane 93 qui n'est plus demandé.

A partir de ce platformat moyen, il est possible de fabriquer du carburant auto (NO : 90). Cependant, ce procédé n'est pas utilisé en raison du coût élevé du reforming catalytique.

La solution la meilleure consiste donc à utiliser le platformat basse sévérité (NO : 81) pour la fabrication du carburant auto.

A plus haut indice d'octane (≥ 95), le supercarburant nécessite l'utilisation du platformat haute sévérité (NO : 90.5) dont l'indice d'octane se rapproche le mieux de cette borne.

Mais l'utilisation du P.T.E. reste nécessaire pour améliorer l'indice d'octane des deux carburants.

L'addition de ce dernier se fait en cours de mélange dans des proportions qui varient en fonction de l'indice d'octane désiré.

II.7.6. Les installations pour le mélange de produits en ligne

Ces installations permettent d'obtenir, par mélange des coupes de la distillation atmosphérique, les produits finis suivants :

- le naphta dont les constituants de base sont :
 - * le solvant total ;
 - * l'essence légère.

- le carburéacteur type kérosène et lampant dont le seul constituant de base est la coupe kérosène de la distillation atmosphérique.

- le gasoil, destiné aux marchés intérieur et extérieur, dont les constituants de base sont :
 - * le kérosène ;
 - * le gasoil léger.

- le fuel léger, dont les constituants de base sont :
 - * le gasoil léger ;
 - * le résidu.

- le fuel lourd, dont les constituants de base sont :
 - * le gasoil lourd ;
 - * le résidu.

II.7.7. Les installations de stockage

La Raffinerie d'Alger dispose d'un parc de stockage d'une capacité de 290 000 m³ dont 105 000 m³ pour le pétrole brut et 185 000 m³ pour les produits finis et semi-finis.

Cependant, certains produits tels :

- le naphta ;
- les G.P.L. et les gaz utilisés comme combustibles ;
- les coupes de la distillation atmosphérique (kérosène, gasoil léger, gasoil lourd et résidu), lorsqu'elles sont utilisées comme produits intermédiaires, ne sont pas stockés.

Parmi les bacs de stockage, certains sont polyvalents en ce sens qu'ils peuvent recevoir des produits de caractéristiques voisines, exemple : carburant auto/supercarburant.

II.7.8. L'unité de pomperie d'expédition

La pomperie d'expédition comporte 6 groupes d'électropompes à vitesse variable dont la capacité s'échelonne entre 30 m³/heure et 1000 m³/heure.

Les expéditions concernent les produits finis (propane et butane, carburant auto et supercarburant, lampant et kérosène, naphta, gasoil et fuels). Ces produits desservent les dépôts d'El-Harrach, du Caroubier, du port d'Alger, de l'aérodrome de Dar El-Beïda, de la Chiffa ainsi que des postes de chargement de caboteurs.

II.7.9. Les centrales d'utilités

La Raffinerie d'Alger dispose d'une centrale électrique et d'une centrale thermique où sont produites toutes les utilités dont elle a besoin (électricité, vapeur d'eau, ...).

Capacité de stockage de la Raffinerie d'Alger
(en tonnes)

Produits	Nbre de bacs	Stock potentiel total	Stock potentiel pompable	Observations
Pétrole brut	3	82 414	77 614	
Slops	2	1 408	1 332	
Essence S.R	3	8 165	7 985	
Platformats	2	3 779	3 657	Bacs polyvalents
Solvant total	3	21 087	18 420	
Carburants	6	35 979	34 888	Bacs polyvalents
Kérosène	4	11849	11 437	
Gasols	6	45 971	44.341	Bacs polyvalents
Fuel-oil léger	1	845	801	
Fuel-oil lourd	2	8 956	8 716	
Butane	4	3 260	3 468	
Propane	3	1 020	1 078	

Source: Raffinerie d'Alger

II.7.10. La production d'eau

Pour ses besoins en eau, la Raffinerie dispose de trois forages de 150 m de profondeur équipés d'électropompes. Cette eau est stockée dans trois bacs, l'un destiné à la lutte contre l'incendie, l'autre destiné à l'exploitation (principalement le refroidissement des condenseurs) et le troisième pour les besoins de la Raffinerie en eau potable.

II.8. Contrôle des unités de production

La Raffinerie d'Alger dispose d'une salle de contrôle à partir de laquelle sont commandées toutes les unités de production et dont le système est entièrement électronique.

Il y a un emplacement réservé pour chaque section avec schéma de toutes les opérations de traitement. On y trouve également un système de contrôle du mélange et de l'éthylation des essences, le système de contrôle de la pomperie d'expédition, un système de télémessure des températures de l'ensemble des stockages de la Raffinerie, le centre de dispatching contrôlant les expéditions de produits finis par conduites vers le port et les dépôts. On y trouve, enfin, un système d'alarme électronique.

Cette salle de contrôle est sous la direction technique d'un ingénieur assisté de huit techniciens.

II.9. Personnel de la Raffinerie d'Alger

Dès 1970, le personnel de la Raffinerie d'Alger a été entièrement algérien. En effet, des efforts intenses ont été fournis pour arriver à la maîtrise totale des techniques particulières du raffinage. Pour cela, la Raffinerie s'est vite équipée d'un service de formation professionnelle ayant permis de former de véritables hommes de terrain.

Actuellement, la Raffinerie d'Alger emploie 540 agents. Ce personnel, mis à part les employés des services administratifs, travaille suivant le système de 3 équipes de 8 heures chacune.

Les installations étant presque entièrement automatisées, le fonctionnement des unités n'est assuré que par 30 personnes en service permanent.

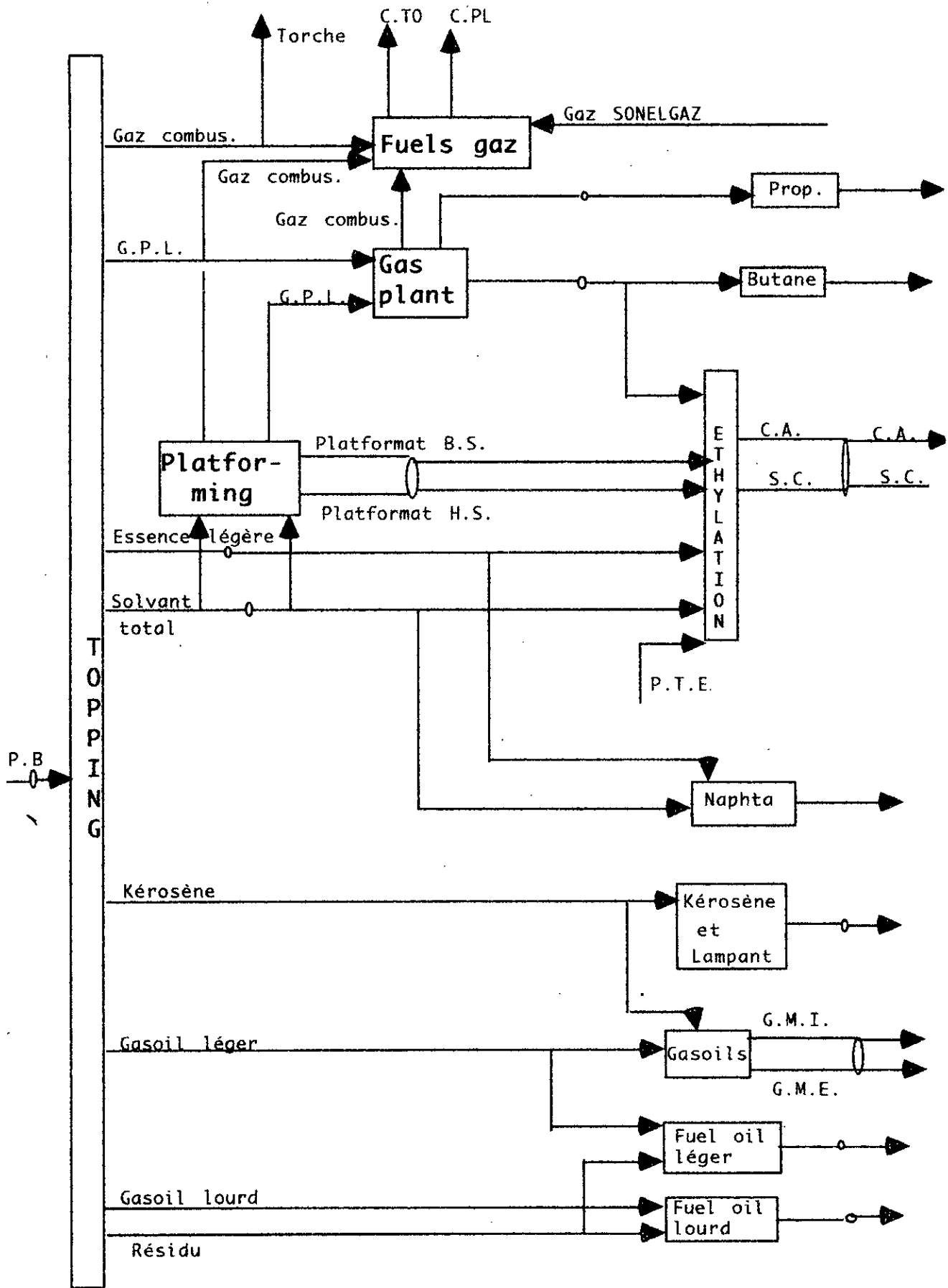


Figure II.1. Schéma simplifié de la Raffinerie d'Alger

II.10. Problématique

Après avoir présenté, d'une manière globale, le processus de fabrication de la Raffinerie d'Alger et situé cette dernière dans le contexte économique actuel, il apparaît clairement que l'industrie du raffinage est une industrie de produits liés. En effet, à l'exception de quelques produits : propane, butane et kérosène, tous les autres sont généralement eux-mêmes des mélanges de produits intermédiaires.

Actuellement, les décisions de production au sein de la Raffinerie d'Alger se font sur la base des niveaux des stocks et de ceux des ventes.

Mais, compte tenu des données économiques actuelles, de l'importance et de la diversité des facteurs intervenant dans l'industrie du pétrole, l'établissement d'outils d'aide à la décision permettant de mieux cerner l'influence de l'environnement dans lequel évolue cette industrie et les problèmes auxquels elle est confrontée devient nécessaire.

Dans cette optique, nous nous proposons de contribuer à la mise en oeuvre d'un modèle d'organisation de la production dans la Raffinerie d'Alger.

A partir des installations existantes et de leur capacité à s'adapter à la demande des produits finis et en tenant compte des faits que :

- les produits finis, à la sortie de la Raffinerie, doivent répondre à des spécifications précises (normes de qualité) ;
- ces spécifications deviennent de plus en plus sévères pour des raisons de sécurité et de protection de l'environnement ;
- les taux de charges des unités et les rendements en produits sont variables suivant le degré de conversion désiré ;
- les différentes opérations subies par les produits (traitement, stockage,...) engendrent des coûts variables et relatifs au type de produit traité ;

l'objectif serait de dégager un programme optimal de fabrication qui, à priori, minimiserait un coût global de traitement.

Ce modèle devrait :

- permettre de résoudre les problèmes d'inadaptation entre le niveau de la production et celui de la demande,

- conduire à l'utilisation optimale des moyens de production et des ressources disponibles,
- et enfin permettre d'arriver à un niveau de consommation rationnelle des sources d'énergie nécessaires à la bonne marche du processus de fabrication.

II.11. Chaîne étudiée

La Raffinerie d'Alger est une unité qui, à partir du pétrole brut, réalise des produits destinés à la consommation nationale et à l'exportation. Ces produits peuvent être classés en deux catégories distinctes :

1- Les produits finis ayant nécessité des opérations de transformation et de séparation :
les produits intermédiaires entrant dans la composition de ces derniers subissent des traitements dans les unités de fabrication (Gas-plant et Platforming).

Ce sont le propane, le butane , le carburant auto et le supercarburant.

2- La deuxième catégorie concerne les produits qui sont de simples mélanges de coupes issues du Topping et parfois même, des produits qui ne nécessitent aucun traitement après celui de la distillation.

Ce sont le Naphta, le kérosène, le pétrole lampant, le gasoil, le fuel-oil léger, le fuel-oil lourd et le résidu.

Nous nous intéresserons à la modélisation de la chaîne concernant la première catégorie de produits. Cette chaîne englobe toutes les unités de fabrication et engendre des produits à forte demande (butane, supercarburant, carburant auto).

Néanmoins, nous y incluons le Naphta, produit de la deuxième catégorie, qui bénéficie d'une importance particulière car il est exclusivement destiné à l'exportation et est donc une source de devises.

CHAPITRE III

Construction du schéma de modélisation

III.1. Marches des unités de fabrication

En agissant sur différents réglages possibles, la Raffinerie d'Alger dispose d'une certaine marge de manoeuvre pour modifier les rendements des unités de fabrication, notamment en produits intermédiaires, et adapter ainsi la structure de la production à la demande de produits finis.

Certains paramètres de réglage des unités de fabrication peuvent varier d'une manière continue dans un large domaine. Mais, dans la pratique on ne distingue qu'un certain nombre de marches-types. Ces marches-types sont déterminées et codifiées après de nombreux tests.

III.1.1. L'unité de Topping

Etant donné le caractère unique de la charge, la variation des paramètres des produits intermédiaires est très faible (1).

Une unité de distillation atmosphérique traitant un seul type de brut est relativement inflexible du point de vue des rendements en produits intermédiaires.

La flexibilité principale consiste essentiellement à modifier entre eux les rendements de certains produits, par exemple l'essence légère et le solvant total.

Le rendement en essence légère peut varier de 500 t/jour (point final 70°C) à 900 t/jour (point final 100°C).

Si l'on distingue des intervalles de température de 5°C pour le point final de l'essence légère, on obtiendra 7 réglages possibles et donc 7 marches-types.

L'unité de Topping est entièrement caractérisée par ses marches-types. A chaque marche-type correspond :

- un taux de charge (exprimé en t/jour)
- et une structure de production déterminée (rendements exprimés en % de poids).

Taux de charge

L'unité de distillation atmosphérique a un taux de charge compris entre un minimum (4 000 t/jour) et un maximum (8 200 t/jour) avec un taux de charge design de 7 786 t/jour.

(1) Manuel de programmation de la Raffinerie d'Alger.

Le taux de charge design correspond à un taux d'utilisation normal des équipements.

Le taux de charge maximum correspond à une utilisation intensive de l'unité de fabrication destinée à faire face, en particulier, à une pointe de la demande de consommation.

Le taux de charge minimum est le taux de charge en dessous duquel l'unité de distillation ne peut fonctionner.

III.1.2. L'unité de Platforming

On peut augmenter ou diminuer la sévérité de l'unité de Platforming en agissant sur divers paramètres (la température, le temps de contact).

La sévérité de l'unité de Platforming n'est pas une grandeur mesurable. C'est une notion attachée à des conditions de travail plus difficiles pour le catalyseur et qui permettent une augmentation du nombre d'octane.

On peut codifier et représenter le fonctionnement de l'unité de Platforming par 3 marches-types usuelles :

- * un régime basse sévérité pour la production du platformat basse sévérité (NO : 81 clair) ;
- * un régime moyenne sévérité pour la production du platformat moyenne sévérité (NO : 84.4 clair) ;
- * un régime haute sévérité pour la production du platformat haute sévérité (NO : 90.5 clair).

L'indice clair est utilisé pour différencier le NO des produits intermédiaires de celui des carburants.

Le taux de charge, ainsi que les rendements, varient selon le régime de marche de l'unité.

Remarque

Le régime moyenne sévérité n'étant pas utilisé par la Raffinerie, les deux régimes retenus sont donc les basse et haute sévérité.

Taux de charge

En régime basse sévérité, le taux de charge maximum est de 1 332 t/jour.
En régime haute sévérité, le taux de charge maximum est de 1 510 t/jour.

Rendements (en % de poids)

Les rendements de l'unité de Platforming baissent au fur et à mesure du vieillissement du catalyseur dont la durée de vie, dans des conditions d'utilisation normales, est approximativement de 3 années.

Pour fixer des rendements corrects, il faut donc considérer comment se situe la période d'analyse par rapport à l'état de vieillissement du catalyseur.

Structure des rendements par régime de marche pour un catalyseur neuf

Produits	Régime B.S.	Régime H.S.
Fuels gaz	7.00	9.00
G.P.L.	8.00	11.00
Platformats	85.00	80.00
TOTAL	100 %	100 %

Source : Raffinerie d'Alger

III.1.3. L'unité de Gas-plant

La production de propane/butane est liée à la marche de l'unité de Topping ainsi qu'à la sévérité de l'unité de Platforming :
pour une marche haute sévérité, la production de G.P.L. sera plus importante.

Par différents réglages, il est possible d'augmenter la production de butane au détriment du propane et vice versa.

Ainsi, comme pour les autres unités de fabrication, le fonctionnement de l'unité de Gas-plant peut être représenté par un certain nombre de marches-types.

Unité de Topping
Structure des rendements par marche-type

Marche-type produits	M.T.1.	M.T.2.	M.T.3.	M.T.4.	M.T.5.
1- Gaz combustibles	0.31	0.30	0.30	0.20	0.20
2- G.P.L.	1.81	1.70	1.60	1.40	1.30
3- Essence légère	6.09	7.93	9.76	6.71	8.54
4- Solvant total	29.27	27.43	25.60	26.22	10.93
5- Kérosène	10.98	10.98	10.98	10.98	10.98
6- Gasoil léger	24.39	23.17	21.96	25.61	23.17
7- Gasoil lourd	1.83	1.83	1.83	1.95	1.95
8- Résidu	24.39	25.61	26.83	25.61	28.05
Pertes	0.94	1.05	1.15	1.33	1.43
Total	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Source: Raffinerie d'Alger

Unité de Gas-plant
Structure des rendements par marche-type

Marche-type Produits	M.G.1.	M.G.2.	M.G.3.	M.G.4.	M.G.5.	M.G.6.
1- Gaz combustibles	14 %	15 %	16 %	14%	15%	16%
2- Propane	2 %	4 %	8 %	9 %	10%	13%
3- Butane	84 %	81 %	76 %	77 %	75 %	71 %
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100 %	100 %

Source: Raffinerie d'Alger

III.1.4. La station d'éthylation

L'éthylation est une opération qui consiste à ajouter du P.T.E. dans les carburants automobiles pour en augmenter l'indice d'octane.

Cependant, le P.T.E. est un produit toxique dont l'usage reste très sévèrement limité par les règlements antipollution dans la plupart des pays occidentaux.

En Algérie, les règlements antipollution ne sont pas très stricts et l'emploi du P.T.E. dans les opérations de raffinage est d'un usage courant. On admet jusqu'à 0,6 g/l de P.T.E. dans les carburants destinés au marché intérieur ; alors que ce taux est pratiquement nul dans certains Etats aux U.S.A. (notamment la Californie). (source : Raffinerie d'Alger).

Un autre procédé, le Platforming, peut être utilisé pour augmenter l'indice d'octane des carburants. En effet, réformer davantage signifierait rapprocher le plus possible l'indice d'octane du platformat de l'indice d'octane de l'essence désirée.

Mais, le Platforming reste une opération très coûteuse, plus coûteuse qu'une opération d'éthylation.

En fait, l'indice d'octane désiré est obtenu en conjuguant ces deux opérations dans les limites qui restent dictées tant par des considérations de coûts que par les règlements en vigueur contre la pollution.

III.2. Modélisation de la chaîne considérée

III.2.1. Principes de construction du schéma de programmation

L'identification de marches-types pour chaque unité de production nous amène à considérer deux principes pour la construction du schéma de programmation.

a) 1er principe

Une unité de production "réelle" sera décomposée en autant d'unités "fictives" que de marches-types possibles.

Ainsi, une unité fictive est une unité de production qui fonctionne constamment selon le même régime, avec un taux de charge et des rendements constants.

b) 2ème principe

Deux unités fictives issues d'une même unité réelle ne peuvent produire simultanément. Le contraire signifierait qu'une unité réelle peut opérer en même temps selon deux régimes de marche différents ; ce qui est impossible.

III.2.2. Modélisation de l'unité de Topping

L'unité de Topping sera représentée par un nombre N_t d'unités fictives, et cela pour des raisons de flexibilité du modèle. En effet, cette façon de procéder est destinée à introduire une certaine flexibilité dans le modèle afin de permettre à la Raffinerie, suivant l'évolution du marché (fabrication de produits nouveaux, évolution des spécifications des produits finis) d'introduire, si besoin est, de nouvelles marches-types ou, au contraire, d'en supprimer.

III.2.3. Modélisation de l'unité de Platforming

Cette unité sera représentée dans le modèle par deux unités fictives :

- une unité fictive de Platforming basse sévérité
- une unité fictive de Platforming haute sévérité.

Ces deux unités représentant respectivement les marches basse et haute sévérité, la moyenne sévérité n'étant pas prise en considération pour les raisons citées au chapitre II, § II.7.5.

III.2.4. Modélisation de l'unité de Gas-plant

De la même manière que pour l'unité de Topping, l'unité de Gas-plant sera modélisée par un nombre N_g d'unités fictives.

III.2.5. Modélisation de la station d'éthylation

Les rendements sont différents suivant que la station d'éthylation produise du carburant auto ou du supercarburant. Par conséquent, la station d'éthylation sera représentée par deux unités fictives : la première produisant uniquement du carburant auto et la seconde uniquement du supercarburant.

III.2.6. Les produits finis

Les produits finis fabriqués par la raffinerie et intégrés dans le schéma de programmation sont les suivants :

- le propane
- le butane
- le carburant auto
- le supercarburant
- le Naphta.

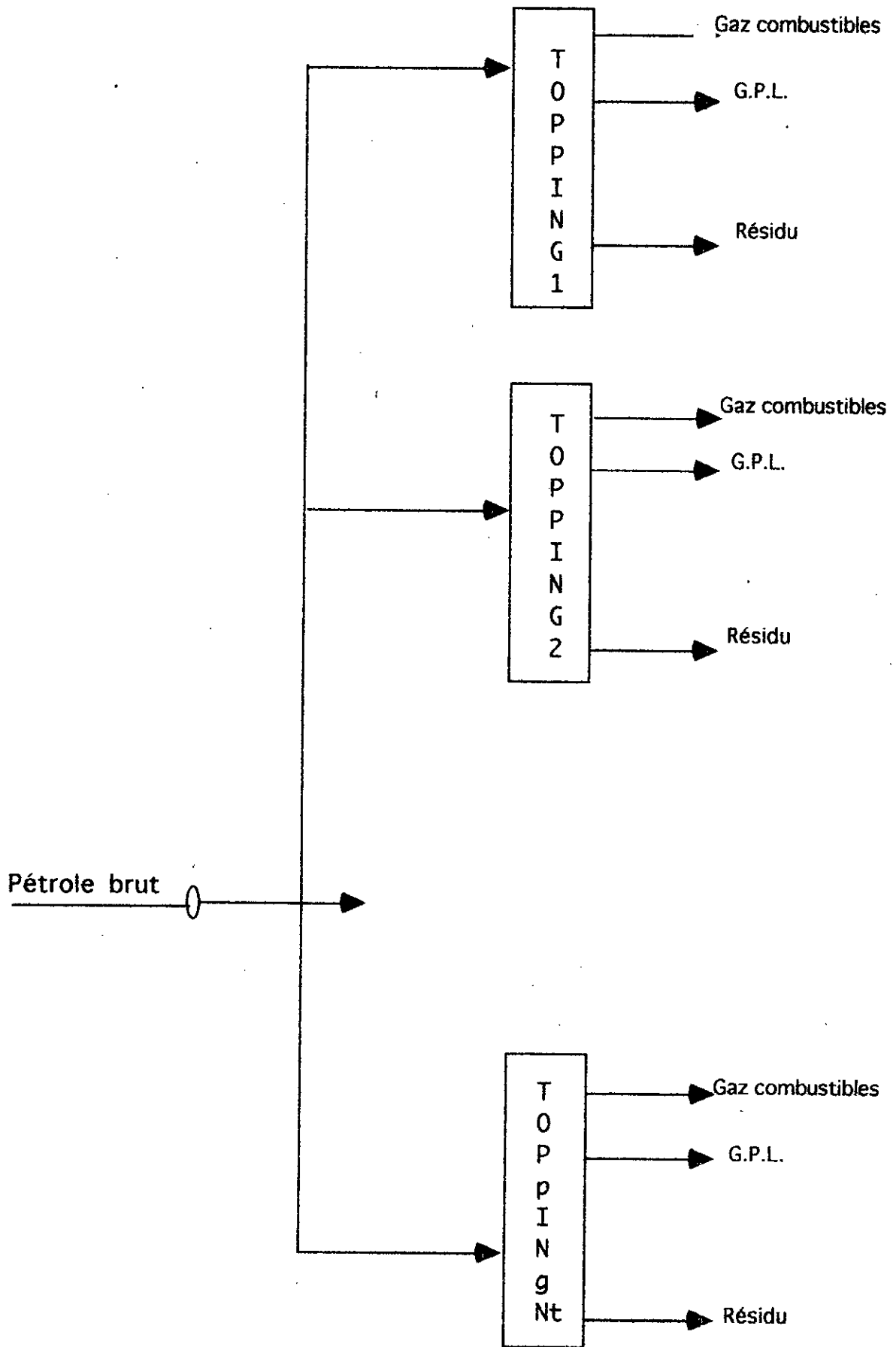


Figure III.1 Modélisation de l'unité de Topping

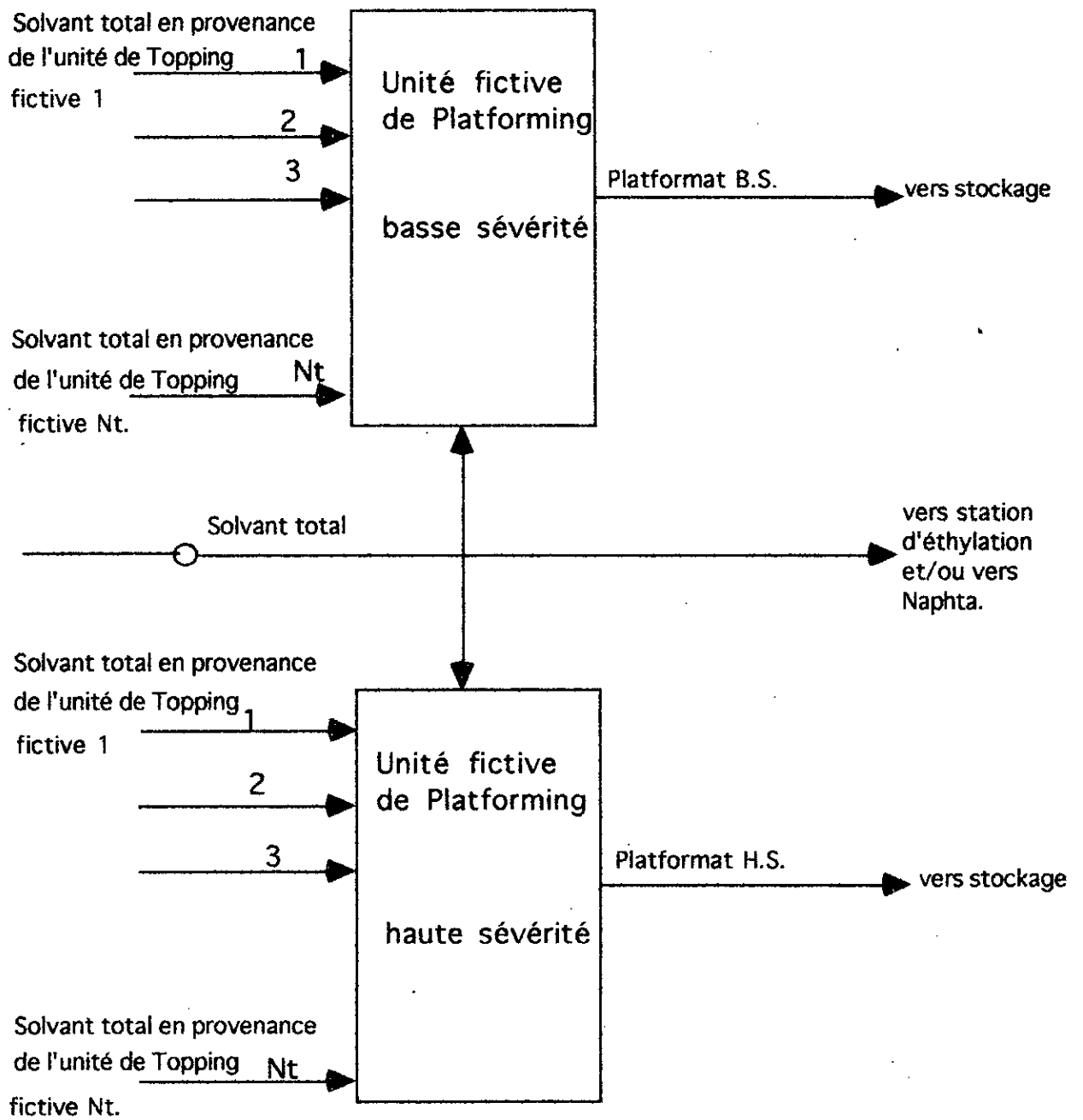


Figure III.2. Modélisation de l'unité de Platforming

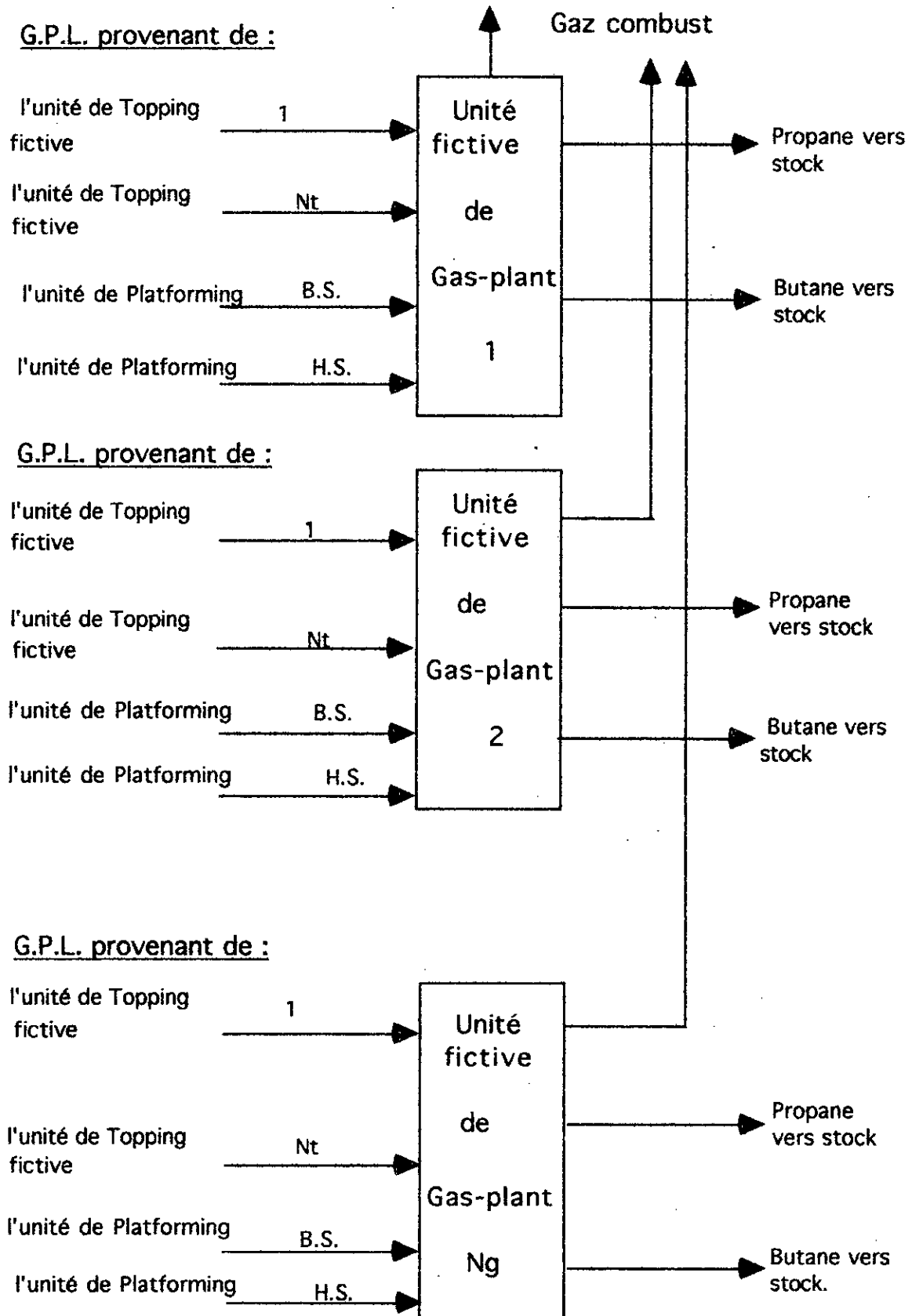


Figure III.3. Modélisation de l'unité de Gas-plant

Prduits en provenance du stockage :

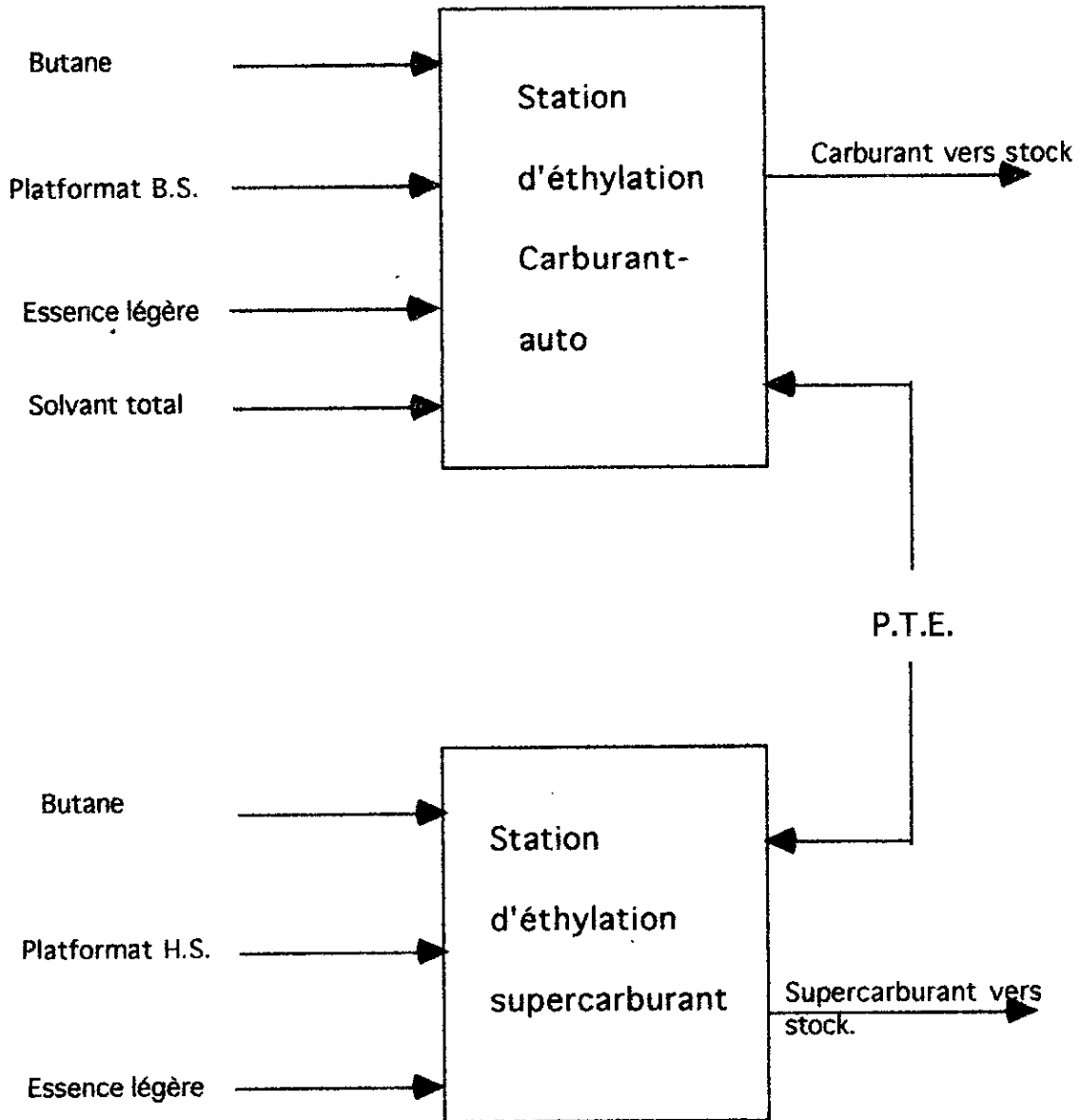


Figure III.4. Modélisation de la station d'éthylation

III.3. Caractéristiques des unités de fabrication

Chacune des unités de fabrication de la Raffinerie d'Alger peut être représentée par un certain nombre d'unités fictives. Chaque unité fictive étant à son tour caractérisée par un taux de marche et des rendements fixes.

III.3.1. Taux de charge et rendements des unités de Topping

Pour l'unité Topping fictive i , nous désignerons par :

TCT(i) : son taux de charge en pétrole brut, exprimé en tonnes

RTO(i,j) : son rendement en produit j , exprimé en % de poids.

Nous aurons donc :

RTO($i,1$) : rendement de l'unité Topping i en G.P.L.

RTO($i,2$) : rendement de l'unité Topping i en essence légère

RTO($i,3$) : rendement de l'unité Topping i en solvant total

RTO($i,4$) : rendement de l'unité Topping en gaz combustibles.

III.3.2. Taux de charge et rendements des unités de Platforming

L'unité de Platforming étant représentée par deux unités fictives, nous avons les caractéristiques suivantes :

TCPB : le taux de charge en solvant total du Platforming basse sévérité (en tonnes)

RPB(1) : rendement du Platforming basse sévérité en G.P.L.

RPB(2) : rendement du Platforming basse sévérité en platformat B.S.

RPB(3) : rendement du Platforming basse sévérité en gaz combustibles

TCPH : le taux de charge du Platforming haute sévérité en solvant total (en tonne)

RPH(1) : rendement du Platforming haute sévérité en G.P.L.

RPH(2) : rendement du Platforming haute sévérité en platformat H.S.

RPH(3) : rendement du Platforming haute sévérité en gaz combustibles.

III.3.3. Taux de charge et rendements des unités de Gas-plant

Le Gas-plant est représenté par un nombre N_g d'unités fictives. Pour l'unité fictive j , nous désignons par :

TCG(j) : son taux de charge en G.P.L. (en tonnes)

RGP(j,i) : son rendement en produit i

Nous aurons donc :

RGP(j,1) : rendement du Gas-plant j en propane

RGP(j,2) : rendement du Gas-plant j en butane

RGP(j,3) : rendement du Gas-plant j en gaz combustibles.

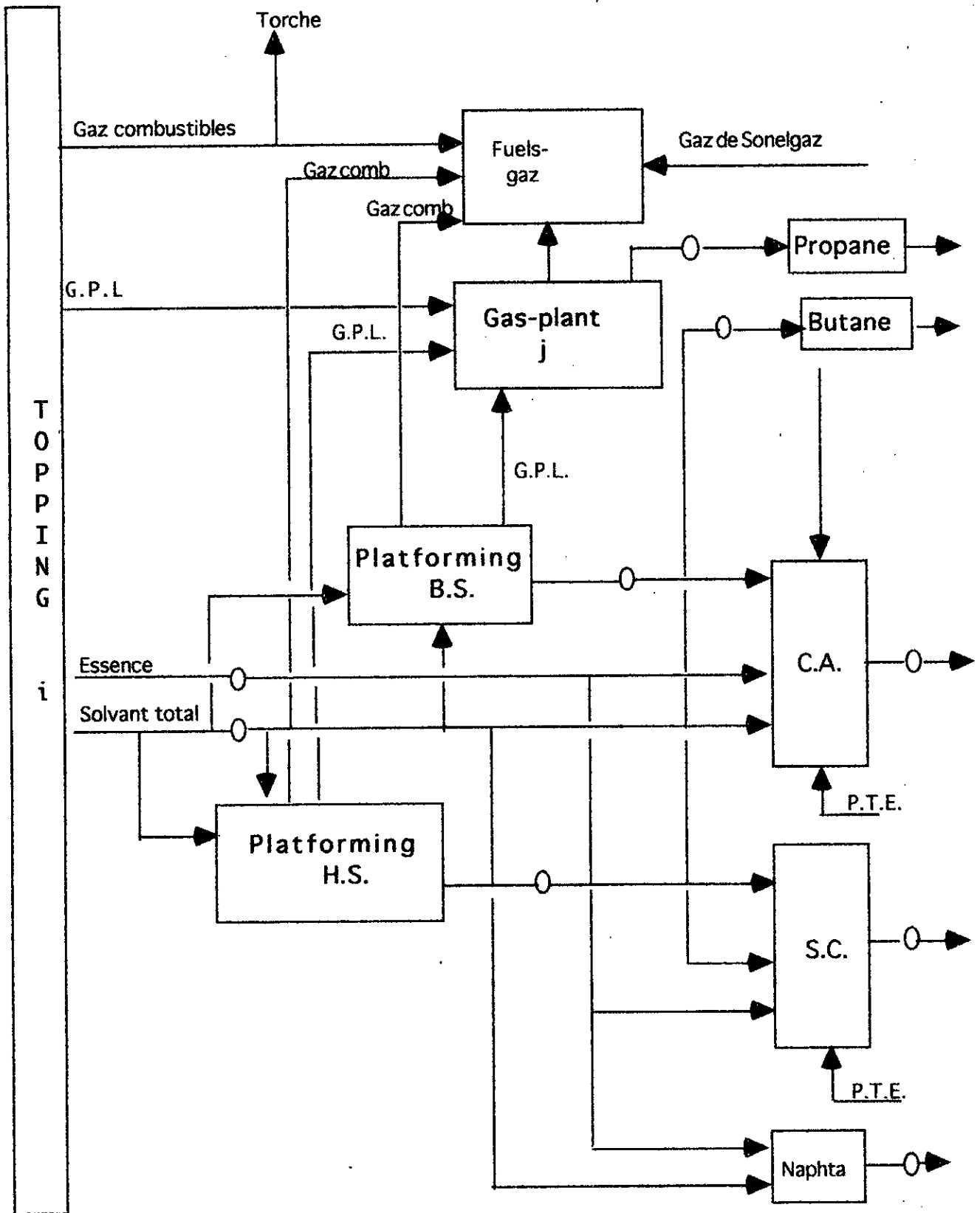


Figure III.5. Schéma de modélisation du système

CHAPITRE IV

Le Modèle Mathématique

IV.1. La modélisation dans les secteurs de raffinage à travers le monde [5], [2]

L'utilisation de la programmation linéaire dans le secteur du raffinage est devenue d'usage classique dans les pays industrialisés. En effet, les raffineries ont été représentées avec succès par des modèles linéaires à court terme. Ces derniers permettent de répondre aux problèmes de production, d'évaluation des stocks, d'approvisionnement et de distribution.

Selon leur application, les modèles de raffinage diffèrent par le niveau de détails retenus dans leur élaboration et par l'étendue de leur application. Vu la complexité du système de production, les modèles de raffinage sont en général des modèles agrégés ; les hypothèses simplificatrices émises à cet effet concernent essentiellement :

1- Les unités de traitement :

Sont prises en compte les unités de traitement les plus représentatives : distillation atmosphérique, reforming catalytique (deux ou trois sévérités), Gas-plant....

2- Les produits finis :

Seuls les principaux produits de raffinage sont pris en compte dans ces modèles (carburants, G.P.L. , carburéacteurs...). Ces produits doivent répondre à des spécifications légales (densité, tension de vapeur, indice d'octane, teneur en aromatiques...) qui se traduisent dans le modèle par des contraintes de normes de qualité.

Lorsque ces qualités n'obéissent pas à une loi de mélange linéaire pondérale ou volumique, les contraintes correspondantes sont écrites en utilisant des tables d'indice de mélange utilisées dans l'industrie du raffinage.

Les modèles de raffinage sont généralement élaborés de façon à minimiser un coût global de traitement. Ce coût comprend des charges variables proportionnelles aux quantités traitées, et des charges fixes (investissements, frais de personnel, assurances...).

Mais l'utilisation de la programmation linéaire n'est pas limitée au traitement des problèmes de gestion à court terme. Elle constitue un auxiliaire précieux pour l'étude des problèmes d'investissement et de planification à long terme des activités de raffinage.

Qu'il s'agisse de modèles statiques ou multipériodiques, et en fonction de la précision recherchée, la taille des modèles utilisés dans l'industrie du raffinage est fréquemment importante (quelques centaines, parfois quelques milliers de contraintes et de variables).

Leur construction et l'exploitation des résultats qu'ils permettent d'obtenir est une tâche assez lourde, qui peut être facilitée de façon très sensible par l'utilisation de programmes générateurs de matrices et de programmes générateurs de rapport.

Les systèmes de génération de matrices ont pour but de faciliter le calcul et l'introduction en machine des coefficients d'un modèle linéaire.

Quant aux *programmes générateurs de rapport*, ils interviennent en aval des programmes de calcul et permettent l'édition des principaux résultats que l'on peut obtenir à partir de la solution optimale (quantités à traiter, allure de marche des unités, composition et qualités des produits finis, etc.).

Le modèle que nous nous proposons d'établir est un exemple d'application de la programmation linéaire au secteur du raffinage. Il décrit le fonctionnement du système de production, à court terme, au sein de la Raffinerie d'Alger.

IV.2. Présentation du modèle

IV.2.1. Les variables du modèle

Les principales variables du problème représentent les flux de pétrole brut, de produits intermédiaires et de produits finis correspondant à chacune des affectations possibles de ces produits à l'intérieur de la Raffinerie.

IV.2.2. Les contraintes du modèle

Le modèle prend en considération 6 catégories de contraintes :

- les contraintes de capacités de production ;
- les équations de bilan-matière ;
- les contraintes de stockage ;
- les contraintes de spécifications des produits finis ;
- les contraintes de capacités d'expédition ;
- et les contraintes de satisfaction de la demande.

IV.2.2.1. Les contraintes de capacités de production

Ces contraintes expriment le fait que la charge traitée par une unité de production ne doit pas excéder sa capacité maximale.

On distingue :

- les contraintes de capacité de traitement des unités de fabrication ;
- les contraintes de capacité de fabrication des carburants.

IV.2.2.2. Les équations de bilan-matière

Les équations de bilan-matière expriment l'égalité entre une quantité disponible d'un produit donné et les quantités utilisées correspondant aux différentes affectations possibles de ce produit.

Autrement dit, les bilans consistent à vérifier, pour chaque unité de traitement, que la somme massique des produits entrants est égale à celle des produits sortants.

Exemple : si r_1 est le rendement en produit intermédiaire P1 à la sortie d'une unité de traitement, le bilan-matière du produit P1 s'écrit:

$$r_1 X_0 - \sum Y_i = 0, \quad \text{où,}$$

X_0 est la quantité de charge traitée et

Y_i la quantité de produit associée à la i ème affectation possible.

IV.2.2.3. Les contraintes de stockage

Les contraintes de stockage jouent un triple rôle :

- * elles renseignent sur le niveau des stocks en fin de période ;
- * elles permettent, éventuellement, de fixer le niveau de stock final désiré en fin de période ;
- * elles assurent la meilleure utilisation des capacités de stockage par la prise en compte du caractère polyvalent de certains bacs.

Dans leur forme générale, les contraintes de stockage s'écrivent :

Stock minimum \leq Stock final \leq capacités de stockage.

tel que : Stock final = Stock initial + Entrées - Sorties

IV.2.2.4. Les contraintes de spécifications ou de qualité

Les contraintes de qualité expriment l'obligation de respecter, pour chaque produit fini, les spécifications légales.

Exemple : pour les carburants, les principales spécifications concernent :
la densité, la tension de vapeur Reid et l'indice d'octane.

IV.2.2.5. Les contraintes de capacités d'expédition

Les capacités d'expédition de la Raffinerie d'Alger sont limitées et dépendent des installations d'acheminement des différents produits vers les dépôts et de leurs débits respectifs.

Les contraintes formulées à cet effet devront en exprimer les limites.

IV.2.2.6. Les contraintes de satisfaction de la demande

Les contraintes de demande traduisent le fait que la somme des quantités des produits intermédiaires utilisés pour la constitution d'un produit fini doit permettre de répondre à la demande de consommation de ce produit.

IV.2.3. La fonction objectif

Le processus de production engendre des coûts variables et relatifs au type de produit fabriqué. Un premier objectif serait d'arriver à organiser la production de manière à minimiser un coût global de traitement. Ce coût comporte :

- le coût du brut, valorisé au prix de cession à la Raffinerie ;
- les coûts variables correspondant à toutes les opérations de raffinage ;
- les coûts des utilités.

La fonction objectif exprime, par conséquent, le montant des coûts variables correspondant au niveau d'activité. Pour obtenir les coûts réels, il faut ajouter aux coûts variables le montant des coûts fixes.

Les frais fixes correspondent essentiellement aux charges de capital, d'entretien et de rémunération du personnel.

IV.3. Formulation mathématique du modèle

IV.3.1. Les variables du modèle

Les variables du modèle représentent les quantités (en tonnes) de pétrole brut, produits intermédiaires et produits finis à mettre en oeuvre aux différents niveaux de la chaîne de fabrication considérée, les quantités à acheminer vers les différents dépôts et les utilités principales.

Pour chaque variable, nous donnerons la nature du produit qu'elle représente, son origine et sa destination :

variable	Produit	Origine	Destination
XT(i)	pétrole brut	stock	Topping(i)
XG(i,j)	G.P.L.	Topping(i)	Gas-plant(j)
XGH(j)	G.P.L.	Platforming H.S.	Gas-plant(j)
XGB(j)	G.P.L.	Platforming B.S.	Gas-plant(j)
XPH(i)	solvant total	Topping(i)	Platforming H.S.
XSPH	solvant total	stock	Platforming H.S.
XPB(i)	solvant total	Topping(i)	Platforming B.S.
XSPB	solvant total	stock	Platforming B.S.
XC(1)	solvant total	stock	C.A.
XC(2)	essence SR	stock	C.A.
XC(3)	butane	stock	C.A.
XC(4)	platformat B.S.	stock	C.A.
XC(5)	P.T.E.	stock	C.A.
XCA	C.A.	éthylation	stock

XS(1)	essence SR	stock	S.C.
XS(2)	butane	stock	S.C.
XS(3)	platformat H.S.	stock	S.C.
XS(4)	P.T.E.	stock	S.C.
XSC	S.C.	éthylation	stock
XN(1)	solvant total	stock	Naphta
XN(2)	essence SR	stock	Naphta
XNA	Naphta	Naphta	exportation
ZP	propane	stock	expédition
ZB	butane	stock	expédition
ZCA	C.A.	stock	expédition
ZSC	S.C.	stock	expédition
YF(i)	gaz combus	Topping i	fuel-gaz
YT(i)	gaz combus	Topping i	torche
YPH	gaz combus	Platforming H.S.	fuel-gaz
YPB	gaz combus	platforming B.S.	fuel-gaz
YG(j)	gaz combus	gas-plant j	fuel-gaz
YES	électricité	SONELGAZ	fuel-gaz
YPE	électricité	unités	fuel-gaz
YGS	gaz	SONELGAZ	fuel-gaz

IV.3.2. Les contraintes du modèle

IV.3.2.1. Les contraintes de capacités de fabrication

a) Les unités de fabrication

Soient :

T : la période de programmation exprimée en jours

T1 : le nombre de jours de marche prévus pour l'unité de Topping

T2 : le nombre de jours de marche prévus pour l'unité de Platforming

T3 : le nombre de jours de marche prévus pour l'unité de Gas-plant.

Le nombre de jours de marche prévus est défini comme étant la durée de la période de programmation déduction faite des jours d'arrêt programmés et des jours d'arrêt imprévisibles. Généralement, la Raffinerie programme des jours d'arrêt (20 jours tous les 5 ans) pour la maintenance des unités de production et prévoit des marges de sécurité pour les arrêts imprévisibles (pannes, aléas d'approvisionnement et de ventes...).

Désignons par :

TT(i) : la durée d'utilisation de l'unité de Topping fictive i

TPB : la durée d'utilisation de l'unité de Platforming en régime basse sévérité

TPH : la durée d'utilisation de l'unité de Platforming en régime haute sévérité

TG(i) : la durée d'utilisation de l'unité de Gas-plant fictive i.

On entend par "durée d'utilisation" le nombre de jours de marche nécessaires à une unité fictive pour traiter la charge prévue pour cette unité durant la période de programmation.

Les contraintes de non interférence des unités de production fictives ont pour but d'assurer que deux unités fictives représentant une même unité réelle ne produisent pas simultanément.

Cela revient à dire que la somme du nombre de jours de marche des unités fictives qui représentent une même unité réelle ne doit pas dépasser le nombre de jours de marche prévus pour l'unité réelle en question.

Par conséquent, nous avons pour l'unité de Topping :

$$\sum_{i=1}^{Nt} TT(i) \leq T1$$

De même pour l'unité de Platforming :

$$TPB + TPH \leq T2$$

Et pour l'unité de Gas-plant :

$$\sum_{i=1}^{Ng} TG(i) \leq T3$$

Par ailleurs, comme le temps de production d'une unité est égal au rapport de la quantité d'input traitée par son taux de charge, nous avons :

- Pour l'unité de Topping i :

$$TT(i) = XT(i)/TCT(i)$$

- Pour l'unité de Platforming B.S. :

$$TPB = \left(\sum_{i=1}^{Nt} XPB(i) + XSPB \right) / TCPB$$

- Pour l'unité de Platforming H.S. :

$$TPH = \left(\sum_{i=1}^{Nt} XPH(i) + XSPH \right) / TCPH$$

- Pour l'unité de Gas-plant j :

$$TG(j) = \left(\sum_{i=1}^{Nt} XG(i,j) + XGB(j) + XGH(j) \right) / TCG(j)$$

Ce qui donne finalement les contraintes suivantes :

$$\sum_{i=1}^{Nt} XT(i) / TCT(i) \leq T1 \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{Nt} XPH(i)/TCPH + XSPH/TCPH + \sum_{i=1}^{Nt} XPB(i)/TCPB + XSPB/TCPB \leq T2 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{Ng} \left(\sum_{i=1}^{Nt} XG(i,j) + XGH(j) + XGB(j) \right) / TCG(j) \leq T3 \quad (3)$$

b) La mélangeuse des carburants

L'unité combinée de la Raffinerie d'Alger est équipée d'installations de mélange pour la fabrication des carburants.

De la même manière que pour les unités précédentes, il s'agit ici de s'assurer que le temps nécessaire à la fabrication du carburant auto et du supercarburant ne dépasse pas le nombre de jours prévus pour la station d'éthylation.

Les essences finies sont fabriquées à des débits différents selon qu'il s'agisse du carburant auto ou du supercarburant.

Désignons par :

XC(k) : le poids du composant k du carburant auto et par dc(k) sa densité

XS(k) : le poids du composant k du supercarburant et par ds(k) sa densité

DECA : le débit de fabrication du carburant auto en m³/jour

DESC : le débit de fabrication du supercarburant en m³/jour

TME : le nombre de jours de marche prévus pour L'éthylation durant la période de programmation.

Le volume de carburant auto produit durant la période de programmation est égal au volume de ses constituants : $\sum_k XC(k)/dc(k)$.

De même, le volume de supercarburant produit est : $\sum_k XS(k)/ds(k)$.

Le temps nécessaire à la station d'éthylation pour fabriquer ces volumes de produits est : $\sum_k (XC(k)/dc(k))/DECA + \sum_k (XS(k)/ds(k))/DESC$.

Ce temps ne doit pas être supérieur au nombre de jours de marche prévus pour l'éthylation.

On a donc la contrainte :

$$\sum_k (XC(k)/dc(k))/DECA + \sum_k (XS(k)/ds(k))/DESC \leq TME \quad (4)$$

IV.3.2.2 Les équations de bilan-matière

On distingue deux types de bilans :

- les bilans relatifs aux produits
- les bilans relatifs aux utilités principales.

A/ Les équations relatives aux produits

On distingue deux types d'équations :

- des équations bilans
- des équations de liaison.

A.1. Les équations bilans

A.1.1. Au niveau des unités de fabrication

Les équations bilans consistent à écrire, pour chaque unité de traitement, que la somme massique des produits entrants est égale à celle des produits sortants.

L'écriture de ces relations se simplifie du fait que la Raffinerie d'Alger ne traite qu'un seul type de brut et que les rendements sont constants pour une marche-type donnée. Les bilans se résument, en fin de compte, à une série de relations simples qui consistent à écrire, au niveau de chaque unité fictive, que la quantité d'output d'un produit donné est égale à la charge de l'unité considérée par le rendement du produit.

A.1.2. Au niveau des opérations de mélange

Les bilans consistent à écrire dans ce cas, pour chaque produit fini, que la somme massique des produits intermédiaires mis en oeuvre est égale à celle du produit final obtenu.

- Bilan carburant auto :

Le bilan carburant auto consiste à écrire que le poids des constituants mis en oeuvre dans la station d'éthylation est égal à la quantité de carburant auto produite par la Raffinerie.

Nous avons donc :

$$\sum_{k=1}^5 XC(k) = XCA \quad (5)$$

- Bilan supercarburant :

De la même manière, nous pouvons écrire que le poids des constituants mis en oeuvre dans la station d'éthylation est égal à la quantité de supercarburant produite durant la période :

$$\sum_{k=1}^4 XS(k) = XSC \quad (6)$$

- Bilan Naphta :

Le bilan s'écrit :

$$\sum_{k=1}^2 XN(k) = XNA \quad (7)$$

A.2. Les équations de liaison

Les G.P.L. sortant du Topping et du Platforming sont ensuite traités par l'unité de Gas-plant.

Ce qui donne les contraintes suivantes :

$$\sum_{j=1}^{Ng} XG(i,j) - XT(i) RTO(i,1) = 0 \quad i = 1 \dots Nt \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^{Ng} XGH(j) - \left(\sum_{i=1}^{Nt} XPH(i) + XSPH \right) * RPH(1) = 0 \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^{Ng} XGB(j) - \left(\sum_{i=1}^{Nt} XPB(i) + XSPB \right) * RPB(1) = 0 \quad (10)$$

B/ Bilans relatifs aux utilités principales

Les utilités prises en compte par le modèle sont :

- les gaz combustibles
- et l'électricité.

Ce choix a été déterminé par l'importance de la consommation de chacune de ces utilités par les unités de fabrication. Les autres utilités du type eau, produits chimiques... seront comptabilisés comme des frais variables.

L'électricité et le gaz sont considérés comme des utilités qui peuvent être acheminées vers la Raffinerie par liaison avec le réseau public. Cependant, certaines unités de fabrication ont des productions fatales d'utilités, en particulier des gaz utilisés comme combustibles.

Pour les unités de fabrication, les consommations d'utilités sont variables, mais pour un régime de marche donné, elles peuvent être considérées comme proportionnelles à la charge.

Le tableau suivant donne, pour chaque unité, les consommations unitaires par tonne de charge traitée.

Tableau des coefficients de consommation

Utilités	Coefficients de consommation unitaire
<u>Gaz combustible</u>	
- Topping	KGTO(i)
- Platforming	4 cas selon le régime de marche et le provenance du solvant : KGPB1 : régime basse sévérité, solvant en provenance du Topping. KGPB2 : régime basse sévérité, solvant en provenance du stockage. KGPH1 : régime haute sévérité, solvant en provenance du Topping. KGPH2 : régime haute sévérité, solvant en provenance du stockage.
- Torche	KGTR(i)
- Pertes	KGPR : rapporté à la quantité de gaz consommée.

<u>Electricité</u>	
Topping	KETO(i)
Platforming	Deux cas selon le régime de marche : KEPB : régime basse sévérité KEPH : régime haute sévérité.
Gas-plant	KELG(j)
Alimentation	KELE
Pertes	KELP : rapporté à la production totale d'électricité

Source : Raffinerie d'Alger

Remarque :

- les coefficients de consommation unitaire de gaz combustibles sont exprimés en 10^3 thermie⁽¹⁾ (th),
- les pertes sont exprimées en % par rapport à la production totale.

B.1. Les gaz combustibles

B.1.1. Bilan des fuel-gaz

Comme combustible, la Raffinerie utilise :

- les fuel-gaz produits par les unités de fabrication
- et le gaz de Hassi R'mel.

Ces combustibles ayant des pouvoirs calorifiques différents, il est nécessaire de les mesurer dans la même unité : en 10^3 th.

Désignons par :

CFG : le pouvoir calorifique d'une tonne de fuel-gaz

CGS : le pouvoir calorifique d'une tonne de gaz de Hassi R'mel.

Les gaz étant exprimés dans la même unité calorifique, nous pouvons établir le bilan suivant : Production + Achat = Consommation

(1) thermie : unité mesurant le pouvoir calorifique des utilités (10^6 calories).

La production :

* Unité de Topping :

La quantité de gaz combustibles produite par l'unité de Topping est :

$$\sum_{i=1}^{Nt} XT(i) * RTO(i,4) * CFG$$

* Unité de Platforming :

La quantité de gaz combustibles produite par l'unité de Platforming est :

$$\left(\sum_{i=1}^{Nt} XPH(i) + XSPH \right) RPH(2) + \left(\sum_{i=1}^{Nt} XPB(i) + XSPB \right) RPB(2) * CFG$$

* Unité de Gas-plant :

La quantité de gaz combustibles produite par l'unité de Gas-plant est :

$$\sum_{j=1}^{Ng} \left(\sum_{i=1}^{Nt} XG(i,j) + XGH(j) + XGB(j) \right) * RGP(j,3) * CFG$$

Les achats :

Les achats représentent la quantité de gaz livrée par la SONELGAZ, soit : YGS

Les consommations :

* Gaz torchés :

Représentent la quantité de gaz combustibles produite par l'unité de Topping et qui n'est pas utilisée par le réseau fuel-gaz :

$$\sum_{i=1}^{Nt} (XT(i) * RTO(i,4) - YF(i)) * CFG$$

* Unité de Topping :

La quantité de gaz consommée par l'unité de Topping est :

$$\sum_{i=1}^{Nt} \text{KGTO}(i) * \text{XT}(i)$$

* Unité de Platforming :

La quantité de gaz consommée par l'unité de Platforming est :

$$\text{KGPB1} \sum_{i=1}^{Nt} \text{XPB}(i) + \text{KGPB2} * \text{XSPB} + \text{KGPH1} \sum_{i=1}^{Nt} \text{XPH}(i) + \text{KGPH2} * \text{XSPH}$$

* Pertes :

A chaque niveau de consommation correspond un taux de pertes exprimé par :

KGPR (Production + Importation)

D'où le bilan :

production + importation = consommation, pertes y compris

ou encore :

(1-KGPR) * (production + importation) = consommation, pertes non comprises. (11)

B.1.2. Contrainte due au minimum de gaz à torcher

La partie des gaz combustibles produite par l'unité de Topping (gaz basse pression) ne pouvant être envoyée dans le réseau fuel-gaz pour être utilisée comme combustible, est brûlée au niveau de la torche.

Soit KGTR(i) la fraction des gaz basse pression produite par l'unité de Topping i. La quantité de gaz basse pression à brûler est donc :

$$\text{XT}(i) * \text{KGTR}(i)$$

Mais la quantité de gaz provenant du Topping i réellement torchée est :

$$\text{XT}(i) * \text{RTO}(i,4) - \text{YF}(i)$$

Cette quantité ne doit pas être inférieure au minimum devant être torché. Nous avons donc les contraintes :

$$XT(i) (KGTR(i) - RTO(i,4)) + YF(i) \leq 0, \quad i = 1 \dots Nt \quad (12)$$

B.1.3. Contrainte due à la limitation de la quantité de gaz achetée

Les quantités livrées par la SONEGAS ne peuvent excéder un maximum journalier.

Soit QGML la quantité maximum de gaz (en tonnes) qui peut être livrée par la SONEGAS par jour.

Nous avons alors la contrainte :

$$YGS \leq QGML * T \quad (13)$$

T étant la période de programmation.

B.2. L'électricité

B.2.1. Bilan

Le bilan de l'électricité s'établit comme suit :

Production + Achat = Consommation

La quantité d'électricité produite en usine est : YPE

La quantité d'électricité fournie par la SONEGAS est : YES

La consommation se répartit comme suit :

* Unité de Topping :
$$\sum_{i=1}^{Nt} XT(i) * KETO(i)$$

* Unité de Platforming :

- *régime basse sévérité* :
$$KEPB * \left(\sum_{i=1}^{Nt} XPB(i) + XSPB \right)$$

- *régime haute sévérité* :
$$KEPH * \left(\sum_{i=1}^{Nt} XPH(i) + XSPH \right)$$

$$* \text{ Unité de Gas-plant : } \sum_{j=1}^{Ng} \text{KELG}(j) \left(\sum_{i=1}^{Nt} \text{XG}(i,j) + \text{XGH}(j) + \text{XGB}(j) \right)$$

$$* \text{ Alimentation du Topping : } \text{KELE} * \sum_{i=1}^{Nt} \text{XT}(i)$$

$$* \text{ Pertes : } \text{KELP} * (\text{Production} + \text{Importation}).$$

Nous avons alors le bilan :

$$(1-\text{KELP}) * (\text{Production} + \text{Importation}) = \text{Consommation, pertes non comprises} \quad (14)$$

B.2.2. Contrainte due à la limitation de la puissance électrique disponible en usine

La quantité d'électricité produite en usine ne pouvant excéder un certain seuil, désignons par PEMP la puissance électrique journalière maximum qu'il est possible de produire en usine.

Nous avons alors la contrainte :

$$\text{YPE} \leq \text{PEMP} * T \quad (15)$$

T étant la période de programmation.

IV.3.2.3. Les contraintes de stockage

Pour la formulation des contraintes de stockage, il faut tenir compte des faits que :

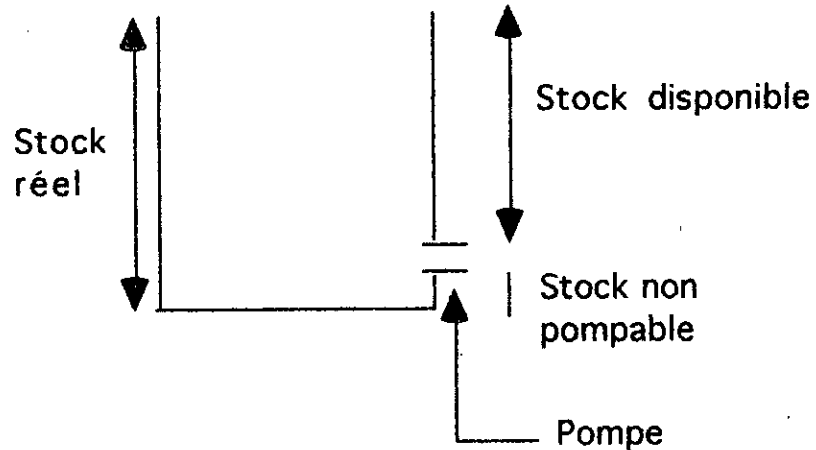
- le niveau des stocks des produits peut varier entre un minimum et un maximum,
- certains bacs de stockage sont polyvalents.

Le niveau des stocks :

Le stock minimum peut être considéré comme le niveau minimum de stock nécessaire au fonctionnement normal de la chaîne de fabrication sans que

les aléas des approvisionnements pour le brut et les aléas d'expédition des produits finis n'entraînent de ruptures.

Le stock minimum est au moins égal au stock de produits non pompable.



Stock minimum \geq Stock non pompable.

D'autre part, le niveau maximum de produits stockés est limité par la capacité de stockage :

Stock maximum \leq capacité de stockage.

Enfin, nous conviendrons de désigner par stock disponible, le stock réel déduction faite de la quantité non pompable :

Stock disponible = Stock réel - quantité non pompable.

Ainsi nous avons :

Capacité de stockage disponible = Capacité réelle - quantité non pompable

Stock initial disponible = Stock initial réel - partie non pompable

Stock minimum disponible = Stock minimum total - partie non pompable.

Bacs de stockage polyvalents

Certains produits dont les spécifications sont suffisamment voisines sont stockés dans des bacs polyvalents.

C'est le cas :

- des platformats, basse et haute sévérité
- du carburant auto et du supercarburant.

Pour le cas des carburants, par exemple, il n'existe pas de bacs de stockage destinés exclusivement au carburant auto et d'autres au supercarburant. Les bacs disponibles sont en fait utilisés pour stocker indifféremment l'un ou l'autre des produits.

De ce fait, il est nécessaire d'introduire dans le modèle des variables bivalentes : variables d'état qui prennent les valeurs zéro ou un selon qu'un bac de stockage est affecté ou non à un produit déterminé.

Formulation des contraintes de stockage

L'équation générale des stocks peut s'écrire :

$$\text{Stock minimum} \leq \text{Stock initial} + \text{Entrées} - \text{Sorties} \leq \text{Capacité de stockage.}$$

Stock initial : le stock initial est le stock disponible en début de période.

Entrées : les entrées de produits durant la période de programmation.

Sorties : les sorties de produits durant la période de programmation.

Capacité de stockage : la capacité de stockage disponible.

On a d'autre part la relation :

$$\text{Stock initial} + \text{Entrées} - \text{Sorties} = \text{Stock final.}$$

Désignons par :

Smin : le stock minimum

Si : le stock initial

E : les entrées de produits durant la période de programmation

S : les sorties de produits durant la période de programmation

SF : le stock final

Cs : capacité de stockage.

On a la relation :

$$S_{\min} \leq S_i + E - S = S_f \leq C_s$$

De cette relation, il découle deux contraintes de stockage :

$$1/ S - E \leq S_i - S_{\min}$$

$$2/ E - S \leq C_s - S_i$$

Dans la formulation des contraintes de stockage, nous distinguons trois cas de figure suivant le type de contraintes :

1er cas : Nous classons ici :

- le pétrole brut
- les produits intermédiaires qui n'utilisent pas de bacs polyvalents (essence légère, solvant total)
- les produits finis qui ne sont pas des mélanges de produits intermédiaires (propane, butane).

2ème cas : Nous classons ici les produits intermédiaires qui utilisent des bacs polyvalents (platformat basse sévérité et platformat haute sévérité).

3ème cas : Nous classons ici les produits finis qui sont des mélanges de produits intermédiaires et qui utilisent des bacs polyvalents (carburant auto et supercarburant).

a) Contraintes du premier type

* Le pétrole brut :

Désignons par :

SIPB : le stock initial de pétrole brut

SFPB : le stock final de pétrole brut

CSPB : la capacité de stockage de pétrole brut

SMPB : le stock minimum de pétrole brut

CAPB : la capacité maximum d'alimentation de la Raffinerie en pétrole brut, exprimée en t/jour.

Au cours de la période T, la Raffinerie peut recevoir un tonnage maximum en pétrole brut de : CAPB * T.

Les entrées en pétrole brut au cours de la période T sont :

$$E = CAPB * T$$

Les sorties sont constituées de la quantité de brut traitée par l'ensemble des unités de Topping fictives :

$$S = \sum_{i=1}^{Nt} XT(i)$$

Nous avons donc les contraintes :

$$\sum_{i=1}^{Nt} XT(i) \leq SIPB + CAPB * T - SMPB \quad (16)$$

$$CAPB * T - \sum_{i=1}^{Nt} XT(i) \leq CSPB - SIPB \quad (17)$$

* L'essence légère :

Désignons par :

CSEL : la capacité de stockage de la Raffinerie en essence légère

SIEL : le stock initial d'essence légère

SFEL : le stock final d'essence légère

SMEL : le stock minimum d'essence légère.

Les entrées d'essence légère au cours de la période T :

$$E = \sum_{i=1}^{Nt} (XT(i)*RTO(i,2))$$

Les sorties d'essence légère au cours de la période T sont :

$$S = XC(2) + XS(1) + XN(2)$$

D'où les contraintes :

$$XC(2) + XS(1) + XN(2) \leq SIEL + \sum_{i=1}^{Nt} (XT(i)*RTO(i,2)) - SMEL \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^{Nt} (XT(i)*RTO(i,2)) - (XC(2) + XS(1) + XN(2)) \leq CSEL - SIEL \quad (19)$$

* Le solvant total :

Désignons par :

CSST : la capacité de stockage de la Raffinerie en solvant total

SIST : le stock initial de solvant total

SFST : le stock final de solvant total

SMST : le stock minimum de solvant total

La quantité de solvant total provenant des unités de Topping fictives et qui entre en stock est :

$$E = \sum_{i=1}^{Nt} (XT(i)*RTO(i,3) - XPH(i) - XPB(i))$$

les sorties de solvant total au cours de la période T sont :

$$S = XSPH + XSPB + XC(1) + XN(1)$$

D'où les contraintes :

$$XSPH + XSPB + XC(1) + XN(1) - \left(\sum_{i=1}^{Nt} (XT(i)*RTO(i,3) - XPH(i) - XPB(i)) \right) \leq SIST - SMST \quad (20)$$

$$\left(\sum_{i=1}^{Nt} (XT(i)*RTO(i,3) - XPH(i) - XPB(i)) - (XSPH + XSPB + XC(1) + XN(1)) \right) \leq CSST - SIST \quad (21)$$

* Le propane :

Désignons par :

CSP : la capacité de stockage en propane

SIP : le stock initial de propane

SFP : le stock final de propane

SMP : le stock minimum de propane

Les entrées en propane au cours de la période T sont :

$$E = \sum_{j=1}^{Ng} \left(\left(\sum_{i=1}^{Nt} XG(i,j) \right) + XGH(j) + XGB(j) \right) * RGP(j,1)$$

Les sorties en propane au cours de la période T sont :

$$S = ZP$$

D'où les contraintes :

$$ZP - \sum_{j=1}^{Ng} \left(\left(\sum_{i=1}^{Nt} XG(i,j) \right) + XGH(j) + XGB(j) \right) * RGP(j,1) \leq SIP - SMP \quad (22)$$

$$\sum_{j=1}^{Ng} \left(\left(\sum_{i=1}^{Nt} XG(i,j) \right) + XGH(j) + XGB(j) \right) * RGP(j,1) - ZP \leq CSP - SIP \quad (23)$$

* Le butane :

Désignons par :

CSB : la capacité de stockage du butane

SIB : le stock initial de butane

SFB : le stock final de butane

SMB : le stock minimum de butane

Les entrées en butane au cours de la période T sont :

$$E = \sum_{j=1}^{N_g} \left(\left(\sum_{i=1}^{N_t} XG(i,j) \right) + XGH(j) + XGB(j) \right) * RGP(j,2)$$

Les sorties en butane au cours de la période T sont :

$$S = ZB + XC(3) + XS(2)$$

D'où les contraintes :

$$ZB + XC(3) + XS(2) - \sum_{j=1}^{N_g} \left(\sum_{i=1}^{N_t} XG(i,j) \right) + XGH(j) + XGB(j) * RGP(j,2) \leq SIB - SMB \quad (24)$$

$$\sum_{j=1}^{N_g} \left(\sum_{i=1}^{N_t} XG(i,j) \right) + XGH(j) + XGB(j) * RGP(j,2) - (ZB + XC(3) + XS(2)) \leq CSB - SIB \quad (25)$$

* Le Naphta :

Fabriqué au moment même de son expédition par mélange en ligne du solvant total et de l'essence SR, le Naphta n'est pas stocké. Il n'y a donc aucune contrainte de stockage.

b) Contraintes du deuxième type

Les platformats :

Comme les densités des platformats basse et haute sévérité sont différentes, les capacités de stockage, exprimées en tonnes le seront aussi. Considérons, par conséquent, les capacités de stockage en volume et désignons par :

NBP : le nombre de bacs de stockage destinés aux platformats

CV(i) : la capacité de stockage en m³ du bac i, i=1...NBP

DPBS : la densité du platformat basse sévérité
 DPHS : la densité du platformat haute sévérité
 CSBS(i) : la capacité de stockage du bac i affecté au platformat basse sévérité (en tonnes)
 CSHS(i) : la capacité de stockage du bac i affecté au platformat haute sévérité (en tonnes).

Désignons également par :

$$YBS(i) = \begin{cases} 1 & \text{si le bac } i \text{ est affecté au platformat basse sévérité} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$YHS(i) = \begin{cases} 1 & \text{si le bac } i \text{ est affecté au platformat haute sévérité} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Un bac ne pouvant être affecté simultanément aux deux platformats, nous avons les contraintes suivantes :

$$YBS(i) + YHS(i) \leq 1 \quad i = 1 \dots NBP \quad (26)$$

Les capacités de stockage en tonnes s'expriment comme suit :

$$CSBS(i) = CV(i) * DPBS$$

$$CSHS(i) = CV(i) * DPHS$$

* Le platformat basse sévérité (B.S.)

Désignons par :

CSPB : la capacité de stockage du platformat B.S.
 SIPB : le stock initial de platformat B.S.
 SFPB : le stock final de platformat B.S.
 SMPB : le stock minimum de platformat B.S.

Nous avons :

$$CSPB = \sum_{j=1}^{NBP} CSBS(j) * YBS(j) = \sum_{j=1}^{NBP} CV(j) * DPBS * YBS(j)$$

Les entrées de platformat B.S. au cours de la période T sont :

$$E = \left(\sum_{i=1}^{Nt} XPB(i) + XSPB \right) * RPB(2)$$

Les sorties de platformat B.S. au cours de la période T sont : $S = XC(4)$

D'où les contraintes :

$$XC(4) - \left(\sum_{i=1}^{Nt} XPB(i) + XSPB \right) * RPB(2) \leq SIPB - SMPB \quad (27)$$

$$\left(\sum_{i=1}^{Nt} XPB(i) + XSPB \right) * RPBS - XC(4) \leq \sum_{j=1}^{NPB} CV(j) * DPB(2) * YBS(j) - SIPB \quad (28)$$

* Le platformat haute sévérité (H.S.)

Désignons par :

CSPH : la capacité de stockage du platformat H.S.

SIPH : le stock initial de platformat H.S.

SFPH : le stock final de platformat H.S.

SMPH : le stock minimum de platformat H.S.

Nous avons :

$$CSPH = \sum_{j=1}^{NBP} CSHS(j) * YHS(j) = \sum_{j=1}^{NBP} CV(j) * DPHS * YHS(j)$$

Les entrées de platformat H.S. au cours de la période T sont :

$$E = \left(\sum_{i=1}^{Nt} XPH(i) + XSPH \right) * RPH(2)$$

Les sorties de platformat H.S. au cours de la période T sont :

$$S = XS(3)$$

D'où les contraintes :

$$XS(3) - \left(\sum_{i=1}^{Nt} XHS(i) + XSHS \right) * RPH(2) \leq SIPH - SMPH \quad (29)$$

$$\left(\sum_{i=1}^{Nt} XPH(i) + XSPH \right) * RPH(2) - XS(3) \leq \sum_{j=1}^{NPB} CV(j) * DPHS * YHS(j) - SIPH \quad (30)$$

c) Contraintes du troisième type

Désignons par :

NBC : le nombre de bacs de stockage destinés aux carburants

CVC(i) : la capacité de stockage en m³ du bac i affecté aux carburants
 DCA : la densité du carburant auto
 DSC : la densité du supercarburant
 CSCA(i) : la capacité de stockage du bac i affecté au C.A. (en tonne)
 CSSC(i) : la capacité de stockage du bac i affecté au S.C. (en tonne).

Désignons également par :

$$YCA(i) = \begin{cases} 1 & \text{si le bac } i \text{ est affecté au C.A.} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$$YSC(i) = \begin{cases} 1 & \text{si le bac } i \text{ est affecté au S.C.} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Un bac ne pouvant être affecté simultanément aux deux carburants, nous avons les contraintes suivantes :

$$YCA(i) + YSC(i) \leq 1 \quad i= 1 \dots NBC \quad (31)$$

Les capacités de stockage en tonnes s'expriment comme suit :

$$\begin{aligned} CSCA(i) &= CVC(i) * DCA \\ CSSC(i) &= CVC(i) * DSC \end{aligned}$$

* Le carburant auto

Désignons par :

CSCA : la capacité de stockage du C.A. (en tonnes)
 CVCA : la capacité de stockage du C.A. (en m³)
 SICA : le stock initial de C.A. (en tonnes)
 SFCA : le stock final de C.A. (en tonnes)
 SMCA : le stock minimum de C.A. (en tonnes)
 SMVCA : le stock minimum de C.A. (en m³).

Nous avons :

$$\begin{aligned} SMCA &= SMVCA * DCA \\ CSCA &= CVCA * DCA \end{aligned}$$

$$CVCA = \sum_{j=1}^{NBC} CSCA(j) * YCA(j) = \sum_{j=1}^{NBC} CVC(j) * DCA * YCA(j)$$

Les entrées de C.A. au cours de la période T sont :

$$E = \sum_{k=1}^5 XC(k) = XCA$$

Les sorties de C.A. au cours de la période T sont :

$$S = ZCA$$

D'où les contraintes :

$$ZCA - XCA \leq SICA - SMCA \quad (32)$$

$$XCA - ZCA \leq DCA \sum_{i=1}^{NBC} CVC(i) * YCA(i) - SMCA \quad (33')$$

La densité du C.A. n'est pas connue. Par ailleurs, nous avons :

$$DCA = \text{masse du C.A.} / \text{volume du C.A.}$$

Désignons par $XC(k)$ la quantité du produit intermédiaire k entrant dans la composition du C.A. et $dc(k)$ sa densité. Nous pouvons alors écrire :

$$DCA = \sum_{k=1}^5 XC(k) / \left(\sum_{k=1}^5 XC(k) / dc(k) \right)$$

(33') devient :

$$XCA - ZCA \leq \left(\sum_{k=1}^5 XC(k) / \left(\sum_{k=1}^5 XC(k) / dc(k) \right) \right) * \sum_{i=1}^{NBC} CVC(i) * YCA(i) - SMCA$$

D'où :

$$(XCA - ZCA + SMCA) * \sum_{k=1}^5 XC(k) / dc(k) \leq \sum_{k=1}^5 XC(k) * \sum_{i=1}^{NBC} CVC(i) * YCA(i)$$

Cette contrainte contient des produits de variables et n'est donc pas linéaire. Il est cependant possible de la linéariser. En effet, il est d'usage dans l'industrie du raffinage de fixer la densité des produits finis par une valeur numérique représentant la moyenne des densités habituellement obtenues par la Raffinerie pour chaque produit fini.

Il suffit donc de remplacer DCA, dans (33'), par la moyenne (DCA) des densités des C.A. habituellement obtenues par la Raffinerie.

La contrainte (33') devient alors :

$$XCA - ZCA \leq \underline{DCA} \sum_{i=1}^{NBC} CVC(i) * YCA(i) - SMCA \quad (33)$$

*** Le supercarburant**

Désignons par :

CSSC(j) : la capacité de stockage du bac j en S.C. (en tonnes)

CVSC : la capacité de stockage du S.C. (en m³)

SISC : le stock initial de S.C. (en tonnes)

SFSC : le stock final de S.C. (en tonnes)

SMSC : le stock minimum de S.C. (en tonnes)

SMVSC : le stock minimum de S.C. (en m³).

Nous avons :

$$SMSC = SMVSC * DSC$$

$$CSSC(j) = CVSC(j) * DSC$$

$$CVSC = \sum_{j=1}^{NBC} CSSC(j) * YSC(j) = \sum_{j=1}^{NBC} CVC(j) * DSC * YSC(j)$$

Les entrées de S.C. au cours de la période T sont :

$$E = \sum_{k=1}^4 XS(k) = XSC$$

Les sorties de S.C. au cours de la période T sont :

$$S = ZSC$$

D'où les contraintes :

$$ZSC - XSC \leq SISC - SMSC \quad (34)$$

$$XSC - ZSC \leq DSC \sum_{i=1}^{NBC} CVC(i) * YSC(i) - SMSC \quad (35')$$

Comme pour le cas du carburant auto, la densité du S.C. n'est pas connue et peut s'exprimer en fonction des densités de ses constituants, mais cela conduit à une contrainte non linéaire. Par conséquent, une densité moyenne du supercarburant est utilisée.

(35') devient alors :

$$XSC - ZSC \leq \frac{NBC}{DSC} \sum_{i=1}^{NBC} CVC(i) * YSC(i) - SMSC \quad (35)$$

IV.3.2.4. Les contraintes de spécifications

Elles traduisent le fait que les produits finis doivent répondre à des normes de qualité. Ces dernières, en rapport avec les caractéristiques physico-chimiques des produits, ont pour but d'assurer sécurité et performance dans leur utilisation.

Les normes de qualité sont nombreuses ; les principales spécifications sont regroupées dans le tableau suivant, selon le produit fini considéré.

Produits	Carburant auto		Supercarburant		Naphta	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
densité 15°C		*		*	*	*
tension de vapeur Reid (Kg/cm ²)		*		*		*
nombre d'octane	*	*	*	*		
P.T.E. (en ‰ volume)		*		*		
paraffines (% de volume)					*	*
naphtènes (% de volume)					*	*
aromatiques (% de volume)					*	*
naphtènes+ aromatiques (% de volume)					*	

Source : Raffinerie d'Alger

a) La densité

Pour la plupart des produits, les spécifications retenues imposent un niveau minimum et un niveau maximum à la densité.

Soit un mélange constitué de plusieurs produits intermédiaires et soient :
 $d(i)$: la densité du constituant i de volume $v(i)$
 $X(i)$: la quantité du constituant i
 D_m : la densité du mélange de volume V_m .

$D_m = \text{masse du mélange} / \text{volume du mélange}$

$$D_m = \frac{\sum_i X(i)}{\sum_i v(i)}$$

tel que : $v(i) = X(i) / d(i)$

D'où :

$$D_m = \frac{\sum_i X(i)}{\left(\sum_i X(i)/d(i)\right)}$$

Comme D_m doit être comprise entre les limites inférieure et supérieure de la densité, nous avons :

$$D_m(\text{inf}) \leq \frac{\sum_i X(i)}{\left(\sum_i X(i)/d(i)\right)} \leq D_m(\text{sup})$$

D'où les contraintes :

$$\sum_i X(i) * (1 - D_m(\text{sup}) / d(i)) \leq 0$$

$$\sum_i X(i) * ((D_m(\text{inf}) / d(i)) - 1) \leq 0$$

* Le carburant auto :

Les spécifications officielles n'imposent qu'un niveau maximum à la densité du carburant auto.

Soit : DSCA la densité supérieure du C.A.

D'où la contrainte :

$$\sum_{k=1}^5 XC(k) (1-DSCA/dc(k)) \leq 0 \quad (36)$$

* Le supercarburant :

Comme pour le C.A., les spécifications officielles n'imposent qu'un niveau maximum à la densité du S.C.

Soit : DSSC la densité supérieure du supercarburant.

D'où la contrainte :

$$\sum_{k=1}^4 XS(k) (1-DSSC/ds(k)) \leq 0 \quad (37)$$

* Le Naphta :

Soient :

DSN : la densité supérieure du Naphta

DIN : la densité inférieure du Naphta.

D'où les contraintes :

$$\sum_{k=1}^2 XN(k) (1-DSN/dn(k)) \leq 0 \quad (38)$$

$$\sum_{k=1}^2 XN(k) (DIN/dn(k)-1) \leq 0 \quad (39)$$

b) La T.V.R.

La T.V.R. mesure la tendance des molécules à s'échapper d'une phase liquide pour engendrer une phase vapeur en équilibre thermodynamique.

C'est une mesure associée à la volatilité d'une essence :

- trop faible, elle diminue la facilité de départ à froid ;
- trop forte, elle entraîne le vapor lock (bouchon de vapeur entraînant l'arrêt du moteur).

Les spécifications officielles n'imposent qu'une limite supérieure de T.V.R. afin de fournir une marge de sécurité contre les pertes d'évaporation inévitables des hydrocarbures légers entre la Raffinerie et le consommateur.

La T.V.R. d'un mélange varie, selon la loi de Raoult, linéairement avec la composition volumétrique des constituants de ce mélange.

Nous avons alors :

$$\sum_i \text{T.V.R.}(i) * v(i) = (\text{T.V.R.})_m * V_m$$

où : T.V.R.(i) représente la T.V.R. du constituant i et v(i) son volume ;
(T.V.R.)_m représente la T.V.R. du mélange et V_m son volume.

Comme : v(i) = X(i)/d(i) et V_m = $\sum_i v(i) = \sum_i X(i)/d(i)$, alors

$$(\text{T.V.R.})_m = \left(\sum_i \text{T.V.R.}(i) * \left(\frac{X(i)}{d(i)} \right) \right) / \sum_i \frac{X(i)}{d(i)}$$

Soit (T.V.R.)_{max} la borne supérieure de la T.V.R.

La (T.V.R.)_m doit être inférieure ou égale à (T.V.R.)_{max}, d'où la contrainte :

$$\sum_i \frac{X(i)}{d(i)} (\text{T.V.R.}(i) - (\text{T.V.R.})_{\max}) \leq 0$$

* Le carburant auto :

$$\sum_{k=1}^4 X_C(k)/d_C(k) (\text{T.V.R.}(k) - (\text{T.V.R.C.})_{\max}) \leq 0 \quad (40)$$

où (T.V.R.C.)_{max} est la T.V.R. maximale du C.A.

* Le supercarburant :

$$\sum_{k=1}^3 X_S(k)/d_S(k) (\text{T.V.R.}(k) - (\text{T.V.R.S.})_{\max}) \leq 0 \quad (41)$$

où (T.V.R.S.)_{max} est la T.V.R. maximale du S.C.

* Le Naphta :

$$\sum_{k=1}^2 X_N(k)/d_N(k) (\text{T.V.R.}(k) - (\text{T.V.R.N.})_{\max}) \leq 0 \quad (42)$$

où (T.V.R.N.)_{max} est la T.V.R. maximale du Naphta.

c) Le taux d'éthylation

Le taux d'éthylation ne constitue pas une contrainte puisque celui-ci est fixé à l'avance. Généralement, le taux d'éthylation ne dépasse pas 0.6 ‰ de P.T.E. par litre d'essence.

En effet, au dessus de ce taux, l'éthylation n'offre pratiquement plus d'intérêt car il y a saturation des essences. Le gain d'octane obtenu est très faible pour devenir rapidement négligeable.

Le graphique donné en Annexe II représente la courbe de susceptibilité d'un platformat haute sévérité (NO : 94 clair), en fonction de différents taux d'éthylation.

Désignons par :

tc : le taux d'éthylation du carburant exprimé en ‰ de volume
DPTE : la densité du P.T.E.

Nous avons :

$$tc = (\text{volume de P.T.E.} / \text{volume de carburant (avant éthylation)}) * 1000$$

D'où :

$$\text{vol P.T.E} * 1000 = tc * \text{vol C}$$

ou encore :

$$\text{vol P.T.E.} * DPTE = tc / 1000 * DPTE * \text{vol C}$$

* Le carburant auto :

La relation précédente s'exprime pour le C.A. de la manière suivante :

$$XC(5) - tc * DPTE / 1000 \sum_{k=1}^4 XC(k) / dc(k) = 0 \quad (43)$$

* Le supercarburant :

Pour le S.C., la relation s'exprime de la manière suivante :

$$XS(4) - tc * DPTE / 1000 \sum_{k=1}^3 XS(k) / ds(k) = 0 \quad (44)$$

d) L'indice d'octane (Research Octane Number : R.O.N.)

L'indice d'octane est une grandeur qui ne peut être pondérée, ni en poids ni en volume. Il ne représente donc pas une propriété additive. Le R.O.N. des principaux hydrocarbures purs intervenant dans la composition des essences peut être obtenu dans des tableaux de caractéristiques physiques, tandis que celui des mélanges est obtenu expérimentalement.

La valeur absolue des nombres d'octane ne présente pas beaucoup d'intérêt car en pratique, on leur associe des indices de mélange. La méthode des indices de mélange consiste à substituer aux R.O.N. des valeurs d'indice qui sont additives en volume. C'est ainsi qu'a été défini le " Research Blending Number" : R.B.N.

Le R.B.N., indice de mélange dérivé du R.O.N., varie linéairement avec la composition volumétrique des composants du mélange.

Nous avons donc :

$$\sum_i \text{R.B.N.}(i) * v(i) = (\text{R.B.N.})_m * V_m$$

où $(\text{R.B.N.})_m$ désigne le R.B.N. du mélange et V_m son volume.

Des tables de correspondance entre l'indice d'octane (R.O.N.) et l'indice de mélange (R.B.N.) ont été établies pour convertir le R.O.N. en R.B.N., et vice versa.

Les tables de correspondance sont données en annexe II.

Le R.O.N. dépend du taux d'éthylation. Pour pouvoir utiliser les différents niveaux d'éthylation, il faut connaître pour chaque constituant des carburants le R.O.N. obtenu au niveau d'éthylation correspondant.

Pour ce faire, nous disposons des mesures suivantes faites par la Raffinerie

Indice d'octane

taux d'éthylation en ‰vol	0 ‰	0.4 ‰	0.5 ‰	0.6 ‰
Produits				
Essence SR	76.6	92.8	93	95.4
Solvant total	45	60	63.6	67.1
Platformat B.S.	80.6	90.6	91.5	92.5
Platformat H.S.	94	99.2	99.8	100
Butane	97	101.5	104	105.8

Source : Raffinerie d'Alger.

Comme l'indice d'octane varie avec le taux d'éthylation, désignons par $R.O.N(i,t)$ le nombre d'octane du constituant i correspondant au taux d'éthylation t et par $R.B.N.(i,t)$ son indice empirique.

L'équation précédente peut alors s'écrire :

$$\sum_i R.B.N.(i,t) * v(i) = (R.B.N)_m * V_m$$

En remplaçant $v(i)$ par $X(i)/d(i)$ et V_m par $\sum_i X(i)/d(i)$, nous aurons :

$$(R.B.N)_m = \left(\sum_i R.B.N.(i,t) * X(i)/d(i) \right) / \sum_i X(i)/d(i)$$

Les spécifications officielles fixent une limite inférieure et une limite supérieure à l'indice d'octane des carburants. Soient $(RON)_{inf}$ et $(RON)_{sup}$ ces limites, $(RBN)_{inf}$ et $(RBN)_{sup}$ les limites de l'indice de mélange correspondant.

Nous avons :

$$(RON)_{inf} \leq (R.O.N.)_m \leq (RON)_{sup}$$

D'où les contraintes :

$$\sum_i X(i)/d(i) (R.B.N.(i,t) - (RBN)_{sup}) \leq 0$$

$$\sum_i X(i)/d(i) ((RBN)_{inf} - R.B.N.(i,t)) \leq 0$$

* le carburant auto :

Les contraintes du nombre d'octane se traduisent pour le C.A. par :

$$\sum_{k=1}^4 (XC(k)/dc(k) (R.B.N.(k,t) - (RBNC)_{sup}) \leq 0 \quad (45)$$

$$\sum_{k=1}^4 (XC(k)/dc(k) ((RBNC)_{inf} - R.B.N.(k,t)) \leq 0 \quad (46)$$

où, (RBNC)_{sup} et (RBNC)_{inf} sont respectivement les bornes supérieure et inférieure du R.B.N. pour le C.A.

* Le supercarburant :

Les contraintes du nombre d'octane se traduisent pour le S.C. par :

$$\sum_{k=1}^3 (XS(k)/ds(k) (R.B.N.(k,t) - (RBNS)_{sup}) \leq 0 \quad (47)$$

$$\sum_{k=1}^3 (X(k)/ds(k) ((RBNS)_{inf} - R.B.N.(k,t)) \leq 0 \quad (48)$$

où, (RBNS)_{sup} et (RBNS)_{inf} sont respectivement les bornes supérieure et inférieure du R.B.N. pour le S.C.

Remarque

Un indice d'octane élevé ne suffit pas à lui seul pour caractériser une essence de qualité. Toutes les autres spécifications (T.V.R., densité) ont une importance primordiale qu'il ne faut pas négliger si l'on veut que l'utilisateur tire le maximum de satisfaction dans l'utilisation et l'entretien de son véhicule.

e) La teneur en paraffines, naphthènes et aromatiques

La teneur en paraffines, naphthènes et aromatiques, exprimées en % de volume, varie linéairement en fonction de la composition volumétrique des constituants du mélange.

Désignons par :

$P(i)$: la teneur en paraffine du composant i et $v(i)$ son volume

P_m : la teneur en paraffine du mélange et V_m son volume

$N(i)$: la teneur en naphthène du composant i

N_m : la teneur en naphthène du mélange

$A(i)$: la teneur en aromatique du composant i

A_m : la teneur en aromatique du mélange

$NA(i)$: la teneur en naphthène + aromatique du composant i

NA_m : la teneur en naphthène + aromatique du mélange

Les spécifications officielles imposent des limites inférieures et supérieures pour les trois teneurs.

Nous avons, par exemple :

$$N_m = \frac{\sum_i N(i) * X(i)/d(i)}{\sum_i X(i)/d(i)}$$

comme :

$$N_{inf} \leq N_m \leq N_{sup}$$

Nous avons les contraintes :

$$\sum_i X(i)/d(i) (N(i) - N_{sup}) \leq 0$$

$$\sum_i X(i)/d(i) (N_{inf} - N(i)) \leq 0$$

Pour le Naphta, ces contraintes se traduisent par :

$$\sum_{k=1}^2 X_N(k)/d_n(k) (N(k) - N_{Nsup}) \leq 0 \quad (49)$$

$$\sum_{k=1}^2 X(k)/d_n(k) (N_{Ninf} - N(k)) \leq 0 \quad (50)$$

où, N_{Nsup} et N_{Ninf} représentent respectivement les teneurs supérieure et inférieure en naphthène du Naphta.

IV.3.2.5. Les contraintes de capacité d'expédition

La Raffinerie dispose de pomperies d'expédition communes à plusieurs produits.

Dans la chaîne considérée, nous distinguons les groupes de produits suivants

- propane/butane
- carburant auto/supercarburant
- Naphta.

* Propane-butane :

Le nombre de jours nécessaires à l'expédition du propane et du butane ne doit pas excéder la durée de programmation.

Désignons par :

DEPR : le débit d'expédition du propane (en m³/jour)

DEBU : le débit d'expédition du butane (en m³/jour)

DPR : la densité du propane

DBU : la densité du butane.

Le nombre de jours nécessaire à l'expédition se traduit par l'expression : poids/(débit*densité).

D'où la contrainte :

$$ZP/(DEPR \cdot DPR) + ZB/(DEBU \cdot DBU) \leq T \quad (51)$$

* Carburant auto-supercarburant :

Comme pour le propane et le butane, les quantités de C.A. et de S.C. à expédier doivent l'être entièrement pendant la période de programmation.

En désignant par :

DECA : le débit d'expédition du C.A. (en m³/jour)

DESC : le débit d'expédition du S.C. (en m³/jour)

DCA : la densité spécifique du C.A.

DSC : la densité spécifique du S.C.

nous avons la contrainte :

$$ZCA/(DECA \cdot \underline{DCA}) + ZSC/(DESC \cdot \underline{DSC}) \leq T \quad (52)$$

* Naphta :

La quantité de Naphta doit être entièrement expédiée durant la période de programmation.

Désignons par :

DENA : le débit maximum d'expédition du Naphta (en m³/jour)

D'où la contrainte :

$$\sum_{k=1}^2 XN(k)/(DENA*dn(k)) \leq T \quad (53)$$

IV.3.2.6. Les contraintes de demande

Les contraintes de demande se formule en général comme suit :

$$ZP \geq DMPR, ZB \geq DMBU, ZCA \geq DMCA, ZSC \geq DMSC$$

Mais comme la Raffinerie d'Alger ne peut satisfaire l'ensemble des besoins de la région centre, les contraintes de demande formulées à cet effet se traduisent, dans un premier temps, comme suit :

$$ZP \leq DMPR \quad (54)$$

$$ZB \leq DMBU \quad (55)$$

$$ZCA \leq DMCA \quad (56)$$

$$ZSC \leq DMSC \quad (57)$$

où DMPR, DMBU, DMCA, DMSC représentent respectivement les demandes de la région centre en propane, butane, C.A. et S.C.

IV.3.3. La fonction objectif

La fonction objectif est une fonction à deux blocs, comprenant :

- le coût de la matière première
- le coût des opérations de raffinage.

Elle peut donc être formulée comme suit :

$F = \text{Prix d'achat de la matière première} * \text{Niveau de consommation} + \sum_i \text{Frais}$
par tonne de charge de l'unité i * Niveau de marche de l'unité i .

IV.3.3.1. Le coût de la matière première

La quantité de pétrole brut utilisée durant la période de programmation est :

$$\sum_{i=1}^{Nt} XT(i)$$

En désignant par PAPB le prix d'achat d'une tonne de brut par la Raffinerie, le coût de la matière première serait donc :

$$FMP = PAPB * \sum_{i=1}^{Nt} XT(i)$$

IV.3.3.2. Le coût des opérations de raffinage

Nous prendrons en compte le coût de l'ensemble des opérations de raffinage que subissent les produits, soit :

- coût de la distillation atmosphérique
- coût du Platforming
- coût du Gas-plant
- frais de fabrication des carburants
- frais de stockage des produits
- frais d'expédition des produits finis.

a) Coût de la distillation atmosphérique

Il s'agit des frais variables de l'unité de distillation atmosphérique. Ces derniers comprennent :

- les frais de stockage de pétrole brut
- les frais de dessalage du brut : il s'agit essentiellement des produits chimiques utilisés à cet effet (unidem 56, soude caustique)
- les coûts des produits chimiques utilisés par l'unité de distillation (Unicor F.N, ammoniac...)
- les frais de consommation d'eau de refroidissement
- les frais de fonctionnement de l'unité de Topping (consommation d'utilités).

Ces frais sont considérés comme proportionnels à la tonne de brut traitée.

Désignons par CVUT(i) le coût par tonne de charge traitée pour la marche-type i.

Le montant des frais variables correspondant à la quantité de brut traitée est alors :

$$FD = \sum_{i=1}^{Nt} CVUT(i) * XT(i)$$

b) Coût du Platforming

Il s'agit du coût relatif :

- aux produits chimiques utilisés par l'unité de Platforming (Unicor, Dichloropropane),
- à la consommation de catalyseurs (S6, R11),
- à la consommation d'eau de refroidissement,
- aux frais de fonctionnement de l'unité de Platforming.

Nous distinguons deux niveaux de coût selon le régime de marche (basse ou haute sévérité).

Désignons par :

CVBS : le coût variable par tonne de charge traitée, en régime basse sévérité
 CVHS : le coût variable par tonne de charge traitée, en régime haute sévérité.

Le montant des coûts variables dus au Platforming est donc :

$$FP = CVBS * \left(\sum_{i=1}^{Nt} XPB(i) + XSPB \right) + CVHS * \left(\sum_{i=1}^{Nt} XPH(i) + XSPH \right)$$

c) Coût du Gas-plant

Les frais de cette unité comprennent :

- les frais de fonctionnement de l'unité de Gas-plant
- l'eau de réfrigération.

En désignant par CVUG(j) le coût variable par tonne de charge traitée pour le régime de marche j de l'unité de Gas-plant, nous aurons le montant total des coûts variables pour cette unité :

$$FGP = \sum_{j=1}^{Ng} CVUG(j) * \left(\sum_{i=1}^{Nt} XG(i,j) + XGH(j) + XGB(j) \right)$$

d) Coût de fabrication des carburants

Le coût de fabrication des carburants comprend :

- la consommation de P.T.E.
- la consommation d'utilités.

Les frais de fabrication des carburants sont considérés comme proportionnels au volume produit.

Désignons par :

CVCA : le coût de fabrication du C.A. par m³
 CVSC : le coût de fabrication du S.C. par m³.

Nous aurons alors le montant total des frais de fabrication des carburants :

$$FC = CVCA \sum_{k=1}^5 XC(k)/dc(k) + CVSC \sum_{k=1}^4 XS(k)/ds(k)$$

e) Coût de stockage

Les principaux coûts de stockage représentent les consommations d'utilités nécessaires au pompage des produits à partir des bacs de stockage.

Nous prendrons donc en compte le coût des utilités. En effet, les bacs de stockage utilisent :

- de l'électricité pour les commandes automatiques de vannes, les appareils de contrôle et de sécurité,
- de la vapeur d'eau pour chauffer les produits lourds.

Désignons par :

FSB : le coût de stockage du butane en DA par tonne et par an
 FSP : le coût de stockage du propane en DA par tonne et par an
 FSCA : le coût de stockage du C.A. en DA par tonne et par an
 FSSC : le coût de stockage du S.C. en DA par tonne et par an.
 FSNA : le coût de stockage du Naphta en DA par tonne et par an.

Le montant total des frais de stockage est alors :

$$FSP * ZP + FSB * ZB + FSCA * ZCA + FSSC * ZSC + FSNA * (XN(1) + XN(2))$$

f) Coût d'expédition

Il s'agit du coût des utilités nécessaires au fonctionnement des pomperies d'expédition.

Désignons par :

FEB : les frais d'expédition du butane en DA par tonne

FEP : les frais d'expédition du propane en DA par tonne

FECA : les frais d'expédition du C.A. en DA par tonne

FSC : les frais d'expédition du S.C. en DA par tonne

FENA : les frais d'expédition du Naphta en DA par tonne.

Le montant total des frais d'expédition est alors :

$$FEX = FEP * ZP + FEB * ZB + FECA * ZCA + FESC * ZSC + FENA(XN(1) + XN(2))$$

La fonction objectif est :

$$F = FMP + FD + FP + FGP + FC + FS + FEX$$

Remarque :

En réalité, la Raffinerie d'Alger n'achète pas le pétrole brut. Ce dernier est cédé à la Raffinerie conformément à un accord commun avec la SONATRACH.

IV.4. Caractéristiques du modèle

IV.4.1. Nature du modèle

Le modèle mathématique de base est non linéaire au moins pour ses contraintes de stockage et d'expédition. Cette non linéarité est due essentiellement à la méconnaissance, à priori, des densités des carburants. Néanmoins, l'analyse des différentes densités obtenues généralement par la Raffinerie montre que ces dernières ne varient que très peu. Elles peuvent donc être estimées, sans grand risque d'erreur, par la moyenne des valeurs observées sur une période suffisamment longue pour être représentative.

Cette estimation nous a permis de linéariser le modèle, sans pour autant s'éloigner de son aspect réel et pratique.

D'autre part, pour les contraintes de spécifications relatives à l'indice d'octane des carburants, et compte tenu de la nature non pondérale de cette propriété, le recours à un indice empirique de mélange a été nécessaire pour la formulation de ces contraintes. Cet indice varie linéairement par rapport au volume.

Quant aux contraintes de satisfaction de la demande, elles correspondent à des hypothèses de demande prévisionnelle sur la période de programmation, et la fonction objectif représente un coût de production moyen.

Le modèle ainsi obtenu est donc linéaire à variables mixtes.

IV.4.2. Complexité du modèle

Le modèle linéaire se formule en variables mixtes : continues pour les différentes quantités à mettre en oeuvre, binaires pour l'affectation des bacs de stockage.

Nombre de variables

Variables continues : $25 + 5N_t + 3N_g + N_t * N_g$

N_t , N_g étant respectivement le nombre d'unités fictives du Topping et du Gas-plant.

Variables binaires : $(NBP + NBC) * 2$

NBP , NBC étant respectivement le nombre de bacs affectés aux platformats et aux carburants.

Nombre de contraintes

- 1- Contraintes de capacité de production : 4
- 2- Equations de bilan-matière : $9 + 2N_t$
- 3- Contraintes de stockage : $18 + (NBP + NBC)*2$
- 4- Contraintes de spécifications : 19
- 5- Contraintes de capacité d'expédition : 3
- 6- Contraintes de demande : 4

Total des variables

$$25 + 5N_t + 3N_g + N_t * N_g + (NBP + NBC)*2$$

Total des contraintes

$$57 + 2N_t + (NBP + NBC)*2$$

Taille du modèle

Nous rappelons que le passage d'une marche-type à une autre revient à modifier entre eux les rendements de certains produits. Ces rendements peuvent varier entre un point initial et un point final, donc sur un intervalle continu, ce qui conduit à un nombre infini de marches-types. En pratique, on distingue des intervalles de température assez petits (5°C par exemple) où les rendements ne varient pas de façon significative, ce qui permet de retenir un nombre fini de marches-types.

De cette manière, la Raffinerie d'Alger a répertorié 40 marches-types pour le Topping et 30 pour le Gas-plant. Dans ces conditions, le modèle complet comprend :

- * 1522 variables
- * 144 contraintes.

IV.4.3. Objectif du modèle

L'objectif du modèle est de déterminer un programme de fabrication qui minimise les coûts de production, le modèle étant libre de fixer les quantités de produits finis à réaliser, pour peu que ces quantités n'excèdent pas les besoins de la région centre. Nous désignons le modèle par "optimum libre".

IV.4.4. Apport du modèle

Ainsi formulé, le modèle est statique. Il fournit un plan de raffinage moyen pour la période de programmation considérée et indique :

- la quantité totale de pétrole brut à raffiner pendant la période de programmation,
- les quantités de produits intermédiaires à mettre en oeuvre aux différents stades du processus de fabrication,
- les différents réglages des unités de production à effectuer (marches-types et sévérités),
- les quantités de produits intermédiaires entrant dans la composition des différents produits finis,
- les quantités de produits finis à élaborer,
- les quantités de produits finis à expédier,
- l'affectation des bacs de stockage polyvalents
- et l'état final des stocks.

Remarque

Lors de la formulation du modèle, nous n'avons pas tenu compte des temps de réglage nécessaires au passage d'une marche-type à une autre pour les raisons suivantes :

- le réglage des unités de production (augmentation ou diminution de la température et de la pression) se fait de l'extérieur et ne nécessite pas d'arrêt de fonctionnement ; il n'y a donc pas de rupture de production
- le temps nécessaire pour effectuer ces différents réglages est relativement court.

IV.5. Différents objectifs

La réalité industrielle ne peut se limiter à l'optimisation d'une fonction économique. Le fonctionnement repose sur des objectifs multiples, complexes, dynamiques et souvent contradictoires.

Vu la nature des activités de la Raffinerie d'Alger et le rôle qu'elle doit assumer auprès de ses clients, d'autres objectifs pourraient susciter l'intérêt de ses responsables. Ceci donne lieu à plusieurs variantes du modèle de base.

IV.5.1. Les différentes variantes du modèle de base

Pour la formulation des différentes variantes du modèle de base, seuls les points qui varient par rapport à ce dernier seront mentionnés.

A/ Maximisation de la production de supercarburant

La satisfaction des besoins de la région centre en carburants reste l'une des préoccupations fondamentales de la Raffinerie d'Alger.

En raison de l'accroissement de la demande de consommation, la Raffinerie n'est plus en mesure de satisfaire simultanément les besoins de la région centre en carburant auto et en supercarburant. La politique adoptée en la matière consiste alors à donner priorité à la production de supercarburant.

Le déficit en carburant auto par rapport à la demande étant comblé par des acheminements réalisés à partir des raffineries d'Arzew et de Skikda.

Dans ce modèle, nous nous fixons comme objectif de déterminer le niveau maximum de production de supercarburant que peut atteindre la Raffinerie.

Ce modèle sera désigné par "variante 1".

Formulation de la variante 1

Le but de ce modèle étant de maximiser la production de supercarburant, la contrainte (57) n'est donc plus prise en compte et la nouvelle fonction objectif s'exprime comme suit :

$$\text{Max } Z = XSC.$$

B/ Satisfaction de la demande de supercarburant au moindre coût

Le supercarburant étant un produit à forte demande, il est important d'organiser la production au sein de la Raffinerie de façon à satisfaire la demande de ce dernier.

Le but de ce modèle est de déterminer le programme de production le moins coûteux qui satisfasse les besoins de la région centre en supercarburant.

Ce modèle sera désigné par "variante 2".

Formulation de la Variante 2

Ce modèle ayant pour but de satisfaire la demande de la région centre en supercarburant, la contrainte (57) devient serrée ($ZSC = DMSC$) ; l'objectif étant toujours de minimiser un coût global de traitement.

C/ Satisfaction de la demande de supercarburant en assurant une production minimale de carburant auto au moindre coût

Malgré l'évolution de l'industrie automobile, favorisant l'utilisation du supercarburant, le carburant auto reste néanmoins un produit à demande importante.

Le but de ce modèle est de déterminer le programme le moins coûteux qui satisfasse les besoins de la région centre en supercarburant et qui assure une production minimale de carburant auto.

Ce modèle sera désigné par "variante 3".

Formulation de la Variante 3

Ce modèle vise à satisfaire la demande du centre en supercarburant tout en assurant une production minimale de carburant auto au moindre coût. Cela se traduit par l'écriture des contraintes correspondantes comme suit :

La contrainte (57) devient : $ZSC = DMSC$

La contrainte (56) devient : $ZCA \geq \text{niveau minimum}$

D) Minimisation du coût d'approvisionnement de la région centre

La Raffinerie d'Alger ne pouvant satisfaire l'ensemble des besoins de la région centre, les contraintes de demande ont été formulées comme suit :

$$Z_i \leq D_i$$

où Z_i , représente la quantité de produit (i) fabriquée par la Raffinerie d'Alger et destinée à la satisfaction de la demande de la région centre ; et D_i , la demande de produit (i) à satisfaire.

La différence ($D_i - Z_i$) constituant le niveau de l'assistance, c'est à dire la quantité de produit (i) à acheminer des raffineries d'Arzew et de Skikda.

A l'optimum, le modèle nous donne, entre autres, les quantités optimales de produits finis à fabriquer Z_i^* .

Cependant, la quantité $(D_i - Z_i)$ de produit (i) à acheminer des deux raffineries est ici une variable exogène au modèle. Sa valeur à l'optimum $(D_i - Z_i^*)$ est déterminée à posteriori.

Dans ce modèle, nous introduirons comme variables les quantités de produits finis à acheminer, l'objectif étant de minimiser le coût d'approvisionnement de la région centre.

Ce modèle sera désigné par "variante 4".

Formulation de la Variante 4

L'assistance à la région centre étant assurée par les raffineries d'Arzew et de Skikda, désignons par :

Z_i^0 , la quantité de produit (i) à fabriquer par la Raffinerie d'Alger,

Z_i^1 , la quantité de produit (i) à fabriquer par la raffinerie de Skikda,

Z_i^2 , la quantité de produit (i) à fabriquer par la raffinerie d'Arzew.

L'objectif consiste à déterminer les valeurs optimales des variables Z_i^0 , Z_i^1 , Z_i^2 qui minimisent le coût d'approvisionnement de la région centre.

Il est clair que l'optimum économique de la région centre ne coïncide pas, nécessairement avec l'optimum économique de la Raffinerie d'Alger.

Désignons par :

C_i^1 , le coût d'une tonne de produit (i) fabriquée par la raffinerie de Skikda et acheminée vers la région Centre. Ce coût comprend :

- le coût de fabrication ;
- le coût du transport, jusqu'à mise en dépôt du produit (i) dans les bacs de stockage de la région centre.

C_i^2 , le coût d'une tonne de produit (i) fabriquée par la raffinerie d'Arzew et acheminée vers la région Centre.

C_j^0 , les coefficients des variables X_j^0 du modèle dans la fonction objectif initiale, $j=1..N$ (N étant le nombre de variables du modèle principal).

Les variables Z_i^1 et Z_i^2 deviennent alors des variables endogènes au modèle.

La nouvelle fonction objectif s'exprime donc comme suit :

$$\sum_{j=1}^N C_j^0 X_j^0 + \sum_{i=1}^n (C_i^1 Z_i^1 + C_i^2 Z_i^2) , \quad n \text{ étant le nombre de produits à acheminer.}$$

Le terme $\sum_{j=1}^N C_j^0 X_j^0$ représente l'ancienne fonction objectif

et le terme $\sum_{i=1}^n (C_i^1 Z_i^1 + C_i^2 Z_i^2)$ représente le coût de l'assistance.

Les contraintes de demande deviennent :

$$Z_i^0 + Z_i^1 + Z_i^2 = D_i , \quad i=1..n.$$

Le niveau de l'assistance réellement possible étant limité pour des considérations de transport et/ou de disponibilité ; des contraintes traduisant cette limite viendraient alors s'ajouter au modèle.

Ainsi, en apportant quelques transformations aux équations de demande et à la fonction objectif, le modèle permet de déterminer un programme de fabrication (au niveau de la Raffinerie d'Alger) et d'assistance qui minimise le coût d'approvisionnement de la région centre. Cela présente un intérêt certain pour NAFTEC dont les préoccupations se situent à un niveau plus global que celui de la Raffinerie d'Alger.

CHAPITRE V

Mise en oeuvre du Modèle

V.1. Le modèle testé

V.1.1. Taille du modèle

Pour les besoins de l'application, nous avons retenu 10 marches-types pour le Topping et 10 marches-types pour le Gas-plant.

Le modèle testé comprend : 212 variables et 84 contraintes.

Le choix des marches-types utilisées pour l'application a été limité pour des raisons de disponibilité de données. En effet, nous ne disposons ni des coûts variables d'utilisation des unités de fabrication, ni des consommations d'utilités pour certaines marches-types.

V.1.2. Période de programmation

L'aspect statique du modèle limitant l'horizon d'analyse au court terme, nous nous proposons d'effectuer l'étude du système sur l'horizon d'une année.

V.2. Particularités du modèle

- La matrice du modèle est creuse, elle comprend 1410 éléments non nuls, soit un taux de remplissage de :

$$\frac{1410}{212 \cdot 84} = 7.92 \%$$

- Le modèle comprend plus de 250 paramètres dont dépendent les coefficients du problème. Ces paramètres peuvent être classés en deux catégories principales : des paramètres techniques et des paramètres économiques.

V.2.1. Paramètres techniques

Ces paramètres sont relatifs aux :

- caractéristiques des unités de fabrication (rendements, taux de charge, consommations d'utilités, périodes de programmation)
- caractéristiques des produits intermédiaires
- spécifications des produits finis
- données de stockage
- capacités d'expédition.

V.2.2. Paramètres économiques

Nous distinguons :

- les coûts variables d'utilisation des unités de fabrication
- les frais de stockage
- et les frais d'expédition.

V.3. Essai d'application

V.3.1. Outil de résolution

Pour des raisons de disponibilité, nous avons opté pour l'utilisation du logiciel GAMS (General Algebraic Modeling System) que nous présentons succinctement ci-dessous.

Fiche technique de la version 2.02 A

- Distributeur : the Scientific Press (Stanford University)
- Mémoire minimum : 512 K (disque dur nécessaire)
- Machine : IBM AT avec Dos 3.1
- Type de problèmes : GP (Problèmes généraux)
- Dimensions maximum : 300 lignes et 500 colonnes.

Structure d'un modèle GAMS

INPUTS :

Sets

Declaration

Assignment of members

Data (Parameters, 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.

Classification des modèles GAMS

Une grande variété de problèmes peut être résolue 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
NLP : Non Linear Programming
DNLP : Non Linear Programming with Discontinious derivatives
RMIP : Relaxed Mixed Integer Programming
MIP : Mixed Integer Programming
RMIDNLP : Relaxed Mixed Integer Non Linear Programming with Discontinious derivatives
MIDNLP : Mixed Integer Non Linear Programming with Discontinious derivatives.

V.3.2. Formalisation du modèle en GAMS

Le modèle est linéaire à variables mixtes, il est donc reconnu par GAMS comme étant un problème de type MIP.

Etant donné que la matrice du problème est creuse, et pour l'écriture du modèle GAMS, nous avons exploité les possibilités de décomposition de matrices offertes par ce logiciel. Cela nous a permis de gérer la matrice du problème en blocs d'équations et a facilité l'introduction et le contrôle des données.

V.4. Introduction des paramètres

Après analyse du modèle, il apparaît que les coefficients de ce dernier sont déterminés à partir d'un nombre réduit de données utilisées de façon répétitive (qualités des différentes coupes pétrolières, sévérités des marches des unités, coûts variables des unités de production...), leur calcul peut donc être généré de façon automatique.

Pour ce faire, une partie de nos travaux s'est dirigée vers l'établissement de plusieurs programmes permettant de générer toutes les matrices,

paramètres, scalaires et sets du modèle GAMS et d'introduire les différents paramètres qui les pondèrent. L'introduction de ces paramètres est indépendante du corps du modèle, elle se fait de l'extérieur et confère donc à ce dernier un caractère flexible.

L'association de ces programmes au modèle permet son adaptation aux différents changements possibles. En effet, plusieurs paramètres du modèle peuvent varier : demande des produits raffinés, spécifications légales, période considérée...

Seule l'introduction des nouvelles données suffit pour avoir les résultats correspondants à la nouvelle situation.

Remarque

Les 1410 coefficients non nuls du problème sont générés à partir de 250 paramètres, donc seules 17% des données du problème sont réellement actives.

V.4.1. Génération de la matrice du problème

Générer les coefficients technico-économiques du problème à résoudre a nécessité l'établissement de plusieurs programmes informatiques écrits en Turbo Pascal.

Ces programmes permettent :

- de restituer les données d'entrée sous une forme explicite, accompagnées de messages
- de modifier, éventuellement, ces mêmes données
- de calculer et éditer tous les coefficients du problème. Les éléments de chaque matrice sont édités en lignes (par variables) et en colonnes (par contraintes)
- et d'éditer tous les coefficients du problème sous la forme admise par le GAMS.

V.5. Interface utilisateur du modèle

Afin de faciliter l'utilisation du modèle et d'exploiter au mieux les possibilités qui lui sont conférées (changements de paramètres, nouvelles situations...), il a été nécessaire de concevoir une interface utilisateur d'entrée des données et de sortie des résultats. Cette interface permet d'exploiter le modèle sans pour autant en connaître la formulation mathématique et l'outil de résolution.

L'interface réalisée est une application de la Programmation Orientée Objet (POO) et de la turbo vision.

Elle permet de modifier le fichier entrée du programme GAMS, de l'exécuter et de lire les résultats du fichier sortie.

Sur le haut de l'écran de l'interface, nous retrouvons la barre des menus suivants

— Paramètres Objectifs Exécution éditer résultats Chiao

1- Menu "-"

a- La commande "About"

Renseigne sur l'auteur de l'interface, son adresse et la date de sa mise en oeuvre.

2- Menu "Paramètres"

a- Sous-menu "Spécifications"

Sert à introduire les changements éventuels quant aux spécifications légales des produits intermédiaires et finis. Ce sous-menu contient trois commandes :

a.1. *Commande "Intermédiaires"*

Pour l'introduction des spécifications des produits intermédiaires.

a.2. *Commande "Finis"*

Pour l'introduction des spécifications des produits finis à l'exception du Naphta.

a.3. *Commande "Naphta"*

Utilisée pour introduire les spécifications du Naphta.

b- Sous-menu "Données de stockage"

Offre la possibilité d'introduire les données décrivant la nouvelle situation des stocks à chaque utilisation du modèle. Ce sous-menu contient trois commandes :

b.1. Commande "Stockage type1"

Relative aux produits bruts et intermédiaires qui n'utilisent pas de bacs polyvalents (pétrole brut, propane, butane, solvant total, essence légère)

b.2. Commande "Stockage type2"

Relative aux produits intermédiaires utilisant des bacs polyvalents (platformats basse et haute sévérité)

b.3. Commande "Stockage type3"

Relative aux produits finis utilisant des bacs polyvalents (carburant auto et supercarburant).

c- Commande "Demande des produits finis"

Permet de modifier les données relatives aux demandes des produits finis pour la période considérée.

d- Commande "période de programmation"

Permet de spécifier l'horizon d'analyse considéré et la capacité de production de chacune des unités de fabrication, exprimée en jours.

e- Commande "Nombre de marches-types"

Permet de préciser le nombre de marches-types du Topping et du Gas-plant utilisées par le modèle.

f- Sous-menu "Caractéristiques des marches-types"

Définit les caractéristiques des marches-types considérées (rendements, taux de charge, coûts variables). Le Sous-menu "Caractéristiques des marches-types" comprend deux commandes :

f.1. La commande "Topping"**f.2. La commande "Gas-plant"****g- Commande "Génération des paramètres"**

Calcule et édite les nouveaux coefficients du problème (tables, paramètres, ensembles).

3- Menu "Objectifs"

Permet à l'utilisateur de choisir, selon la situation, l'objectif à atteindre parmi ceux proposés dans les différentes variantes du modèle. Le menu "Objectifs" comprend quatre commandes :

- a- La commande "Optimum libre"
- b- La commande "variante 1"
- c- La commande "variante 2"
- d- La commande "variante 3"

4- Menu "Exécution"

Permet de recharger le modèle en cas d'éventuels changements et de l'exécuter. Ce menu comprend deux commandes :

- a- La commande "Recharger modèle"
- b- La commande "GAMS Exécution"

5- Menu "éditer résultats"

Fournit les résultats récupérés à partir des fichiers sortie du programme GAMS. Ce menu comprend trois commandes :

a- La commande "Sur écran"

Fournit les résultats obtenus sur écran.

b - La commande "Imprimante"

Offre la possibilité d'imprimer les résultats obtenus.

c- La commande "Fichier"

Permet de stocker les résultats dans un fichier.

6- Menu "Chiao"

Comprend une commande, la commande "ALT.X", permettant de quitter l'interface utilisateur.

V.6. Application du modèle à une situation vécue

Afin de vérifier que le modèle reflète bien le fonctionnement du système qu'il décrit, nous avons repris un plan de production déjà réalisé (année 1994) et avons imposé au modèle de produire et d'expédier les mêmes quantités de produits finis tout en retraçant les mêmes conditions dans lesquelles se trouvait le système (états initiaux des stocks, rendements du catalyseur, etc.). Une telle démarche semble nécessaire avant toute application du modèle et cela pour en vérifier la validité.

Plan de production de l'année 1994

Produits	Niveau de production (t)	Expédition (t)
Propane	5 145	4 841
Butane	90 483	87 305
C.A.	300 500	300 500
S.C.	176 922	170 000
Naphta	268 829	268 829

Dans ce plan de production, le temps de fonctionnement des unités est donné dans le tableau ci-dessous :

Unité	TOP	PLAT B.S.	PLAT H.S.	Gas- plant	Ethy C.A.	Ethy S.C.
Temps de fonctionnement (j)	346	60	136	300	100	88

Dans ce programme de production, la composition des carburants (en tonne) est la suivante :

Produits	C.A.	S.C.
Essence S.R.	60 195.4	34 810
Butane	204	224
Solvant	73 775.4	-
P.H.S.	-	141 491
P.B.S.	165 825.2	-
P.T.E.	500	397

Le coût de ce programme de production est de : 40 528 300 DA

L'application du modèle à la situation décrite ci-avant a conduit aux résultats suivants :

Temps de fonctionnement des unités

Unité	TOP	PLAT B.S.	PLAT H.S.	Gas- plant	Ethy C.A.	Ethy S.C.
Temps de fonctionne ment (j)	347	57	137	302	100	88

Composition des essences

Produits	C.A.	S.C.
Essence S.R.	60 100.00	34 849.653
Butane	300.5	353.844
Solvant	73 889.269	-
P.H.S.	-	141 500
P.B.S.	165 820	-
P.T.E.	389.91	218.487

Le coût de ce programme est de : 35 242 000 DA

Les résultats obtenus par le modèle reflètent parfaitement la situation vécue. La seule différence réside dans la fabrication des carburants. En effet, les résultats du modèle suggèrent l'utilisation d'une plus grande quantité de butane au détriment du P.T.E. (pour l'augmentation de l'indice d'octane des carburants). Ce choix est justifié par des considérations évidentes de coût, le P.T.E. étant un produit chimique importé à prix élevé. Cette nouvelle composition des essences reste conforme aux spécifications légales et permet une diminution du coût process de 15%.

V.7. Etude et interprétation des résultats

Les principaux résultats obtenus pour chaque variante testée sont donnés dans le tableau V.1 page 104.

V.7.1. Optimum libre

Nous rappelons que l'objectif de ce modèle est de déterminer un programme de fabrication qui minimise les coûts de production.

Après exécution, nous avons relevé que :

- le modèle oriente la fabrication vers le produit le moins coûteux, à savoir le Naphta (662 470 t)
- la production des carburants est nulle
- la Raffinerie ne se suffit pas en gaz combustible et en électricité.

Dans ce programme de production :

- l'unité de Platforming ne fonctionne pas puisque le platformat n'est pas requis
- l'unité de distillation atmosphérique fonctionne pendant 118 jours selon la 3ème marche-type et pendant 229 jours selon la 4ème marche-type
- l'unité de Gas-plant fonctionne selon la 2ème marche-type et cela pendant 109 jours

Le coût de ce programme de production est de 21 077 000 DA.

Remarque

Dans ce programme de production, le fonctionnement de l'unité de Gas-plant est dû au fait que cette dernière soit directement alimentée par les G.P.L. provenant du Topping.

Intérêt de ce programme de production

Ce programme n'a évidemment aucun intérêt pour la Raffinerie puisque l'approvisionnement de la région centre reste entièrement posé, principalement en carburants.

Cependant, il permet de situer les coûts des autres programmes de fabrication par rapport à ce cas de base qui est évidemment le programme le moins coûteux.

V.7.2. Variante 1

Nous rappelons que cette variante du modèle a pour objectif de maximiser la production de supercarburant.

Les résultats obtenus montrent que la quantité maximum de supercarburant que peut fabriquer la Raffinerie est de 626 150 t

Pour ce faire, l'unité de Platforming est utilisée à sa capacité maximale, soit 347 jours

Le solvant et l'essence légère ne sont plus destinés à la production de Naphta qui est nulle

La production de carburant auto est nulle vu que l'unité de Platforming ne fonctionne qu'en haute sévérité

L'unité de Topping fonctionne selon la marche 2 pendant 140 jours et la marche 4 pendant 207 jours

L'unité de Gas-plant fonctionne selon la 1ère marche-type pendant 116 jours

La station d'éthylation fonctionne pendant 313 jours

La Raffinerie se suffit en gaz combustibles et achète de l'électricité à la SONELGAZ

Le coût de ce programme de production est de 38 986 000 DA, soit une augmentation de 85% par rapport au programme de base.

V.7.3. Variante 2

Nous rappelons que l'objectif de cette variante est de déterminer le programme le moins coûteux qui satisfasse les besoins de la région centre en supercarburant.

Dans ce programme :

- la production de carburant auto est nulle
- l'unité de distillation atmosphérique fonctionne selon la 3ème marche-type pendant 62 jours et selon la 4ème marche-type pendant 285 jours
- l'unité de Platforming est utilisée exclusivement en régime haute sévérité et cela pendant 271 jours

- l'unité de Gas-plant fonctionne selon la 2ème marche type et cela pendant 107 jours
- la mélangeuse des carburants fonctionne pendant 254 jours
- la Raffinerie se suffit en électricité et achète du gaz à la SONELGAZ

Le coût de ce programme de fabrication est de 34 951 000 t, soit une augmentation de 66% par rapport au programme de base.

V.7.4. Variante 3

Nous rappelons que le but de cette variante est de satisfaire la demande de la région centre en supercarburant tout en assurant une production minimale de 170 000 t de carburant auto.

Dans ce programme :

- l'unité de Topping fonctionne pendant 169 jours selon la 2ème marche-type et pendant 130 jours selon la 4ème marche-type
- l'unité de Platforming fonctionne pendant 271 jours en régime haute sévérité et pendant 50 jours en régime basse sévérité
- l'unité de Gas-plant fonctionne selon la 2ème marche-type et cela pendant 118 jours
- la mélangeuse des carburants est utilisée pendant 254 jours pour le supercarburant et 57 jours pour le carburant auto
- la Raffinerie se suffit en gaz combustibles et en électricité

Le coût de ce programme de fabrication est de 38 982 000 soit une augmentation de 84% par rapport au programme principal.

Le but de la variante 3 étant de satisfaire la demande de S.C. tout en garantissant une production minimale de C.A., il nous a semblé nécessaire de connaître les limites du système quant à la production de C.A. tout en satisfaisant une demande croissante de S.C.

V.7.5. Détermination du niveau maximum de production de C.A.

Le carburant auto et le supercarburant utilisent les mêmes bases. Ce sont par conséquent des produits liés. La demande de la région centre étant en constante augmentation, nous avons effectué une étude de sensibilité des résultats à une variation de la demande de supercarburant.

L'équation de la demande de supercarburant s'écrit :

$$ZSC = DMSC$$

Pour satisfaire une demande annuelle de 515 000 t, il nous suffit d'écrire :

$$ZSC = 515\ 000$$

Nous supposons que la demande de supercarburant varie par intervalle de 10 000 t/an de 515 000 à 555 000 t. Quelle est, pour chaque niveau de demande de supercarburant, la quantité maximale de carburant auto susceptible d'être fabriquée par la Raffinerie d'Alger.

Nous avons :

$$ZSC = 515\ 000 + 10\ 000 \beta$$

$$0 \leq \beta \leq 4$$

La nouvelle fonction objectif est : $\text{Max } Z = XCA$

Les résultats obtenus sont les suivants :

Expédition de S.C. (t)	Production de C.A. (t)
515 000	253 359
525 000	235 400
535 000	217 430
545 000	199 470
555 000	181 510

Pour atteindre ces niveaux de production, l'unité de distillation atmosphérique, l'unité de Platforming ainsi que la station d'éthylation sont utilisées à pleine capacité : 347, 347 et 360 jours de fonctionnement respectivement.

Ces résultats sont intéressants et montrent que la Raffinerie d'Alger pourra satisfaire la demande de supercarburant pour les quelques années à venir tout en assurant un taux de couverture important de la demande de carburant auto (72.4 % pour l'année en cours).

Remarque

Nous n'avons pas pu tester la variante 4 et cela pour des raisons de non disponibilité des données de production et des coûts relatifs à l'acheminement des produits finis des raffineries d'Arzew et de Skikda.

Résultats principaux des divers programmes de production étudiés

Programme de production		Programme de base	variante 1	Variante 2	Variante 3
Valeur fonction objectif	demande t	21 077 000 DA	626 150 t	34 951 000 DA	38 982 000 DA
- Propane	10 000	1518.37	3 8842	3 264.1	3 718.2
- Butane	170 000	31 885.8	81 567.4	68 546.8	78 082.1
- Carburant auto	350 000	0	0	0	170 000
- Supercarburant	515 000	0	626 150	508 080	508 080
- Naphta	-	662 470	0	0	0

Tableau V.1

Programme de production		Programme de base	variante 1	Variante 2	Variante 3
Valeur fonction objectif	Variables	21 077 000 DA	626 150 t	34 951 000 DA	38 982 000 DA
- Quantité de brut traitée	$\sum XT(i)$	2 845 450	2 845 400	2 845 420	2 845 400
- Gaz combustible, Topping vers Fuel-gaz	$\sum YF(i)$	0	2 343.067	853.62	2 651.283
- G.P.L., Topping vers Gas-plant	$\sum \sum XG(i,j)$	37 959.247	40 427.387	37 496.317	40 427.387
- Solvant total, Topping vers Plat H.S.	$\sum XPH(i)$	-	462 670	360 060	360 060
- Solvant total, stock vers Plat H.S.	XSPH	-	-	-	-
- Solvant total, Topping vers Plat B.S.	$\sum XPB(i)$	-	-	-	-
- Solvant total, stock vers Plat B.S.	XSPB	-	-	-	75 209.22
- Solvant total, stock vers C.A.	XC(1)	-	-	-	62 180.645
- Solvant total, stock vers Naphta	XN(1)	442 760	-	11 915.752	-

Suite1 Tableau V.1

Programme de production		Programme de base	variante 1	Variante 2	Variante 3
- Essence SR, stock vers C.A.	XC(2)	-	-	-	40 030.396
- Essence SR, stoc vers Naphta	XN(2)	219 710	-	5 913.09	-
- Naphta vers exportation	XNA	662 470	-	17 828.842	-
- G.P.L., Plat H.S. vers Gas-plant	ΣXGH(j)	-	56 676.667	44 107.066	44 107.066
- G.P.L., Plat B.S. vers Gas-plant	ΣXGB(j)	-	-	-	6 016.738
- Butane vers C.A.	XC(3)	-	-	-	5 516.584
- Butane vers S.C.	XS(2)	-	1 252.307	1 016.166	1 016.166
- P.B.S., stock vers C.A.	XC(4)	-	-	-	62 047.607
- P.H.S., stock vers S.C.	XS(3)	-	364 690	284 150	284 150
- P.T.E. pour C.A.	XC(5)	-	-	-	224.768
- P.T.E. pour S.C.	XS(4)	-	797.722	649.414	649.414
- Propane vers expédition	ZP	877.370	1 301.081	2 623.135	3 009.498
- Butane vers expédition	ZB	28 820.990	78 389.098	63 156.574	65 463.839
- C.A. vers expédition	ZCA	-	-	-	146 970
- S.C. vers expédition	ZSC	-	-	515 000	515 000
- Electricité produite en usine	YPE	-	-	2 085 500	22 058 000
- Electricité SONELGAZ	YES	16 211 000	2 227 600	-	-
- Gaz SONELGAZ	YGS	25 986.639	-	-	-

Suite2 Tableau V.1

V.8. Analyse de sensibilité

L'analyse post-optimale peut être utilisée pour étudier la sensibilité des résultats aux différentes hypothèses du modèle.

Nous pouvons étudier les déformations de la solution optimale, en particulier sous l'effet d'une variation du coût de revient des opérations de raffinage. En effet, les prix de certains produits importés - le catalyseur de réaction et le P.T.E. - sont susceptibles d'augmenter suivant les cours du marché international. Or, le coût du catalyseur de réaction et le coût du P.T.E. constituent des charges prépondérantes dans la détermination du prix de revient des opérations de raffinage (Platforming, mélange et éthylation des carburants).

Nous pouvons étudier également les déformations de la solution optimale sous l'effet d'une variation des éléments du second membre, notamment les demandes des produits finis.

V.9. Interprétation économique des variables duales

Le modèle établi peut s'écrire sous la forme :

$$\text{Min } Z = CX$$

$$AX \geq b$$

$$X \geq 0$$

Le problème dual correspondant est donc :

$$\text{Max } W = Ub$$

$$UA \leq C$$

$$U \geq 0$$

Comme b est un vecteur représentant des quantités de biens (ou ressources), on est conduit à donner aux composantes U_i de U une signification de prix unitaire. Elle fournissent une façon de mesurer la contribution de chacune des ressources au profit.

Les variables duales ont donc une signification semblable à celle des coûts marginaux, mais plus générale car elle est valable pour toutes les contraintes. La plage de validité de la valeur d'une variable duale est liée à la variation du second membre qui est possible sans que la base optimale ne change.

Les coûts donnés pour chacune des variables de décision qui sont hors base dans le tableau final peuvent être interprétés comme étant le montant dont il faudrait augmenter le profit d'une activité, dans le cas d'un problème de maximisation, ou de diminuer le coût, s'il s'agit d'un problème de minimisation, avant qu'il ne soit profitable de l'exploiter.

Pour chaque type de contrainte, les variables duales pourront revêtir une signification économique particulière :

- Les variables duales associées aux équations de demande donnent la répartition des charges du programme entre les différents produits.
- Les variables duales associées aux équations de capacité des unités de fabrication permettent de déceler les goulots d'étranglement des équipements et d'estimer l'intérêt de certaines modifications à apporter.
- Les variables duales associées aux équations de spécifications permettent d'évaluer ce qu'il en coûterait (ou ce que l'on gagnerait) à augmenter (ou diminuer) d'une unité la spécification.

CHAPITRE VI

Extensions du Modèle

Le modèle établi est un exemple d'application de la programmation linéaire au secteur particulier du raffinage. Un tel modèle est nécessaire pour améliorer la gestion au sein de la Raffinerie d'Alger. Il constitue un auxiliaire précieux pour élargir le champs d'application et répondre ainsi aux besoins de la Raffinerie.

VI.1. Introduction de la deuxième sous-chaîne

Une extension naturelle du modèle serait d'y inclure la deuxième sous-chaîne. Nous rappelons que cette dernière concerne les produits finis qui sont de simples mélanges des coupes issues de la distillation atmosphérique (Kérosène, Gasoils, fuels). Pour cela, il suffirait d'introduire dans le modèle de base des variables de quantités décrivant les différentes affectations possibles au sein de la 2ème sous-chaîne, de formuler les contraintes relatives :

- aux équations de bilan-matière
- aux spécifications légales imposées aux différents produits
- aux capacités d'expédition
- et enfin à la demande des produits finis

et de tenir compte des coûts de production correspondants.

VI.2. Aspect dynamique du modèle

Etant donné le fait que la Raffinerie d'Alger évolue dans un environnement économique où les paramètres peuvent varier, il serait intéressant d'étudier l'aspect dynamique du modèle décrivant le processus de production de cette dernière.

Le but d'un modèle dynamique est de tenir compte d'hypothèses d'évolution concernant les différents paramètres utilisés comme données. Il s'agit essentiellement :

- de la structure des consommations,
- des qualités imposées aux produits finis (normes antipollution plus sévères, par exemple),
- des caractéristiques d'approvisionnement en pétrole brut,
- etc.

Les modèles multipériodiques sont des modèles saisonniers ou dynamiques d'évolution à long terme. Il sont schématiquement formés de plusieurs modèles, chaque modèle représentant un programme de fabrication relatif à une période (un trimestre, un semestre, une ou plusieurs années...), les variables des modèles correspondant aux différentes périodes étant reliées

par des équations représentant les possibilités de stockage des produits d'une période sur l'autre.

L'objectif de l'optimisation est alors de minimiser un coût total actualisé.

VI.2.1. Formulation du modèle multipériodique

Dans un modèle multipériodique, les variables de décision et les contraintes sont formulées séparément pour chaque période. Ainsi, pour $t = 1..T$, soit $X_t \in R^{n_t}$ le vecteur des variables de décision à la période t , avec $x = (X_t)_{t=1..T}$ et soient :

- $C_t \in R^{n_t}$ le vecteur des coefficients coût des variables X_t
- $b_t \in R^{m_t}$ le vecteur second membre des contraintes de la période t
- $A_t \in R^{m_t \times n_t}$ et $B_t \in R^{m_t \times n_t}$, $t=2..T$ les coefficients techniques des variables de décision des périodes t et $(t+1)$.

Soit enfin $D = D_1 * D_2 * \dots * D_T$ le domaine de réalisabilité.

Le modèle se formule comme suit :

$$\min_{x \in D} \{ C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_T X_T \}$$

S.C.

$$\begin{aligned} A_1 X_1 &= b_1 \\ B_2 X_1 + A_2 X_2 &= b_2 \end{aligned} \tag{1}$$

$$B_T X_{T-1} + A_T X_T = b_T$$

Les composantes du vecteur X_t des variables de décision à la période t concernent : toutes les variables du modèle unipériodique, les flux des produits bruts, intermédiaires et finis pour chaque affectation possible.

Les contraintes relatives à chaque période considérée s'expriment de la même manière que les contraintes du modèle unipériodique. Cependant, des contraintes supplémentaires, décrivant les liaisons entre les différentes périodes, viennent s'ajouter au modèle.

En raison de l'aspect dynamique de (I), une représentation récursive définissant le programme dynamique est possible :

$$Q_{T+1}(x_T) = 0$$

Pour $t = T \dots 2$,

$$Q_t(x_{t-1}) = \min_{x_t \in D_t} \{ c_t x_t + Q_{t+1}(x_t) \} \quad (II)$$

$$\text{S.C.} \quad A_t x_t = b_t - B_t x_{t-1}$$

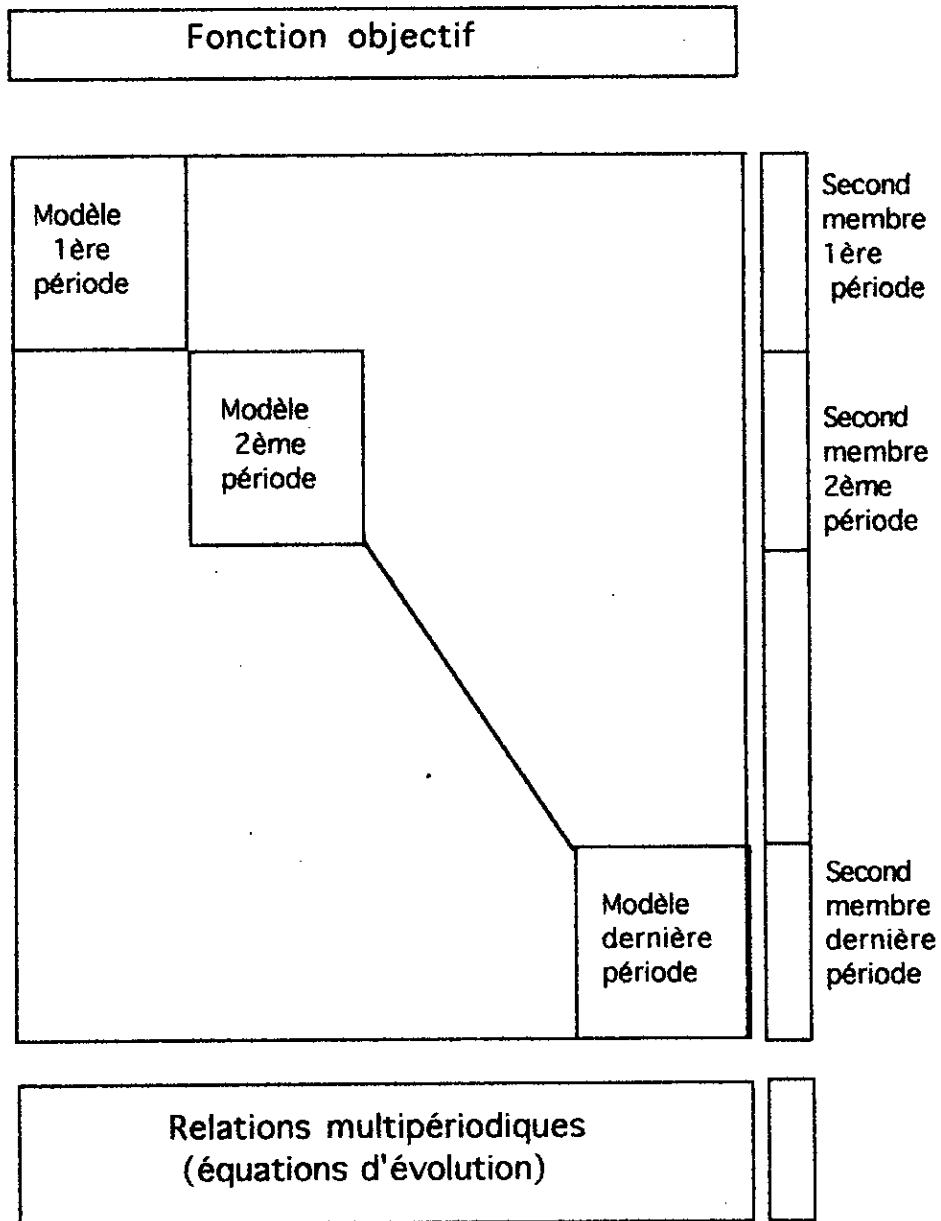
$$Q_1 = \min_{x_1 \in D_1} \{ c_1 x_1 + Q_2(x_1) \}$$

$$\text{s.c.} \quad A_1 x_1 = b_1$$

A la période t , la fonction récursive $Q_{t+1}(X_t)$ résume les effets futurs de la décision X_t et X_{t-1} représente un vecteur d'état qui récapitule le passé du système. Ainsi, pour chaque période t , X_t optimise, en fonction de X_{t-1} , la somme du coût de la période considérée et de la fonction récursive Q . A chaque période t , le domaine D_t est l'intersection de tous les domaines de réalisabilité des périodes précédemment considérées.

Les deux formulations (I) et (II) sont équivalentes.

Schéma d'un modèle multipériodique



VI.2.2. Formulation du modèle dynamique

a) Les variables du modèle

Pour chaque période considérée, nous avons les mêmes variables de décision que pour le modèle statique. Nous pouvons donc, pour simplifier l'écriture du modèle dynamique, garder les notations des variables utilisées dans le modèle statique. Ces dernières regroupent les variables des quantités considérées pour chacune des différentes périodes.

Exemple :

$XT(i,n)$: quantité de brut provenant du stock au Topping (i) à la période n.

b) Les contraintes du modèle

Les contraintes formulées pour le modèle statique devront être vérifiées pour chaque période considérée dans le modèle dynamique.

Exemple : la contrainte (1) du modèle statique se formule comme suit :

$$\sum_{i=1}^{Nt} XT(i,n)/TCT(i,n) \leq T1(n) \quad n=1..T,$$

T étant le nombre de périodes considérées.

Des contraintes supplémentaires, décrivant les liaisons entre les différentes périodes (contraintes de stockage), viennent s'ajouter au modèle. En effet, il existe des liens entre les périodes quant à leurs données de stockage : le stock final à la période (n-1) représente un stock initial pour la période (n).

Les contraintes de stockage se formulent donc de la manière suivante :

$$S(n) - E(n) \leq Si(n) - Smin \quad (*)$$

$$E(n) - S(n) \leq CS - Si(n) \quad (**) \quad ,n=1..T$$

$$\text{avec } Si(n) = SF(n-1)$$

$$\text{et } SF(n-1) = E(n-1) - S(n-1) + Si(n-1)$$

en remplaçant $Si(n)$ par cette nouvelle valeur nous aurons :

$$(*) \quad S(n) - E(n) \leq E(n-1) - S(n-1) + Si(n-1) - Smin$$

$$(**) E(n) - S(n) \leq CS - E(n-1) - S(n-1) + Si(n-1)$$

d'où :

$$(*) (S(n)-S(n-1))-(E(n)-E(n-1)) \leq Si(n-1)-Smin$$

$$(**) (E(n)-E(n-1)) - (S(n)-S(n-1)) \leq CS -Si(n-1) ,n=1..T$$

De la même manière nous aurons :

$$Si(n) = SF(n-1) = E(n-1) - S(n-1) + Si(n-1) = E(n-1) - S(n-1) + SF(n-2) =$$

$$(E(n-1) + E(n-2)) - (S(n-1) + S(n-2)) + Si(n-2) =..... d'où$$

$$Si(n-1) = \sum_{t=1}^{n-1} S(t) - \sum_{t=1}^{n-1} E(t)$$

nous avons alors les relations suivantes.

$$\sum_{t=1}^n S(t) - \sum_{t=1}^n E(t) \leq Si(1)-Smin \quad n=1..T \quad (**)$$

$$\sum_{t=1}^n E(t) - \sum_{t=1}^n S(t) \leq CS-Si(1) \quad n=1..T \quad (**')$$

Démonstration :

Par récurrence:

1/ Pour n=1 nous avons :

$$S(1) -E(1) \leq Si(1) - Smin \quad \text{ce qui est vérifié}$$

$$E(1) - S(1) \leq CS-Si(1) \quad \text{ce qui est vérifié aussi}$$

2/ Supposons que les relations (*) et (**') soient vérifiées à la période (n-1) et démontrons qu'elles le restent à la période (n) :

- Equation (*)

Pour la période n nous avons ;

$$S(n)-E(n) \leq SF(n-1)-Smin$$

la relation (*) étant vérifiée à la période (n-1) nous avons :

$$SF(n-1) = \sum_{t=1}^{n-1} E(t) - \sum_{t=1}^{n-1} S(t) + Si(1) \quad \text{d'où}$$

$$S(n) - E(n) \leq \sum_{t=1}^{n-1} E(t) - \sum_{t=1}^{n-1} S(t) + Si(1) - Smin$$

d'où la relation (*) :

$$\sum_{t=1}^n S(t) - \sum_{t=1}^n E(t) \leq Si(1) - Smin \quad n=1..T$$

De la même manière nous obtenons la relation (**).

L'intérêt d'un tel modèle est certain, notamment pour l'étude du système sur une longue période. Le modèle dynamique correspondant est composé de plusieurs modèles, chaque modèle étant représentatif d'une période. Chaque période correspond à un nombre de mois ou d'années qui peut varier suivant la précision recherchée (qui peut donc être plus petit pour les premières périodes, plus élevé pour les périodes suivantes).

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette présente étude, menée dans le cadre de l'industrie du raffinage, nous a conduit à modéliser la chaîne regroupant toutes les unités de production de la Raffinerie d'Alger et à en étudier quelques cas de programmes de fabrication optimaux.

La construction du schéma général de programmation a nécessité une étude assez approfondie de la Raffinerie. De nombreuses visites ont été nécessaires pour l'"apprentissage" du fonctionnement de la Raffinerie et de son processus de fabrication.

Le modèle établi reflète le fonctionnement des unités de production et permet de déterminer à l'optimum les niveaux d'activité (quantités de matière à mettre en oeuvre à tous les niveaux de la chaîne de production). Le modèle prend également en charge la gestion des utilités principales. Il détermine également le nombre de jours de marche pour chaque unité de fabrication et par régime type, ce qui suffit à en assurer la programmation.

Les niveaux d'activité étant connus, il est aisé pour la Raffinerie de calculer, entre autres, les consommations de produits chimiques à importer. La quantité de P.T.E. nécessaire à l'éthylation des carburants est d'ailleurs directement fournie par le modèle.

En raison de l'assistance possible des raffineries d'Arzew et de Skikda à la région centre, les choix possibles de programmes de fabrication optimaux au niveau de la Raffinerie d'Alger sont nombreux. Les quelques cas étudiés nous ont permis de constater que la Raffinerie ne peut satisfaire simultanément les demandes de carburant auto et de supercarburant.

La Raffinerie devra, par conséquent, préciser les objectifs visés en terme de priorités et de niveaux de production à atteindre. Une fois les objectifs précisés, le modèle devrait permettre d'obtenir aisément le programme optimal. Il suffirait pour cela d'introduire les nouvelles données du problème à partir de l'interface utilisateur établie, la pondération des nouveaux paramètres étant assurée par les différents programmes générateurs de matrices.

L'objectif principal de cette présente étude est de modéliser le process de production considéré au sein de la Raffinerie d'Alger. Néanmoins, une étude de sensibilité des résultats obtenus aux différentes hypothèses du modèle pourrait apporter des informations quant à la stabilité de la solution optimale.

La connaissance des coûts marginaux des produits finis peut permettre à la Raffinerie de répartir le coût total de fabrication entre les différents produits et d'apprécier ainsi la rentabilité de la fabrication de chacun d'eux.

Les modèles de raffinage sont d'un apport et d'un intérêt certain, ils apportent une assistance à la prise de décision (distribution, investissement, etc.) et assurent une meilleure gestion de la production au sein des raffineries.

L'établissement de tels modèles pour les raffineries algériennes semble donc nécessaire.

La fonction de raffinage étant assurée en Algérie par plusieurs raffineries, un modèle multi-raffinerie assurant la gestion globale de l'activité du raffinage au niveau national pourrait harmoniser les productions des différentes raffineries du pays en vue de satisfaire la demande en produits raffinés. Ce même modèle serait d'une aide précieuse pour les décisions d'investissement dans ce secteur dont l'évolution est possible vu que l'Algérie est un pays producteur de pétrole.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] D. Babusiaux, F. Jomaux et M. Valais
Structure optimale du raffinage en Belgique
I.F.P. Juil-Aout 1977

- [2] D. Babusiaux, P. Offant et M. Valais
Modélisation des secteurs de production et de transformation
de l'énergie.
I.F.P. Mars-Avril 1978

- [3] G. W. Barton, C. Gannavarapu and J. D. Perkins
Optimization control of a refinery Gas-tail
Department of Chemical Engineering, University of Sydney
Computers Chemical Engineering, vol. 17, N° 3, pp. 301-308
Printed en Great Britain, 1993

- [4] J. Bond
L'évolution souhaitable de la capacité de raffinage en France. Etude de
longue période
I.F.P. 1978.

- [5] M. Breton and G. Zaccour
"Advances in Operations Research in the Oil and Gaz Industry"
Workshop June 13-14, 1991 HEC-Montréal
Editions Technip

- [6] G. Chikany, S. Kemeny P. Lang and G. Szalmas
Modelling of a crude Distillation Column
Department of Chemical Engineering, Technical University of Budapest
Computers Chemical Engineering, vol.15, N°2, pp 133-139
Printed en Great Britain, 1991

- [7] Barry H. Cooper and Jens A. Hansen
Process simulation of refinery units including chemical reactors
European Symposium on Computer Aided Process Engineering 1992

- [8] Mohamed Djellal
Aide à la conception et optimisation des réseaux d'échangeurs
thermiques en raffinage.
Thèse de Docteur-Ingénieur, Lyon 1987

- [9] A. Drabkine et V. Proskouriakou
La chimie du pétrole et du gaz
Editions de Moscou 1983

- [10] E. Gonzales
Gestion de la production et programmation linéaire : Application au
secteur pétrochimie de l'usine de Lacq. I.F.P. 1969.

- [11] A. Kefaifi
Programmation temporelle de la production
I.F.P., 1980
- [12] A. Martel
Techniques et applications de la Recherche Opérationnelle
Edition Gaëtan Morin 1979
- [13] H. Maurin
Programmation linéaire appliquée
I.F.P.
Édition Technip 1967
- [14] Hugues Molet
La nouvelle gestion de production
Collection Technologie de pointe
HERMES, édition scientifique et technique, Paris, 1989
- [15] X. Normand
Leçons sommaires. L'industrie du raffinage du pétrole (Tome 1)
Edition Technip 1985
- [16] G. Pennegues
Modèle linéaire dynamique de production des secteurs pétroliers et
pétrochimiques des produits de base : perspectives à l'horizon 2000
I.F.P., 1979
- [17] J. Perregaard
Model simplification and reduction for simulation and optimization of
chemical processes
Computers Chemical Engineering, vol.17, N°5, pp 465-483
- [18] D. Petit
Recherche de la politique de stockage d'une société pétrolière intégrée
I.F.P. 1971
Printed in Great Britain, 1993
- [19] P. Offant
Contribution de la programmation linéaire dynamique à l'analyse de la
limitation des consommations d'énergie en France .I.F.P., 1976
- [20] L.Sajus
Le pétrole, raffinage et pétrochimie
Librairie Armand Collin 1965.
- [21] P. Wuithier
Le Pétrole "Raffinage et Génie Chimique" Tomes 1, 2
Publications de l'institut Français du Pétrole (I.F.P.)
Edition Technip 1972

- [22] La politique pétrolière de l'Algérie
Événements, études et déclarations
publié par Sonatrach 1965-1967 et 1968-1969
- [23] Visage de l'Algérie Les hydrocarbures
Edité par le ministère de l'information et de la culture
juillet 1971
- [24] Arab oil and gaz.
Document de l'OPEC 1993
- [25] Annual Statistical Bulletin
Document de l'OPEC 1993
- [26] Twentieth century petroleum statistics
Document de l'OPEC 1993

Documentation technique

- [27] Bilan et Annexes de la Raffinerie d'Alger, année 1994.
- [28] Spécifications auxquelles doivent répondre les produits pétroliers
livrés par la Raffinerie d'Alger (Mars 1974).
- [29] Caractéristiques moyennes des produits finis fabriqués à la Raffinerie
d'Alger (Septembre 1993)
- [30] Fabrication des essences, Octobre 1977.
- [31] Etude d'optimisation des essences pour la SONATRACH - Raffinerie
d'Alger, Octobre 1982.
- [32] Manuel de programmation des carburants - Raffinerie d'Alger - Avril
1976.
- [33] Explication des essais normalisés
Manuel de la Raffinerie d'Alger
- [34] R.Lounnas
Etude d'un système de programmation du secteur des hydrocarbures
1983.

Glossaire

B.S. : Basse sévérité

C.A. : Carburant auto

Essence SR : Essence légère

Ethy : Ethylation

Expédition : Acheminement des produits finis vers les différents dépôts

H.S. : Haute sévérité

j : jour

Kg : Kilogramme

Km : Kilomètre

M : Million

m³ : Mètre cube

P.B.S. : Platformat basse sévérité

P.H.S. : Platformat haute sévérité

S.C. : Supercarburant

SONELGAZ : Société Nationale de l'Electricité et du Gaz

t : tonne

°C : Degré Celsius

" : Pouce = 2.45 centimètres

Annexe 1

*Données utilisées pour tester le
modèle*

Caractéristiques principales des produits intermédiaires

Produits	E.S.R.	P.B.S.	P.H.S.	Solvant	Butane
Propriétés					
Densité à 15°C	0.650	0.755	0.786	0.740	0.563
Tension de vapeur Reid (kg/cm ²)	1.00	0.28	0.38	0.11	8.00
Nombre d'octane Research clear	76.6	81.1	90.5	45.0	97.0
- Indice RBN correspondant	56.3	57.9	62.4	48.3	67.4
N.O.R. (+0.4 cc Pb/l)	92.8	94.3	99.0	60.0	101.5
- Indice RBN correspondant	63.8	65.0	69.0	52.0	71.6
N.O.R. (+0.5 cc Pb/l)	93.0	95.0	99.5	63.6	104.0
- Indice RBN correspondant	63.9	65.5	70.0	52.8	73.5
N.O.R. (+0.6 cc Pb/l)	95.4	96.0	100.2	67.1	105.8
- RBN correspondant	65.9	66.4	70.6	53.6	75.0
Parafines (% volume)	85.5			65.5	
Naphtènes (% volume)	14.8			26.8	
Aromatiques (% volume)	2.3			7.5	
Naphtènes+Aromatiques (% vol)	17.1			34.3	

Source: Raffinerie d'Alger

Spécifications des produits finis utilisées pour tester le modèle

Produits	Carburant auto		Supercarburant		Naphta	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
densité 15°C		0.765		0.770	0.705	0.730
tension de vapeur Reid (Kg/cm ²)		0.25		0.70		0.77
nombre d'octane	90	92	96	99		
indice empirique (RBN)	62.1	63.3	66.4	69.5		
P.T.E. (‰ de volume)		0.6		0.6		
paraffines (% de volume)					60	70
naphtènes (% de volume)						
aromatiques (% de volume)						
naphtènes+ aromatiques (% de volume)					28	

Source : Raffinerie d'Alger

Marches-types, taux de charge et rendements(en %)

de l'unité de Topping

Marche-type produits	M.T.1	M.T.2	M.T.3	M.T.4	M.T.5	M.T.6	M.T.7	M.T.8	M.T.9	MT10
1- Gaz combustibles	0.31	0.30	0.30	0.20	0.40	0.20	0.34	0.33	0.36	0.28
2- G.P.L.	1.81	1.70	1.60	1.40	1.65	1.30	1.90	2.00	2.50	1.55
3- Essence légère	6.09	7.93	9.76	6.71	7.00	8.54	5.00	6.60	5.70	6.10
4- Solvant total	29.27	27.43	25.60	26.22	27.00	10.93	30.00	33.00	34.00	35.00
Taux de charge	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200

Source: Raffinerie d'Alger

Marches-types, taux de charge et rendements (en%) de l'unité de Platforming

Produits	Régime B.S.	Régime H.S.
gaz combustibles	7.25	9.25
G.P.L.	10.25	12.25
Platformat	82.50	78.50
Taux de charge	1510	1332

source: Raffinerie d'Alger

Marches-types, taux de charge et rendements (en %)

de l'unité de Gas-plant

Marche-type produits	M.T.1	M.T.2	M.T.3	M.T.4	M.T.5	M.T.6	M.T.7	M.T.8	M.T.9	MT10
1- Gaz combustibles	14	15	16	14	15	16	17	19	20	13
2- Propane	2.0	4.0	8.0	9.0	1.0	1.3	1.4	9.7	1.2	4.1
3- Butane	84	81	76	77	75	72	70	78	74	80
Taux de charge	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350

Source: Raffinerie d'Alger

Consommation d'utilités des unités de Topping et de Gas-plant
par marche-type et par tonne de charge traitée

Utilités	Symbole	Unité	M.T.1	M.T.2	M.T.3	M.T.4	M.T.5
<i><u>Unité de Topping</u></i>							
- gaz combustible	KGTO(i)	10 ³ th	0.120	0.156	0.140	0.160	0.125
- électricité	KETO(i)	KWh	3.57	3.80	3.95	3.60	3.75
<i><u>Unité de Gas-plant</u></i>							
- électricité	KELG(j)	"	23.11	25.50	27.30	24.86	22.17

Consommation d'utilités de l'unité de Platforming
par marche-type et par tonne de charge traitée

Utilités	Unité	Symbole	Marche B.S.	Symbole	Marche H.S.
- <i>gaz combustible</i>					
*solvant en provenance du Topping	10 ³ th	KGPB1	1.628	KGPH1	1.628
* solvant en provenance du stockage	"	KGB2	1.628	KGPH2	1.628
- <i>électricité</i>	KWh	KEPB	12.68	KEPH	12.68

Symbole	Désignation	Unités	Valeur
	<u>Période de programmation :</u>		
T	- Période de programmation	jour	360
T1	- Nombre de jours de marche prévu pour l'unité de Topping.	jour	347
T2	-Nombre de jours de marche prévu pour l'unité de Platforming.	jour	347
T3	- Nombre de jours de marche prévu par l'unité de Gas-plant.	jour	347
	<u>Fabrication des carburants :</u>		
DCA	- Débit de fabrication du carburant auto.	m ³ /jour	3000
DSC	- Débit de fabrication du supercarburant.	„	2000
TME	- Nombre de jours de marche prévu pour la mélangeuse des carburants.	Jour	360
TE	- Taux d'éthylation des carburants	‰ de vol	0.6
	<u>Les gaz combustibles :</u>		
CFG	- Le pouvoir calorifique d'une tonne de fuel-gaz.	10 ³ th	21.520
CGS	- Le pouvoir calorifique d'une tonne de gaz fourni par la SONELGAZ	„	11.709
QGML	- La quantité maximum de gaz que peut livrer la SONELGAZ	t/jour	102

Symbole	Désignation	Unité	Valeur
	<u>Données de stockage :</u>		
SIPB	- Stock initial de pétrole brut	t	32 774
CSPB	- Capacité de stockage en pétrole brut	t	82 414
SMPB	- Stock minimum de pétrole brut.	t	4 800
CAPB	- Capacité d'alimentation de la Raffinerie en pétrole brut	t/jour	10 500
SIEL	- Stock initial d'essence légère	t	2 615
CSEL	- Capacité de stockage en essence légère	t	8 126
SMEL	- Stock minimum d'essence légère	t	180
SIST	- Stock initial de solvant total	t	4 673
CSST	- Capacité de stockage en solvant total	t	21 087
SMST	- Stock minimum de solvant total	t	2 667
SIP	- Stock initial de propane	t	367
CSP	- Capacité de stockage en propane	t	1 008
SMP	- Stock minimum de propane	t	0
SIB	- Stock initial de butane	t	1 542
CSB	- Capacité de stockage en butane	t	3 468
SMB	- Stock minimum de butane	t	0
SIPB	- Stock initial de platformat B.S (pompable)	t	0
SMPB	- Stock minimum de platformat B.S (pompable)	t	0
SIPH	- Stock initial de platformat H.S (pompable)	t	1 500
SMPH	- Stock minimum de platformat H.S (pompable)	t	0

Symbole	Désignation	Unité	Valeur
SIPB	- Stock initial de platformat B.S (pompable)	t	4 665
SMPB	- Stock minimum de platformat B.S (pompable)	m ³	0
SIPH	- Stock initial de platformat H.S (pompable)	t	6 917
SMPH	- Stock minimum de platformat H.S (pompable)	m ³	0

BACS POLYVALENTS

Symbole	N° du bac	Observations	Unité	Valeur
		<u>Les platformats</u>		
CVP(1)	C2	- Capacité de stockage potentielle pompable	m ³	2 413
CVP(2)	C8	" "	"	2 383
		<u>Les carburants</u>		
CVC(1)	C1	- Capacité de stockage potentielle pompable	"	2 754
CVC(2)	A16	" "	"	11 927
CVC(3)	A17	" "	"	9 427
CVC(4)	A11	" "	"	9 471
CVC(5)	B2	" "	"	4 894

Symbole	Désignation	Unité	Valeur
	<u>Densités des produits finis :</u>		
DPR	- Densité du propane	t/m ³	0.505
DBU	- Densité du butane	"	0.563
<u>DCA</u>	- Densité spécifique du carburant auto	"	0.720
<u>DSC</u>	- Densité spécifique du supercarburant	"	0.745
	<u>Capacité d'expédition :</u>		
DEPR	- Débit d'expédition du propane	m ³ /jour	3 000
DEBU	- Débit d'expédition du butane	"	3 000
DECA	- Débit d'expédition du carburant auto	"	7 000
DESC	- Débit d'expédition du supercarburant	"	7 000
DENA	- Débit d'expédition du Naphta	"	20 000
	<u>Vecteur demande :</u>		
DMPR	- Demande en propane	t/an	10 000
DMBU	- Demande en butane	"	170 000
DMCA	- Demande en carburant auto	"	350 000
DMSC	- Demande en supercarburant	"	515 000

Données de coûts intervenant dans la fonction

objectif

Symbole	Désignation	Unité	Valeur
	<u>Coût d'utilisation des unités de fabrication :</u>		
CVUT(1)	- Unité de Topping fictive 1	DA/t	5.68
CVUT(2)	- " " 2	"	5.68
CVUT(3)	- " " 3	"	5.50
CVUT(4)	- " " 4	"	6.00
CVUT(5)	- " " 5	"	5.70
CVUT(6)	- " " 6	"	5.60
CVUT(7)	- " " 7	"	5.55
CVUT(8)	- " " 8	"	5.60
CVUT(9)	- " " 9	"	5.60
CVUT(10)	- " " 10	"	6.90
CVBS	- Unité de Platforming B.S.	"	9.35
CVHS	- Unité de Platforming H.S.	"	10.07
CVUG(1)	- Unité Platforming fictive 1	"	8.29
CVUG(2)	- " " 2	"	8.29
CVUG(3)	- " " 3	"	8.50
CVUG(4)	- " " 4	"	8.70
CVUG(5)	- " " 5	"	9.00
CVUG(6)	- " " 6	"	9.10
CVUG(7)	- " " 7	"	8.90
CVUG(8)	- " " 8	"	9.20
CVUG(9)	- " " 9	"	8.50
CVUG(10)	- " " 10	"	9.00
	<u>Frais de fabrication des carburants :</u>		
CVCA	- Coût de fabrication du carburant auto	DA/m ³	11.41
CVSC	- Coût de fabrication du supercarburant	"	13.51

Symbole	Désignation	Unité	Valeur
	<u>Frais de stockage :</u>		
CSPR	- Coût de stockage du propane	DA/t	6.88
CSBU	- Coût de stockage du butane	''	6.88
CSCA	- Coût de stockage du C.A.	''	6.06
CSSC	- Coût de stockage du S.C.	''	6.53
CSNA	- Coût de stockage du Naphta	''	4.45
	<u>Frais d'expédition :</u>		
CEPR	- Coût d'expédition du propane	DA/t	7.40
CEBU	- Coût d'expédition du butane	''	7.40
CECA	- Coût d'expédition du C.A.	''	4.90
CESC	- Coût d'expédition du S.C.	''	5.12

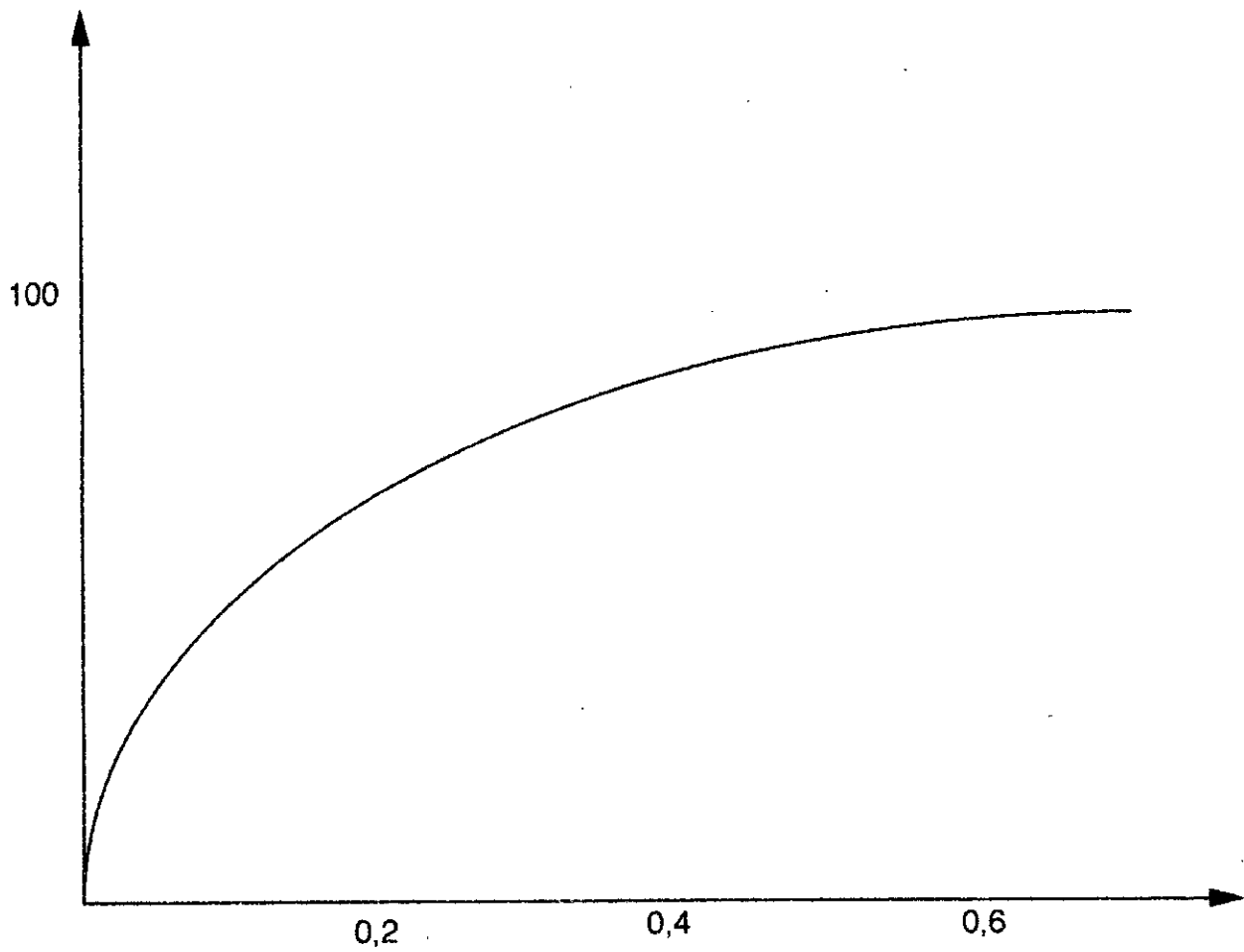
Annexe 2

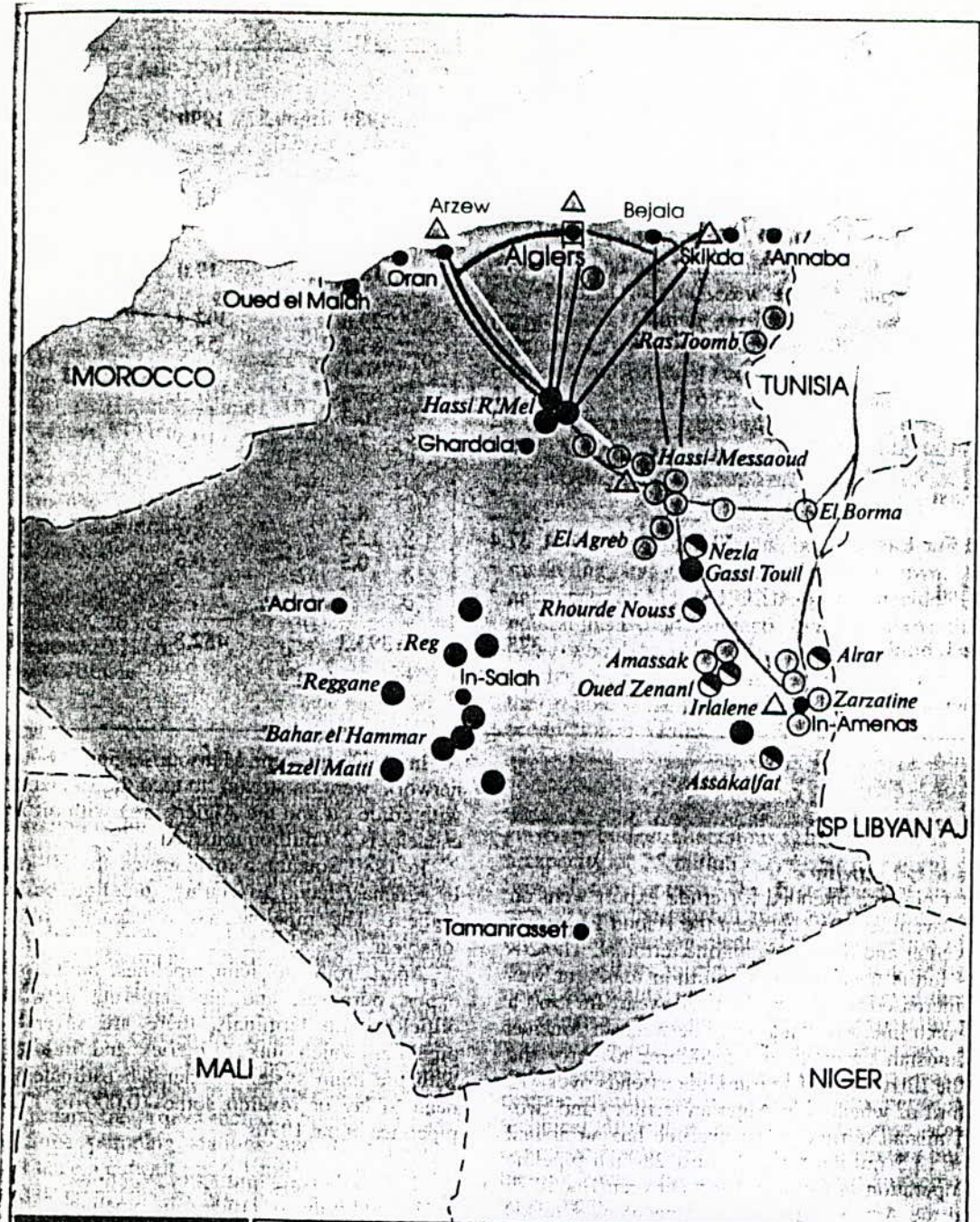
Données sur le Raffinage

RESEARCH BLENDING NUMBERS (RBN)

NOMBRE OCTANE RESEARCH	DIXIEMES D'UN NOMBRE D'OCTANE									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
41	47.2	47.3	47.3	47.3	47.3	47.4	47.4	47.4	47.4	47.5
42	47.5	47.5	47.6	47.6	47.6	47.6	47.7	47.7	47.7	47.7
43	47.8	47.8	47.8	47.8	47.9	47.9	47.9	48.0	48.0	48.0
44	48.0	48.1	48.1	48.1	48.1	48.2	48.2	48.2	48.2	48.3
45	48.3	48.3	48.3	48.4	48.4	48.4	48.4	48.5	48.5	48.5
46	48.6	48.6	48.6	48.6	48.7	48.7	48.7	48.7	48.8	48.8
47	48.8	48.9	48.9	48.9	48.9	49.0	49.0	49.0	49.0	49.3
48	49.1	49.1	49.1	49.2	49.2	49.2	49.2	49.3	49.3	49.3
49	49.3	49.4	49.4	49.4	49.4	49.5	49.5	49.5	49.6	49.6
50	49.6	49.6	49.7	49.7	49.7	49.7	49.8	49.8	49.8	49.8
51	49.9	49.9	49.9	49.9	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.1
52	50.1	50.1	50.1	50.2	50.2	50.2	50.2	50.3	50.3	50.3
53	50.3	50.4	50.4	50.4	50.4	50.5	50.5	50.5	50.5	50.5
54	50.6	50.6	50.6	50.6	50.7	50.7	50.7	50.7	50.8	50.8
55	50.8	50.8	50.9	50.9	50.9	50.9	50.9	51.0	51.0	51.0
56	51.0	51.1	51.1	51.1	51.1	51.2	51.2	51.2	51.2	51.3
57	51.3	51.3	51.3	51.3	51.4	51.4	51.4	51.4	51.5	51.5
58	51.5	51.5	51.6	51.6	51.6	51.6	51.7	51.7	51.7	51.7
59	51.7	51.8	51.8	51.8	51.8	51.8	51.9	51.9	51.9	51.9
60	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.1	52.1	52.1	52.1	52.1
61	52.2	52.2	52.2	52.2	52.3	52.3	52.3	52.3	52.4	52.4
62	52.4	52.4	52.4	52.5	52.5	52.5	52.5	52.6	52.6	52.6
63	52.6	52.7	52.7	52.7	52.7	52.8	52.8	52.8	52.8	52.9
64	52.9	52.9	52.9	52.9	53.0	53.0	53.0	53.0	53.1	53.1
65	53.1	53.1	53.1	53.2	53.2	53.2	53.2	53.3	53.3	53.3
66	53.3	53.4	53.4	53.4	53.4	53.5	53.5	53.5	53.6	53.6
67	53.6	53.6	53.7	53.7	53.7	53.7	53.8	53.8	53.8	53.8
68	53.9	53.9	53.9	53.9	54.0	54.0	54.0	54.0	54.1	54.1
69	54.1	54.1	54.2	54.2	54.2	54.2	54.3	54.3	54.3	54.3
70	54.4	54.4	54.4	54.5	54.5	54.5	54.6	54.6	54.6	54.6
71	54.7	54.7	54.7	54.8	54.8	54.8	54.8	54.9	54.9	54.9
72	55.0	55.0	55.0	55.0	55.1	55.1	55.1	55.1	55.2	55.2
73	55.2	55.3	55.3	55.3	55.3	55.4	55.4	55.4	55.5	55.5
74	55.5	55.6	55.6	55.6	55.7	55.7	55.7	55.8	55.8	55.8
75	55.9	55.9	55.9	55.9	56.0	56.0	56.0	56.1	56.1	56.1
76	56.1	56.2	56.2	56.2	56.3	56.3	56.3	56.4	56.4	56.5
77	56.5	56.5	56.6	56.6	56.6	56.7	56.7	56.7	56.8	56.8
78	56.8	56.9	56.9	56.9	57.0	57.0	57.0	57.1	57.1	57.1
79	57.2	57.2	57.2	57.3	57.3	57.3	57.4	57.4	57.5	57.5
80	57.5	57.6	57.6	57.6	57.7	57.7	57.8	57.8	57.8	57.9

COURBE INDICATIVE DE LA VARIATION DE L'INDICE
D'OCTANE EN FONCTION DU TAUX D'ETHYLATION
PLATFORMAT "HS"





ALGERIA

Capital: Algiers
 Currency: Algerian Dinar

- Capital
- Town/city
- Crude oil field
- Natural gas field
- Oil/gas field
- Natural gas pipeline
- Crude oil pipeline
- Products pipeline
- △ Refinery