



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة غرداية
Université de Ghardaïa

كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم هندسة الطرائق
Département Génie des Procédés

D'enregistrement N°

...../...../...../...../...../

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Science et Technologie

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie Chimique

Thème :

**Optimisation de la production
d'une raffinerie
Cas d'étude :
Raffinerie d'Asbaâ Adrar Sonatrach**

Présenté par les étudiants :

M. OUARFLI Abdelbasset

M. DJERIFILI Mohammed Abdelwahab

Soutenue publiquement le 16/06/2025

Devant le jury composé de :

M. TOUAITI Farid	Président	MCA	Univ. Ghardaïa
M. FIHAKHIR Amine Mehdi	Encadreur	MCB	Univ. Ghardaïa
M. FAKHAR Bahmed	Examineur 1	MCB	Univ. Ghardaïa
M ^{me} . BENTARFA Djehad	Examineur 2	MCB	Univ. Ghardaïa

Année universitaire 2024-2025

RÉSUMÉ

Résumé

Ce mémoire vise à améliorer la planification de la production de la raffinerie d'Asbaâ Adrar, une installation vitale pour l'approvisionnement en produits pétroliers du sud et du sud-ouest de l'Algérie. À travers un modèle de programmation linéaire, le mémoire cherche à maximiser la marge de raffinage tout en respectant les contraintes d'équilibre matière, de qualité (indice d'octane, pression de vapeur Reid) et de capacité (54 000 tonnes/mois de pétrole brut). Le modèle a été implémenté sous MATLAB, ce qui a permis d'augmenter les revenus mensuels de 19,5 % et la marge nette de 44,8 %. Le mémoire décrit les bases du raffinage, présente la raffinerie (capacité de 600 000 tonnes/an, unités de distillation, de reformage et de craquage), introduit la programmation linéaire et formule le modèle d'optimisation. Malgré ses limites (absence de contraintes de rendement, modèle statique), il propose une méthodologie réutilisable pour d'autres raffineries et contribue à la recherche scientifique en reliant la théorie aux défis industriels algériens.

Mots clés : Optimisation, Programmation linéaire, Raffinerie, Planification de la production, Marge de raffinage.

Abstract

This thesis aims to improve the production planning of the Asbaâ Adrar refinery, a vital facility for supplying petroleum products in southern and southwestern Algeria. Using a linear programming model, the thesis seeks to maximize the refining margin while respecting constraints related to material balance, quality (octane number, Reid vapor pressure), and capacity (54,000 tons/month of crude oil). The model was implemented in MATLAB, resulting in a 19.5% increase in monthly revenues and a 44.8% increase in net profit margin. The thesis outlines the fundamentals of refining, presents the refinery (with a capacity of 600,000 tons/year, and units for distillation, reforming, and cracking), introduces linear programming, and formulates the optimization model. Despite its limitations (lack of yield constraints, static model), it offers a reusable methodology for other refineries and contributes to scientific research by linking theory with Algeria's industrial challenges.

Key words: Optimization, Linear Programming, Refinery, Production Planning, Refining Margin.

ملخص

يهدف هذا المذكر إلى تحسين تخطيط إنتاج مصفاة أسباع أدرار، وهي منشأة حيوية لتزويد المنتجات البترولية في جنوب وجنوب غرب الجزائر. من خلال نموذج برمجة خطية، يعمل المذكر على تعظيم هامش التكرير مع احترام قيود توازن المواد، الجودة (مؤشر الأوكتان، ضغط بخار ريد)، والسعة (54,000 طن/شهر من النفط الخام). تم تنفيذ النموذج في MATLAB، مما زاد الإيرادات الشهرية بنسبة 19.5% وهامش الربح الصافي بنسبة 44.8%. يصف المذكر أساسيات التكرير، يعرض المصفاة (سعة 600,000 طن/سنة، وحدات التقطير، الإصلاح، التكرير)، يقدم البرمجة الخطية، ويصوغ نموذج التحسين. رغم حدوده (غياب قيود العائد، نموذج ثابت)، يقدم منهجية قابلة لإعادة الاستخدام لمصافي أخرى ويساهم في البحث العلمي بربط النظرية بالتحديات الصناعية الجزائرية.

الكلمات المفتاحية: التحسين، البرمجة الخطية، مصفاة، تخطيط الإنتاج، هامش التكرير.

Dédicaces

Je dédie ce travail

A ma mère qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études.

Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mes frères, mon père et ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A tous ceux que j'aime.

Merci !

Abdelbasset OUARFLI

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents.

Ma mère pour m'avoir mis au monde et pour m'avoir

accompagnée tout le long de ma vie

Mon père qui sans lui je ne serais pas arrivé jusqu'ici.

J'espère toujours rester fidèle aux valeurs morales que vous m'avez apprises.

A toute ma chère famille et

A tous mes amis et collègues

Merci !



Remerciement

Avant tout, nous remercions dieu le tout puissant de nous avoir donné la force et

le courage et la santé qu'il nous a donné durant toutes ces longues années

d'étude, nos sincères remerciements et notre gratitude vont d'abord à notre

encadrant Dr "FIHAKHIR Amine Mehdi " et Dr MANSOURI Khaled le Co-

encadrant pour leur orientation et support durant l'élaboration de ce travail.

Remerciements et gratitude à la cheffe du département de Génie des Procédés,

Madame la Docteure "BOUAMER Kheira", pour tous ses efforts et son soutien

tout au long de notre parcours universitaire.

Nous remercions aussi tous les enseignants de faculté de technologie.

On tient également à remercier les personnels du SONATRACH, " raffinerie

d'Asbaâ



LISTE DES TABLEAUX

Numéro	Titre	Page
CHAPITRE I : Généralités sur le raffinage		
Tableau I.1:	Masse volumique des essences	07
CHAPITRE II : La raffinerie d'Asbaâ Adrar		
Tableau. II.1	Les Quantités annuelle des produits finis	20
Tableau. II.2	Les sections principaux du raffinerie RA1D	20
Tableau. II.3	Les Propriétés de brut d'OTRA	21
Tableau. II.4	Les Propriétés de brut de Hassi Ilatou	22
Tableau. II.5	Les Propriété de brut de OTRA-Hassi mélangé	23
Tableau. II.6	La conception et du fonctionnement de la raffinerie	23
Tableau. II.7	Les caractéristiques des bacs de stockage	24
Tableau. II.8	Processus de l'Unité distillation atmosphérique (Topping)	31
Tableau. II.9	Processus de l'Unité gaz plant (fractionnel section)	32
Tableau. II.10	Processus de l'Unité reforming catalytique	33
Tableau. II.11	Processus de l'Unité craquage catalytique	34
Tableau. II.12	Service stockage des produits finis	35
CHAPITRE IV : Construction du modèle		
Tableau. IV.1	Les variables de décision	47
Tableau. IV.2	Bilan matière dans la section de distillation atmosphérique	48
Tableau. IV.3	Bilan matière dans la section de fractionnement des gaz (gaz plant)	49
Tableau. IV.4	Bilan matière dans la section de fractionnement des gaz (reformage catalytique)	50
Tableau. IV.5	Bilan matière dans la section de stabilisation	50
Tableau. IV.6	Bilan matière de l'unité RFCC	51
CHAPITRE V : Mise en œuvre du modèle et analyse des résultats		
Tableau.V.1	Prix de Vente des produits	59
Tableau.V.2	Des indices de qualité pour l'essence (Raffinerie d'Asbaâ Adrar)	63
Tableau.V.3	Quantités produites et du chiffre d'affaires mensuel par produit raffiné	65
Tableau. V.4	Tableau du plan de production optimal (basé sur la sortie MATLAB)	67
Tableau. V.5	Tableau comparatif avec le plan actuel	67

LISTE DES FIGURES

Numéro	Titre	Page
CHAPITRE I : Généralités sur le raffinage		
Figure.I.1	Schéma simplifié d'un dessaleur électrostatique	11
Figure.I.2	Distillation atmosphérique du pétrole	13
Figure.I.3	Distillation sous vide du pétrole	14
CHAPITRE II : La raffinerie d'Asbaâ Adrar		
Figure.II.1	La raffinerie d'Asbaâ Adrar	18
Figure.II.2	Situation géographique de la raffinerie d'Adrar (Google Maps)	19
Figure.II.3	Les électropompes	26
Figure.II.4	Tour refroidissement d'eau	27
Figure.II.5	Bassin de traitement eaux usées	27
Figure.II.6	Chaudière	28
Figure.II.7	Salle de control réseaux électrique	29
Figure.II.8	Unité d'air comprimé	29
Figure.II.9	Appareil de la mesure de Tension de Vapeur Reid (TVR)	30
Figure.II.10	L'unité de distillation atmosphérique	31
Figure.II.11	L'unité RFCC	34
CHAPITRE III : La programmation linéaire dans le raffinage		
Figure.III.1	Schéma simplifié de la gestion d'une raffinerie	42
CHAPITRE IV : Construction du modèle		
Figure. IV.1	Présentation de l'unité à modéliser	45
Figure. IV.2	Flux d'unité Topping	52
Figure. IV.3	Flux d'unité Gaz plant	53
Figure. IV.4	Flux d'unité reforming (CRU)	53
Figure. IV.5	Flux d'unité de stabilisation	54
Figure. IV.6	Flux d'unité de craquage catalytique (RFCC)	55
CHAPITRE V : Mise en œuvre du modèle et analyse des résultats		
Figure.V.1	Histogramme comparant les quantités actuelles et optimales	68
Figure.V.2	Les gains obtenus par l'optimisation	69

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Acronyme	Définition
PVC	(polychlorure de vinyle) plastiques les plus utilisés au monde
BRA	Brut Réduit Atmosphérique
API	American Petroleum Institute
BSW	Basic Sédiment and Water
CC	Craquage Catalytique
CDU	Unité de distillation atmosphérique
CRU	Unité de Reformage catalytique de naphta
D-203 203	Ballon de séparation 203 203
D203 201	Ballon tampon
D203 203	Ballon de séparation
E- 203 202	Echangeur 203 202
P-203 202	Pompe 203 202
R203 102	Régénérateur 203 102
U203	Unité de craquage catalytique
201 U202	Unité de reformage catalytique
202 C203 102	Colonne de fractionnement
203 U201	Unité de distillation atmosphérique
203 102 R203 102	Réacteur 203 102
C203302	Deéthanizeure
A203 201	Aéroréfrigérant 203 201
FCC	Fluid Catalytic Cracking (ou Craquage catalytique à lit fluidisé)
TCC	thermofor catalytic cracking (ou craquage catalytique thermofor)
LPG	Liquefie petroleum Gas (ou GPL gaz de pétrole liquéfié)
RON	Indice d'octane recherche
MON	Indice d'octane moteur
RA1D	Raffinerie d'ADRAR
RFCC	Résidu fluidisé du craquage catalytique

SOMMAIRE

Résumé

Dédicaces

Remerciements

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

INTRODUCTION GÉNÉRALE 1

Chapitre I : Généralités sur le raffinage

I.1. Introduction	3
I.2. Pétrole brut	3
I.2.2 Origine de pétrole	4
I.2.3 Classification des pétroles bruts	4
I.2.4 Propriétés physico-chimiques des pétroles bruts.....	4
I.3 Les produits pétroliers	5
I.3.1 Les produits énergétiques	5
I.3.2 Les produits non énergétiques	8
I.4 Le raffinage.....	9
I.4.1 Les procédés de raffinage	9
I.4.1.1 Prétraitement du pétrole brut	10
I.4.1.2 Les procédés physiques de séparation.....	12
I.4.1.3 Les procédés de transformation.....	14
I.4.1.4 Les procédés de finition.....	17
I.5 Conclusion.....	17

Chapitre II : La raffinerie d'Asbaâ Adrar

II.1 Introduction.....	18
II.2 Historique.....	18
II.3 Présentation géographique	19
II.4 La production de la Raffinerie	20
II.4.1 Capacité de traitement de la raffinerie	20
II.4.2 Capacité de la production annuelle	20

SOMMAIRE

II.4.3 Conception générale de la Raffinerie	20
II.4.4 Propriété chimique de pétrole brut de OTRA, Hassi illato, (OTRA et Hassi) mélange .	21
II.4.5 Conception de l’outil de production.....	23
II.5 Les utilités	25
II.5.1 Réseau d’eau	25
II.5.2 Unité de production de vapeur (chaudières)	27
II.5.3 Unité de production et distribution d’énergie électrique.....	28
II.5.4 Station d’air comprimé.....	29
II.6 Le laboratoire	30
II.7 Les unités de production	30
II.7.1 l’unité de distillation atmosphérique (Topping).....	30
II.7.3 Unité reforming catalytique	33
II.7.3 Unité de craquage catalytique	34
II.8 Service Stockage	35
II.09 Département Sécurité	36
II.10 Conclusion.....	36

Chapitre III : La programmation linéaire dans le raffinage

III.1 Introduction.....	37
III.2 Définition d’une programmation linéaire	37
III.3 Evolution des applications de la programmation linéaire.....	37
III.4 Les étapes de l’élaboration d’un modèle linéaire pour le raffinage.....	38
III.5 Les conditions de formulation d’un PL	39
III.6 Formulation d’un PL en raffinage.....	39
III.7 Exemple de formulation.....	40
III.8 Elaboration d’un programme mensuel pour la gestion d'une raffinerie	41
III.9 Application dans un logiciel (MATLAB)	42
III.9.1 Définition générale de MATLAB	42
III.9.2 Domaines d'application.....	43
III.9.3 Outils d’optimisation dans MATLAB	43
III.10 Conclusion	43

Chapitre IV : Construction du modèle

IV.1 Introduction	44
-------------------------	----

SOMMAIRE

IV.2 Elaboration du modèle	44
IV.2.1 Définition de la problématique	44
IV.2.2 La collecte des données	45
IV.2.3 Ecriture de la matrice.....	45
IV.3 Ecriture du modèle	47
IV.3.1 Ecriture des variables de décision	47
IV.3.2 Ecriture des rendements des unités.....	48
IV.3.3 Ecriture des contraintes	51
IV.3.4 Ecriture de la fonction objective.....	58
IV.4 Structures du modèle.....	58
 Chapitre V : Mise en œuvre du modèle et analyse des résultats	
V.1 Introduction	59
V.2 Outil de résolution	59
V.3 La fonction objective.....	59
V.4 Les contraintes.....	60
V.4.1 Les contraintes de bilan de matière.....	60
V.4.2 Contraintes de capacité	61
V.4.3 Contraintes de qualité	63
V.4.4 Contrainte de demande :	64
V.5 Optimisation de plan de production	65
V.5.1 Plan de production actuel et chiffre d'affaires.....	65
V.5.2 Plan de Production optimale	65
V.6 Conclusion.....	70
CONCLUSION GÉNÉRALE	71
BIBLIOGRAPHIQUE	72
ANNEXE	75

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le raffinage a pour fonction de transformer des pétroles bruts d'origines diverses en un ensemble de produits pétroliers répondant à des spécifications précises, dans des proportions correspondant aussi bien que possible à la demande du marché. Les pétroles bruts présentent une large diversité du point de vue de leurs propriétés physiques et chimiques.

Le raffinage évolue dans un environnement où les prix, les coûts et les conditions de marché changent très rapidement, ce qui impose une adaptation continue. Pour assurer une gestion efficace à court terme, il est essentiel d'élaborer un plan de production optimal, qui définit les choix opérationnels à faire, comme les quantités de produits à fabriquer et les réglages techniques des unités. Cette planification repose sur la recherche d'un équilibre entre les matières premières disponibles et les produits finis à obtenir, tout en respectant les contraintes techniques. Ce processus présente une nature combinatoire, car il s'agit de trouver la meilleure combinaison possible de matières premières à utiliser et de quantités à produire, dans le but d'optimiser une fonction objective, comme maximiser le profit ou minimiser les coûts.

Aujourd'hui, les modèles d'optimisation dans le raffinage sont utilisés pour :

Évaluer les pétroles bruts : déterminer la qualité et la valeur des différents types de pétrole.

Programmer les approvisionnements : planifier l'achat et la livraison des matières premières. **Distribuer et planifier les investissements** : décider où et quand investir pour améliorer les installations ou la production.

Planifier la production mensuelle : organiser ce qui sera produit chaque mois selon les besoins et les capacités.

L'industrie nationale de raffinage et surtout la raffinerie d'Asbaâ Adrar, est s'inscrit dans le plan d'assurance et de sécurité d'approvisionnement en pétrole raffiné de la région du Sud et de Sud-ouest (Adrar, Bechar, Tindouf et Tamanrasset). [1]

Dans ce contexte, nous proposons dans notre présent travail mené dans le milieu de l'industrie du raffinage, un modèle qui permet d'aider le décideur à identifier les quantités à produire, afin de maximiser la marge de raffinage.

Pour ce faire, nous avons structuré notre travail comme suit :

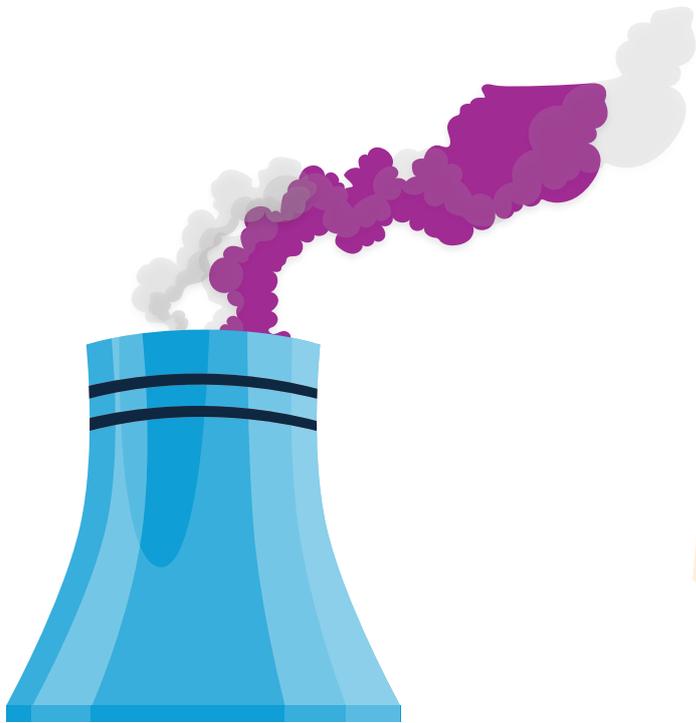
Le premier chapitre, est consacré à définir les principaux concepts de raffinage nécessaires pour la compréhension de la partie modélisation, on y présentera: le pétrole brut avec ses principales caractéristiques, les principaux procédés de raffinage et les produits issus de cette industrie.

Le deuxième chapitre, consiste en premier lieu, à présenter la raffinerie d'Asbaâ Adrar avec ses principales préoccupations pour satisfaire les besoins du marché national, et en deuxième lieu, nous présenterons la raffinerie d'Asbaâ Adrar qui fait l'objet de notre modélisation.

Le troisième chapitre, traite de l'évolution des applications de la programmation linéaire dans l'industrie du raffinage, et présente les étapes à suivre pour la modélisation d'une raffinerie en programmation linéaire.

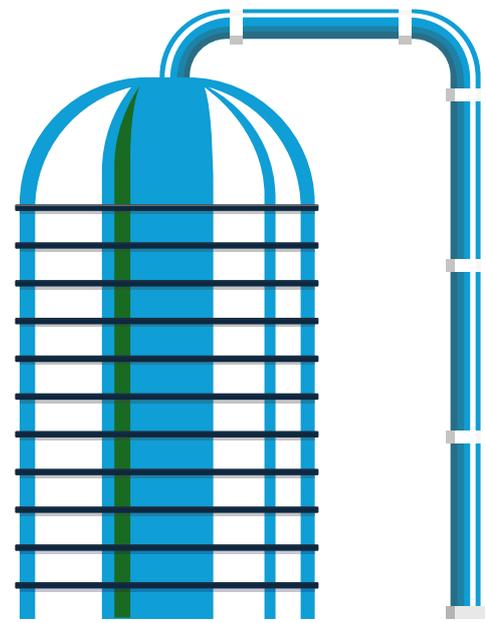
L'élaboration du modèle de la raffinerie d'Asbaâ Adrar d'un plan de production mensuel optimal est développée dans le chapitre quatre.

Le cinquième chapitre, rapporte les résultats obtenus après optimisation, ainsi que leur analyse au niveau de la production, du chiffre d'affaires, et de la formulation des essences et du gasoil.



***C**HAPITRE I*

GÉNÉRALITÉS SUR LE RAFFINAGE



I.1. Introduction

Le raffinage du pétrole débute par la distillation, ou fractionnement, du pétrole brut en vue de le séparer en différents groupes d'hydrocarbures. Les produits obtenus dépendent directement des caractéristiques du brut traité. On transforme ensuite la plupart de ces produits de distillation en produits plus facilement utilisables, en modifiant leurs structures physique et moléculaire par craquage, reformage et par d'autres procédés de conversion, puis on soumet les produits obtenus à divers procédés de traitement et de séparation tels que l'extraction, l'hydrocraquage et l'adoucissement pour aboutir aux produits finis.[1]

I.2. Pétrole brut

I.2.1 Définition

Le pétrole, vient du mot latin « Petra » pierre et « oléum » huile, soit 'Huile de pierre.[2] C'est une huile inflammable variant de la couleur jaune à la couleur noire. Elle est constituée d'une grande variété d'hydrocarbures trouvés dans les strates sédimentaires de la terre.

Le pétrole désigne un liquide composé principalement :

- De molécules d'hydrocarbures (formées uniquement de carbone et d'hydrogène).
- Ce pétrole contient également, en proportions assez variables (15% en moyenne), des molécules lourdes plus complexes (incluant de l'oxygène, de l'azote et du soufre) appelées résines ou asphaltènes [3].

Ce pétrole s'est formé au sein des bassins sédimentaires par transformation de la matière organique. Une des conditions essentielles à la formation de pétrole réside dans l'accumulation d'une importante quantité de matière organique qui doit être enfouie rapidement, afin de limiter les dégradations bactériennes en présence d'oxygène [3].

On rencontre généralement trois (03) classes d'hydrocarbures dans le pétrole brut : [4]

- Les hydrocarbures paraffiniques C_nH_{2n+2} ;
- Les hydrocarbures naphténiques C_nH_{2n} ;
- Les hydrocarbures aromatiques C_nH_{2n-1} .

I.2.2 Origine de pétrole

De nombreux savants se penchés sur l'origine du pétrole. Deux théories sont nées : celle de l'origine minérale et celle de l'origine organique, c'est cette dernière théorie qui est considérée aujourd'hui comme la plus vraisemblable. Le pétrole et le gaz seraient formés à partir de matières organiques animales ou végétales, La transformation de matière organique en pétrole s'échelonne sur des dizaines de millions d'années, en passant par une substance intermédiaire appelée kérogène. [5]

La matière organique se serait ainsi accumulée au fond des mers, des océans, des lacs et des deltas, mélangée à des matières minérales (particules d'argiles ou sables fins), créant ainsi des boues de sédimentation et formant le « sapropel ». La pression développée au fur et à mesure par l'accumulation des sédiments au cours des temps géologiques, la température, l'action des bactéries en milieu réducteur c'est-à-dire en absence d'oxygène, auraient petit à petit transformé ce « sapropel » en pétrole. [5]

I.2.3 Classification des pétroles bruts

La classification est d'une extrême importance car elle nous permet de reconnaître l'ensemble des traitements à envisager pour le pétrole et la qualité des produits pétroliers à obtenir. Les pétroles sont répartis dans la partie industrielle en : légers, moyens et lourds, déterminés par simple mesure de densité tels que :

Les bruts légers : $d_4^{15} < 0.825$

Les bruts moyens : $0.825 < d_4^{15} < 0.875$

Les bruts lourds : $0.875 < d_4^{15} < 1.000$

Les bruts extra lourds : $d_4^{15} > 1.000$

d_4^{15} : densité à 15°C. [6]

I.2.4 Propriétés physico-chimiques des pétroles bruts

La connaissance des caractéristiques physico-chimiques du pétrole brut va permettre au raffineur de prévoir les unités à utiliser pour le traitement de ce brut ainsi que le transport, le stockage et le prix.

Les principales propriétés du pétrole brut sont :

- **Densité des pétroles bruts**

La connaissance de la densité est très importante car la cotation du pétrole dépend en partie de cette propriété. La densité est exprimée le plus souvent en degrés °API. [7]

Où :

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\text{Densité à } 15^{\circ}\text{C}} - 131,5$$

- **Tension de vapeur Reid (TVR)**

La tension de vapeur mesure la tendance des molécules à s'échapper d'une phase liquide pour engendrer une phase vapeur en équilibre thermodynamique, C'est La pression exercée par les vapeurs libérés de tout matériel à une température contrôlé de 37.5°C.

- **Autres propriétés**

Le pétrole est caractérisé par d'autres propriétés comme suit :

La viscosité ;

L'acidité ;

Teneur en soufre, Teneur en azote, Teneur en eau, sédiments et sels ;

Point de trouble, d'écoulement, et point de congélation. [8]

I.3 Les produits pétroliers

Le pétrole brut est inutilisable en l'état. C'est un mélange hétérogène d'hydrocarbures divers, fait de molécules composées d'atomes de carbone et d'hydrogène. Ses composants doivent être séparés afin d'obtenir les produits finaux exploitables directement. On en distingue en général deux grands types :

Les produits énergétiques, les carburants et les combustibles tels que l'essence, le diesel (gazole) ou le fioul ;

Les produits non énergétiques, tels que les lubrifiants, le bitume et les naphthas utilisés en pétrochimie. [9]

I.3.1 Les produits énergétiques

Les produits pétroliers utilisés à des fins énergétiques sont :

Les carburants , Les combustibles.

I.3.1.1 Les carburants

Les substances dont la combustion permet le fonctionnement des moteurs thermiques. L'énergie chimique contenue dans le carburant est donc destinée à être convertie en énergie mécanique. [10]

1) Gaz de pétrole liquéfié (GPL)

Le gaz de pétrole liquéfié ou GPL est un mélange d'hydrocarbures légers stocké à l'état liquide et issu du raffinage du pétrole (40 % des ressources mondiales) et plus généralement du traitement du gaz naturel (60 % des ressources mondiales). C'est un gaz incolore et inodore, un composé lentement inflammable et volatile et plus lourd que l'air, récupéré à moins 15°C.

Le GPL est composé d'environ 80% de butane (C_4H_{10}) et 20% de propane (C_3H_8). C'est un carburant dit propre, Son utilisation présente des avantages par rapport au gazole en permettant de réduire de :

- 50% les émissions d'oxyde d'azote,
- 50% celles des monoxydes de carbone,
- 90% celles des hydrocarbures et particules. [11]

2) Les essences

L'essence désigne les carburants, les combustibles liquide et volatiles utilisés dans les moteurs à allumage par étincelle (essence moteur). Elle n'est généralement pas une fraction simple obtenue en raffinerie : mais un mélange de produits provenant de divers procédés auxquels on ajoute des additifs pour leur permettre de satisfaire les exigences du marché. L'essence produites en raffineries sont des liquides incolores forment inflammables. Ce sont des fractions de pétrole de température d'ébullition comprise entre 30°C et 200°C allant de C4 à C10. Elles sont obtenues à partir de divers procédés qui en donnent différentes qualités. [12]

a) Les différentes formes d'essences

Il existe deux types d'essences :

- Essence auto ou essence ordinaire ;
- Super carburant ou essence super, avec ou sans plomb. [13]

b) Propriétés physiques des essences

La masse volumique et la volatilité, exprimé par la courbe de distillation et la pression de vapeur, constituent les caractéristiques physiques des essences les plus importantes pour obtenir un fonctionnement satisfaisant du véhicule en toute circonstance. [13]

❖ Masse volumique des essences

La masse volumique d'un carburant, à une température donnée, est le quotient de sa masse par son volume, elle est généralement mesurée à 15°C, au moyen d'un aéromètre (méthode iso 3675), elle s'exprime en kg/l.

Les limites inférieures et supérieures à respecter pour la masse volumique à 15 °C pour : l'essence ordinaire, supercarburant avec ou sans plomb sont résumées dans le tableau (I.1) : [7]

Tableau I.1: Masse volumique des essences

Type d'essence	Min (Kg/l)	Max (Kg/l)
Essence ordinaire	0,7	0,75
Supercarburant super plombé	0,75	0,77
Supercarburant sans plomb	0,725	0,78

❖ Pression de vapeur des essences (PVR)

Les pressions de vapeur des essences sont en général comprises entre 350 et 1000 mbar, la volatilité du carburant essence doit être suffisante pour assurer par temps froid, le démarrage rapide et la mise en action satisfaisante du véhicule, inversement lors du fonctionnement à chaud, il convient de limiter la volatilité afin d'éviter certains incidents. [7]

c) Propriété chimique des essences

❖ Indice d'octane

Les contraintes les plus importantes pour les essences automobiles, sont les contraintes sur l'indice d'octane. L'accroissement de l'indice d'octane d'une essence, permet d'augmenter le taux de compression du moteur dans lequel elle est utilisée donc d'accroître le rendement. La diminution de la consommation qui en résulte est de l'ordre de 1% par point d'octane, ainsi la consommation de carburant d'un moteur réglé pour un indice d'octane 92 sera, toutes choses égales par ailleurs, supérieure d'environ 3% à la consommation de carburant d'un moteur réglé pour un indice d'octane 95. [14]

3) Les carburéacteurs

Le carburéacteur comme son nom l'indique est le carburant des réacteurs d'avions, on utilise parfois le nom kérosène comme synonyme. Pour que la combustion se déroule de façon suffisante le carburant doit se vaporiser rapidement et se mélanger intimement à l'air. [14]

4) Le gazole

Ce carburant est destiné à l'alimentation des moteurs diesels équipant des voitures particulières et des véhicules utilitaires. [14]

❖ Propriétés chimiques

• Indice de cétane et l'auto-inflammation

Dans un moteur diesel, l'air est très fortement comprimé avant l'injection du gazole. Cette compression provoque une élévation de température, et le gazole s'enflamme spontanément au moment de son injection. Pour assurer un bon fonctionnement du moteur, le carburant doit posséder une forte propension à l'auto-inflammation. Cette caractéristique est mesurée par, l'indice de cétane. Un bon gazole aura donc un indice de cétane élevé. [14]

• Teneur en soufre

L'élimination du soufre des gazoles diminue la corrosion des réservoirs qui le contiennent et supprime les odeurs désagréables qu'il émet. [14]

I.3.1.2 Les combustibles

1) Le GPL combustible

On utilise le GPL combustible dans le secteur industriel, pour des applications qui nécessitent un combustible propre (verre, céramique). Il se répartit en propane commercial et butane Commercial, le propane commercial est défini comme un mélange renfermant environ 90% de propane (C3). Le butane commercial est essentiellement constitué d'hydrocarbures en butane (C4), avec au moins de 10% de propane et de propène. [14]

2) Le fuel domestique (FOD)

Également appelé gazole de chauffage, le fuel domestique a des caractéristiques très voisines de celle du gazole moteur. Il est utilisé pour le chauffage des locaux.

3) Le fuel lourd

Le fuel lourd est un combustible industriel utilisé pour la génération électrique, il sert également de carburant pour les moteurs de gros navires (pétroliers).

I.3.2 Les produits non énergétiques

Les produits pétroliers non énergétiques sont extrêmement divers nous citerons :

1) Les naphtas

Les naphtas constituent une catégorie particulière de solvants hydrocarbonés. Ce sont des matières premières pour la pétrochimie pour la fabrication des oléfines (éthylène, propylène) et des aromatiques (benzène, toluène, xylène dits BTX). Les naphtas servent en particulier à alimenter les vapocraqueurs, ils ne font pas l'objet de spécification administrative, mais seulement de spécifications commerciales renégociées par contrat. [14]

2) Les bitumes

Le bitume est un liant qui solidarise l'agrégat utilisé pour le revêtement des routes. Il est également utilisé pour le revêtement des toitures et des canalisations, il sert d'imperméabilisant et peut également résister à la corrosion et au passage du courant électrique. Solide à la température ordinaire, le bitume est un produit très lourd issu du résidu sous vide des raffineries.

Il existe deux types de bitumes :

- Le bitume routier ;
- Le bitume oxyde. [14]

3) Extraits aromatiques

Les extraits aromatiques sont des produits composés essentiellement de poly-aromatiques condensés et d'hétérocycles azotés et/ou soufrés. Ils sont utilisés pour la fabrication des encres d'imprimerie et pour la fabrication de certains plastiques comme le PVC. [14]

I.4 Le raffinage

Le raffinage du pétrole est un procédé industriel qui permet de transformer le pétrole brut en différents produits finis tels que l'essence et semi-fini tels que le naphta. Le fioul lourd ou le naphta. Mélange hétérogène d'hydrocarbures divers (molécules composées d'atomes de carbone et d'hydrogène). [15]

I.4.1 Les procédés de raffinage

Le raffinage fait appel à une grande variété de procédés. Parmi ceux-ci, on distingue les grandes familles suivantes :

Prétraitement du pétrole brut ;

Les procédés physiques de séparation ;

Les procédés de transformation ;

Les procédés de finition.

- **Prétraitement du pétrole brut**
 - Dessalage ;
 - Décantation ;
 - Filtration ;
- **Les procédés physiques de séparation**
 - Topping (La distillation atmosphérique) ;
 - La distillation sous vide ;
 - La cristallisation ;
 - L'extraction des aromatiques ;
- **Les procédés de transformation :**
 - Le craquage
 - La combinaison
 - Le reformage catalytique ;
 - L'isomérisation.
- **Les procédés de finition**
 - L'hydrodésulfuration. [7]

I.4.1.1 Prétraitement du pétrole brut

1) Dessalage

Le pétrole brut contient souvent de l'eau, des sels, des solides en suspension et des traces des métaux solubles dans l'eau. La salinité de ce dernier est limitée à 40 mg/l et BSW (Basic Sediment and Water) soit inférieure à 1%, pour cette raison des techniques avancées et des recherches continues sur le brut pour éliminer les sels et l'eau contenus dans le brut, dont le but de sauver les installations de traitement et de raffinage, et d'améliorer le prix de vente du baril. En effet, la première étape du raffinage consiste à éliminer ces contaminants par le dessalage (déshydratation) pour réduire la corrosion, le colmatage et l'encrassement des installations. Le rôle de l'unité de dessalage est d'éliminer par lavage à l'eau les sels minéraux présents dans les pétroles bruts. Ces sels sont en effet susceptibles de provoquer des corrosions et des Encrassements dans les unités de traitement de bruts. Cette opération de dessalage permet aussi de récupérer les sédiments encore présents dans le brut. La séparation brute dessalé / eau S'effectue dans un gros ballon décanteur horizontal c'est " le dessaleur." [16]

Deux méthodes de dessalage du pétrole brut sont utilisées : [17]

❖ **Le dessalage chimique :**

Dans le dessalage chimique, on ajoute de l'eau et des agents tensio-actifs au pétrole brut, on chauffe pour dissoudre ou fixer à l'eau les sels et les autres impuretés, puis on conserve ce mélange dans un bac pour que la phase aqueuse décante.

❖ **Le dessalage électrostatique :**

Dans le dessalage électrostatique, on applique des charges électrostatiques de tension élevée pour concentrer les gouttelettes en suspension dans la partie inférieure du bac de décantation.

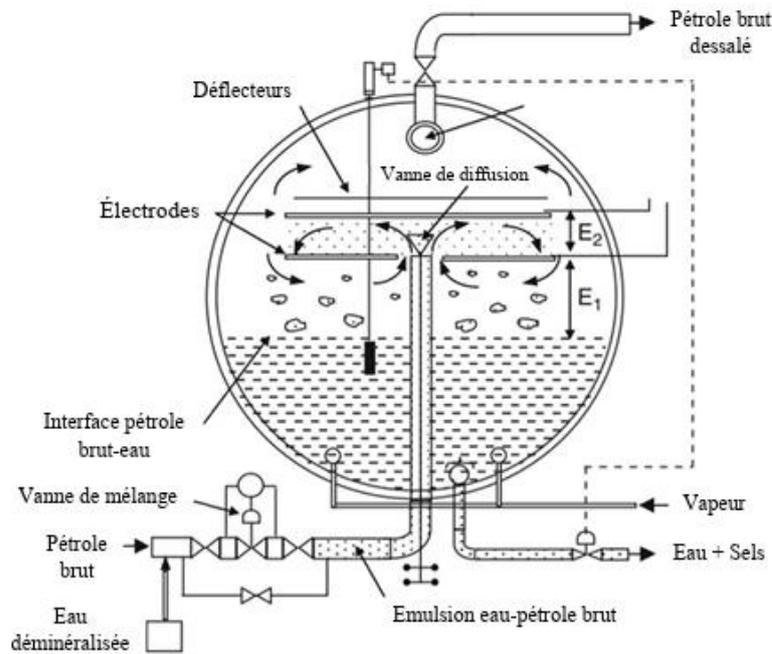


Fig.I.01 : Schéma simplifié d'un dessaleur électrostatique

2) La décantation

Le principe de décantation est basé sur la différence de densité entre les gouttelettes d'eau et l'huile pour faciliter la séparation des deux phases. La décantation n'est efficace que pour des émulsions stables. Ce procédé n'est efficace que pour des émulsions stables du simple fait de la différence entre les poids spécifiques des composés de l'émulsion. Le traitement thermique des émulsions accélère la décantation. La vitesse de décantation est donnée par la formule de Stokes :

$$V_D = \frac{1}{18} \cdot g \cdot \frac{(d_d - d_c)}{d_c} \cdot \frac{D^2}{\nu_c} \quad [18]$$

g : Accélération de la pesanteur ($g=9,81 \text{ m/s}^2$).

V_D : vitesse de décantation (m/s).

d_d : densité de la phase dispersée.

d_c : densité de la phase continue.

ν_c : viscosité cinématique du brut (m²/s).

D : diamètre de la gouttelette d'eau (m).

Afin d'améliorer la décantation :

- Augmenter la taille des gouttelettes d'eau.
- Opérer à la température la plus élevée possible pour diminuer la viscosité de la phase Continue.

3) La filtration

La séparation de l'eau contenue dans le pétrole par filtration est basée sur les phénomènes de mouillage sélectif. Ainsi, par exemple le sable de quartz est facilement mouillable à l'eau, tandis que la pyrite l'est au pétrole.

Pour déshydrater les pétroles, on utilise des copeaux de tremble peuplier et d'autres bois non résineux. Les fines particules d'eau, tout en adhérant aux bords aigus des copeaux se rassemblent en grosses gouttes s'écoulant facilement par gravité.

Les colonnes de filtration sont surtout utilisées lorsque les émulsions de pétrole ont déjà été désagrégées, mais les gouttelettes d'eau se maintiennent encore en suspension et ne se déposent pas.

L'inconvénient majeur du procédé de filtration est le colmatage relativement rapide de la surface filtrante par les particules de sol et la nécessité de remplacer souvent le garnissage. [18]

I.4.1.2 Les procédés physiques de séparation

1) La distillation

a) Topping (La distillation atmosphérique)

A l'issue de cette étape, on obtient des produits appelés (coupes). Le brut est chauffé à environ 350°C, puis distillé dans une colonne de 40 à 60 m de hauteur. Dans cette colonne, les produits sont séparés en fonction de leurs températures d'ébullition et sous une pression de 1 à 3 atmosphères. Les produits les plus légers (basse température d'ébullition environ 30°C) sont récupérés en haut de la colonne tandis que les plus lourds (haute température d'ébullition, plus de 375°C) se concentrent en bas de la colonne. [19]

Les principaux produits issus de cette distillation sont :

- Les gaz de raffinerie ;
- Les gaz de pétrole liquéfié (propane/butane) ;

- Les essences (légères/lourdes) ;
- Les kérosènes ou, carburéacteurs ;
- Les gazoles et fuels domestiques ;
- Les fuels industriels. [7]

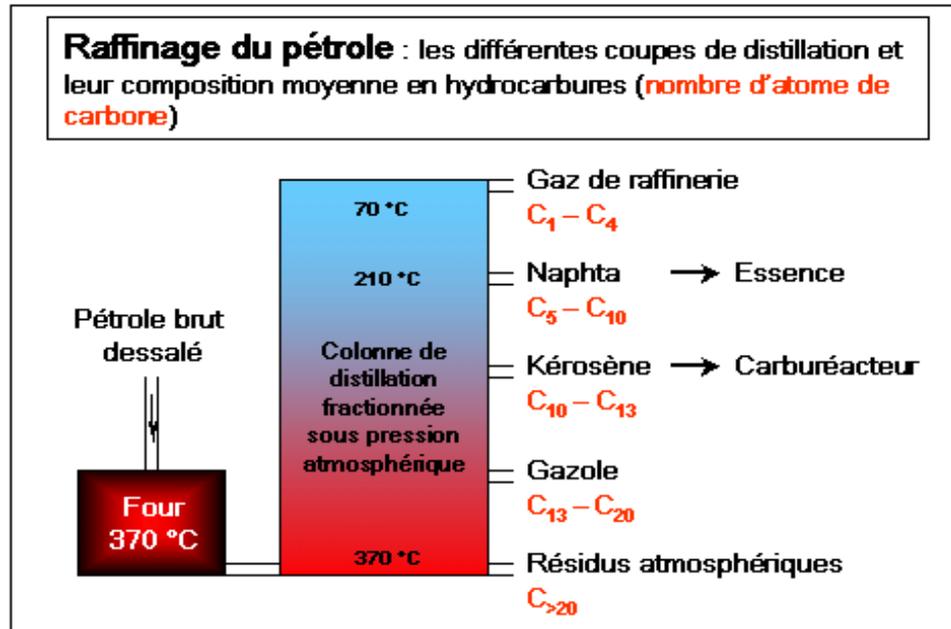


Fig.I.02 : Distillation atmosphérique du pétrole

b) La distillation sous vide

Le résidu lourd de la distillation atmosphérique est de nouveau réchauffé vers 400°C puis envoyé dans une colonne de distillation semblable à la précédente mais où règne une pression réduite. Le vide est assuré par un système de pompes. Cette technique est l'application de la loi physique selon laquelle le point d'ébullition donc de condensation d'un corps dépend de la pression. Si la pression baisse, le point d'ébullition baisse également. La distillation sous vide permet donc d'effectuer des coupes à des températures plus basses (monter trop en température détruirait le produit).

La distillation sous vide permettra d'obtenir des coupes de gazole et de distillat lourds. [19]

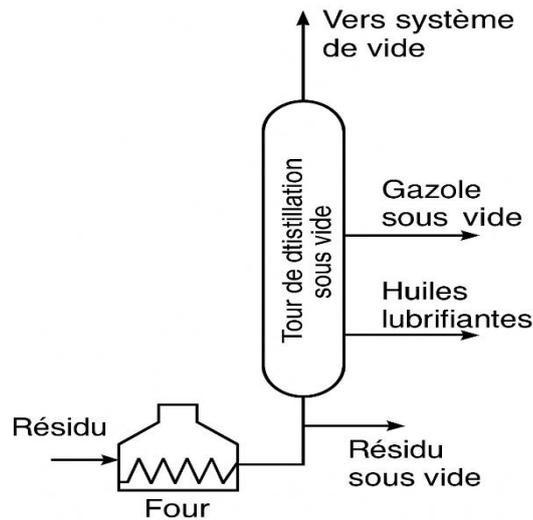


Fig.I.03 : Distillation sous vide du pétrole

2) La cristallisation

La cristallisation est utilisée pour la production de paraxylène ; c'est un processus selon lequel on modifie les conditions thermodynamiques d'un système solvant-soluté, de manière à précipiter au moins une partie du soluté sous forme solide. [14]

3) L'extraction d'aromatique

Il existe deux types d'extractions d'aromatiques : [14]

- L'extraction des composés aromatiques des bases huileuses, en vue de la préparation d'huiles lubrifiantes ;
- L'extraction de composés aromatiques à partir des bases plus légères, telle que : Les essences, les kérosènes, afin de respecter les réglementations actuelles et futures des carburants et combustibles.

I.4.1.3 Les procédés de transformation

1) Le Craquage

Est un procédé qui consiste à casser une molécule organique complexe en éléments plus petits, notamment des alcanes, des alcènes, des aldéhydes et des cétones. Les conditions de température et de pression, ainsi que la nature du catalyseur sont des éléments déterminants du craquage.

Trois procédés de craquage caractérisent les raffineries modernes :

Craquage thermique, craquage catalytique et l'hydrocraquage. [15]

a) Le craquage thermique

Le craquage thermique est le procédé de transformation des hydrocarbures qui met en jeu la température comme agent d'activation. Il consiste à les chauffer (300 à 850°C), sous une pression élevée (7 à 70 bar), Il est endothermique et, par conséquent, l'organe essentiel dans tous les procédés est le four. Le reste de l'appareillage permet de séparer les produits obtenus. Essentiellement le craquage thermique consiste en la rupture des molécules d'hydrocarbures sous la seule influence de la température. [15]

b) Le craquage catalytique

Il consiste à chauffer (450°C), sous une pression de quelques bars et en présence d'un catalyseur (silicates d'aluminium ou zéolithes) les fractions lourdes issues de la distillation du pétrole pour fabriquer des essences & Il permet un meilleur contrôle de la transformation et est moins coûteux en énergie.

Tous les procédés de craquage catalytique comportent trois fonctions de base :

- Réaction : la charge réagit avec le catalyseur et est fragmentée en différents hydrocarbures.
- Régénération le catalyseur est réactivé par combustion du coke.
- Fractionnement les produits de craquage sont séparés en diverses fractions.

Il existe actuellement trois types de base de procédés de craquage catalytique :

Le craquage catalytique sur lit fluidisé (Fluid Catalytic Cracking (FCC)) ;

Le craquage catalytique sur lit mobile

Le craquage catalytique sur lit mobile selon le procédé TCC (Thermofor Catalytic Cracking). [20]

c) L'hydrocraquage

L'hydrocraquage est un procédé en deux étapes combinant le craquage catalytique et l'hydrogénation procédé au cours duquel les produits souhaités sont obtenus par craquage de fractions distillées en présence d'hydrogène et de catalyseurs spéciaux. [20]

2) La combinaison

Il y'a deux procédés de combinaison, la polymérisation et l'alkylation, permettent de lier de petites molécules pauvres en hydrogène, appelées oléfines obtenues lors du craquage thermique et du craquage catalytique. [20]

a) La polymérisation

La polymérisation est un procédé permettant de combiner au moins deux molécules organiques non saturées (oléfines) en une seule molécule plus lourde dans laquelle les éléments de la molécule d'origine sont présents dans les mêmes proportions. [21]

b) L'alkylation

L'alkylation combine les molécules d'oléfines obtenues par craquage catalytique avec des molécules d'iso-paraffines et accroît ainsi le volume et l'indice d'octane des essences de base. Les oléfines réagissent avec les iso-paraffines en présence d'un catalyseur très actif, généralement de l'acide sulfurique ou de l'acide fluorhydrique (ou du chlorure d'aluminium).

L'alkylat est ensuite séparé et fractionné. Les températures de réaction relativement faibles de 10 à 16 °C pour l'acide sulfurique, de 27 à 0 °C pour l'acide fluorhydrique et de 0 °C pour le chlorure d'aluminium sont contrôlées par réfrigération. [21]

3) Le reformage catalytique

Le reformage catalytique est un procédé qui permet de modifier les molécules d'hydrocarbures d'obtenir ainsi des produits présentant des caractéristiques différentes certaines de leurs qualités, comme l'indice d'octane ou la teneur en soufre, peuvent en effet être améliorées pour les procédés de conversion il existe : Le reformage catalytique.

Les procédés de reformage catalytique permettent de convertir les naphthas lourds à faible indice d'octane en hydrocarbures aromatiques à indice d'octane élevé appelés reformats, par réarrangement moléculaire ou déshydrogénation Les deux principales réactions qui se produisent sont au cours du procédé de reformage catalytiques sont : la production de composés aromatiques à indice d'octane élevé, par élimination de l'hydrogène des molécules de la charge la conversion des paraffines linéaires en paraffines ramifiées ou iso-paraffines. [21]

4) L'isomérisation

L'isomérisation permet de convertir le n-butane, le n-pentane et le n-hexane en leurs iso paraffines respectives. L'isomérisation ressemble au reformage catalytique, car elle comporte, elle aussi, un réarrangement des molécules d'hydrocarbures cependant, contrairement au reformage catalytique Le catalyseur utilisé pour l'isomérisation est différent de celui employé pour le reformage catalytique Le produit final obtenu est appelé isomérat. [21]

I.4.1.4 Les procédés de finition

Les procédés de finition, s'appliquant aux produits finis pour améliorer leurs caractéristiques teneur en soufre, teneur en aromatique et oléfines... Parmi ces procédés on retrouve : [14]

➤ **L'hydrodésulfuration**

Le procédé hydrodésulfuration est utilisé pour la réduction de la teneur en soufre et de la teneur en aromatiques des gasoils, qui visent à augmenter le nombre de cétane. Les sous-produits de ce procédé sont les gaz, H₂S, et le naphta. La consommation d'hydrogène utilisée pour ce procédé est relativement importante.

I.5 Conclusion

Le raffinage du pétrole est une étape clé dans l'industrie énergétique et pétrochimique. Il permet de valoriser le pétrole brut en le transformant en une variété de produits utiles pour le transport, le chauffage, la production d'électricité, et bien d'autres applications.

Le processus implique la séparation des différents composants du pétrole brut par distillation, puis la conversion de ces composants en produits plus légers et de plus grande valeur grâce à des procédés chimiques complexes.



CHAPITRE II

LA RAFFINERIE d'ASBAA ADRAR



II.1 Introduction

L'industrie pétrolière est devenue aujourd'hui une branche fondamentale de l'économie mondiale et de notre pays l'Algérie. La raffinerie d'ADRAR est l'une des nombreuses raffineries qui constituent actuellement la division production de la branche RPC. Elle dispose de différentes installations de base, permettant d'assurer la production, le stockage et l'expédition. Ces activités peuvent sujet à plusieurs procédures selon le service de travail et ces fonctionnements comme des audits de contrôle gestion ou autres audits qui organise et facilite le bon déroulement des tâches de chaque service.



Figure II.01 : La raffinerie d'Asbaâ Adrar

II.2 Historique

Créée en 2007 par la société mixte Soralchin, la raffinerie Asbaâ Adrar était un partenariat algéro-chinois composé de China National Oil Corporation (CNPC) et de la compagnie pétrolière algérienne Sonatrach. Mais elle est désormais sous la houlette des compétences algériennes après le départ de l'entreprise chinoise. [31]

II.3 Présentation géographique

La raffinerie d'ADRAR est située sur le territoire de la commune d'Asbaâ à 40 km au nord de la wilaya d'ADRAR, La superficie de la raffinerie est de 37 Hectares, Longueur de 740m, largeur 500m. L'alimentation en pétrole brut se fait à partir des gisements du bassin de Touat à travers un pipeline de 08 puces, et l'alimentation de gaz naturel à partir de la station de SONATARACH d'Asbaâ située à 6.5Km au sud-est du site par une pipe de 04 pouces pour satisfaire le besoin de gaz pendant le démarrage des chaudières de la centrale et les différents fours des unités. La Raffinerie dont la capacité nominale de traitement est de douze mille cinq cent (12500) barils/jour soit six cent mille (600000) Tonnes \an environ de pétrole brut provenant des gisements situés dans la cuvette d'Asbaâ, Hassi Ilatou ; OTRA.

Le site de la raffinerie est divisé en 08 aires :

- Utilités ; Unités de production ; Parc de stockage ; Rampe de chargement des camions ; Laboratoire ; Caserne sécurité ; Administration ; Base de vie. [31]



Figure II.02 : Situation géographique de la raffinerie d'Adrar (Google Maps)

II.4 La production de la Raffinerie

II.4.1 Capacité de traitement de la raffinerie

La capacité annuelle de traitement de la raffinerie d'Asbaâ est de 600 000 Tonnes environ de pétrole brut pendant une période de 330 jours en continu par jour de vingt-quatre (24) heures. (8000h). [30]

75 T/h ;

1800 T/j.

12500 b/d

II.4.2 Capacité de la production annuelle

Tableau II.1 : Les quantités annuelle des produits finis

Quantités (Tonnes/An)	Produits
20 500	Propane
32 500	Butane
208 300	Essence normal
30 000	Kérosène (Jet A1)
238 400	Gas oil
13 000	Fuel oil

II.4.3 Conception générale de la Raffinerie

La raffinerie est divisée en 08 sections principaux : [31]

Tableau II.2 : Les sections principaux du raffinerie RA1D

Séries	Nom de section
I	Route et transport
II	Unités de process
III	Stockage et distribution des produits
IV	Approvisionnement et drainage en eau
V	Alimentation en énergie électrique
VI	Vapeur Air Electricité
VII	Auxiliaire production et service
VIII	Autres (Bâtiment administrative , Infirmerie principale ...ect)

II.4.4 Propriété chimique de pétrole brut de OTRA, Hassi illato, (OTRA et Hassi) mélange

II.4.4.1 Propriété de brut d'OTRA

Tableau II.3 : Les Propriétés de brut d'OTRA [30]

Analyse		Unité	Résultat
API°			38.97
Densité (20C°)		g/cm ³	0.8260
Viscosité (20C°)		mm ² /s	9.226
Viscosité (40C°)		mm ² /s	7.218
Point de congélation			-26
Carbone résiduel		w%	1.43
Soufre		w%	0.1
Nitrogène		w%	0.1
Eau		w%	0
Point flash			<30
Acidité		mg KOH/g	<0.02
Salinité		Mg NaCl/l	7.6
Colloïde		w%	6.0
Concentration en Paraffine		w%	2.2
Contenu en métal	Fe	µg/g	1.2
	Ni	µg/g	1.3
	Cu	µg/g	0.1
	V	µg/g	2.5
	Pb	µg/g	<0.1
	Ca	µg/g	4.2
	Mg	µg/g	0.2
	Na	µg/g	1.0
Type de Brut			Brut intermédiaire de Bas soufre

II.4.4.2 Propriété de Brut de Hassi Ilatou

Tableau II.4 : Les Propriétés de brut de Hassi Ilatou [30]

Analyse		Unité	Résultat
API°			42.80
Densité (20C°)		g/cm ³	0.8078
Viscosité (20C°)		mm ² /s	11.77
Viscosité (40C°)		mm ² /s	7.44
Point de congélation		°C	-24
Carbon résiduel		w%	4.69
Soufre		µg/g	662
Nitrogène		µg/g	513
Eau		w%	Trace
Point flash		°C	<30
Acidité		Mg KOH/g	<0.02*
Salinité		Mg NaCl/l	50
Colloïde		w%	8.5
Concentration en paraffine		w%	4.4
Contenu en métal	Fe	µg/g	2.8
	Ni	µg/g	2.1
	Cu	µg/g	<0.1
	V	µg/g	1.1
	Pb	µg/g	0.1
	Ca	µg/g	1.2
	Mg	µg/g	0.4
	Na	µg/g	38.6
Type de Brut			Brut intermédiaire de Bas soufre

II.4.4.3 Propriété de brut de OTRA-Hassi mélangé

Tableau II.5 : Les Propriété de brut de OTRA-Hassi mélangé [30]

Analyse	Unité	Résultat
API°		40.11
Densité (20°C)	g/cm ³	0.8206
Viscosité (20°C)	mm ² /s	22.46
Viscosité (50°C)	mm ² /s	Method unit
Point de congélation	°C	-28
Résidu en carbone	°C	-15
Soufre	w%	2.56
Nitrogène	w%	<0.002
Eau	µg/g	899.3
Point flash	w%	0.12
Acidité	w%	None
Salinité	w%	None
Colloïde	Mg KOH/g	0.02
Concentration en paraffine	w%	9.74
Densité (20C°)	w%	0.18
Viscosité (20C°)	w%	1.95

II.4.5 Conception de l'outil de production

Tableau II.6 : La conception et du fonctionnement de la raffinerie [30]

Aspect	Détails
Fonctionnement	Continu à capacité annuelle maximale
Objectif principal	Valorisation du résidu de distillation, maximisation du gasoil

Autonomie	Totale, sauf gaz naturel (fourni par SONATRACH Asbaâ)
Origine de l'eau	Trois forages à 1 km nord-est de la raffinerie
Traitement eaux de refroidissement	Par unité de traitement, exploitation par unité de circulation
Eaux déminéralisées	Stockées dans 2 bacs de 200 m ³ avant envoi aux chaudières
Production de vapeur	3 chaudières (2 actives + 1 stand-by) + RFCC (3×35 t/h, 35 bars + 20 t/h)
Production électrique	3 turbo-générateurs (2 en service + 1 en réserve) – 3×6000 kW
Air comprimé / Azote	3 compresseurs (2 en service + 1 en réserve) – 560 kW
Sécurité	Toutes les pompes sont doublées

➤ **Bacs de stockage**

Tableau II.7 : Les caractéristiques des bacs de stockage [30]

Code	Description	Capacité		Temp de stockage °C	Densité kg/m ³
		10 ⁴ t/a	m ³ /d		
T-30101~03	Brut	60	2,218	30	830
T-30201	Naphta charge de démarrage			25	734
T-30202~04	Naphta (charge de reforming)	9.66	413.2	25	704
T-30205~10	Essence normale 90	21.91	852.1	25	730
T-30212~13	Essence non conforme			25	720
T-30301~04	Gasoil	24.18	832.4	25	830
T-30305~08	Kérosène	3.0	109.9	25	780
T-30309~10	Diesel non conforme			25	
T-30401~03	Fuel charge de RFCC	25.84	851.1	90	920

T-30404~07	Fuel alimentation de chaudière	1.45	41.9	90	990
T-30501~02	Propane	1.48	82.6	25	512
T-30503~05	Butane	3.19	162.8	25	560
T-30506~07	LPG (charge)	4.89	266.2	25	560
T-30508	LPG non conforme			25	
Code	Nombre	Volume		Hauteur de contrôle	Genre de toit
T-30101~03	3	6000		14.6m ² /15.87	Toit flottant
T-30201	1	1000		14.6m ² /15.87	Toit fixe
T-30202~04	3	1000		14.6m ² /15.87	Toit fixe
T-30205~10	6	3000		14.6m ² /15.87	Toit fixe
T-30211	1	500		10.192m ² /10.40	Toit fixe
T-30212~13	2	500		10.192m ² /10.40	Toit fixe
T-30301~04	4	4000		10.192m ² /10.40	Toit fixe
T-30305~08	4	500		10.192m ² /10.40	Toit fixe
T-30309~10	2	500		10.192m ² /10.40	Toit fixe
T-30401~03	3	3000		14.6m ² /15.87	Toit fixe
T-30404~07	4	300		7.5m ² /8m	Toit fixe
T-30501~02	2	1000		Sphère
T-30503~05	3	1000		Sphère
T-30506~07	2	400		Sphère
T-30508	1	400		Sphère

II.5 Les utilités

Les utilités sont composées des unités suivantes : [30]

II.5.1 Réseau d'eau

La Raffinerie possède trois forages identiques situent au Nord-est a 1km de distance, pour leur alimentation en énergie électrique, les trois forages en un transformateur (6.3kv /0.4KV 250KVA) pour chacun, la puissance d'un forage et de 57kw, avec un débit de 150m/h, le transport

est assuré par de pipe de 12 pouce connecté en parallèle, pour le stockage en a deux bacs T-40401/1et2 de réseau incendie ($2 \times 3000 \text{m}^3$, $H= 14.77\text{m}$), Et un bac T-40401/3d'une capacité de $2000 \text{m}^3 - H=12.3\text{m}$

1) Réseau eau incendie

Les réseau eau incendie est équipé par deux électropompes ($6.3\text{kv}/250\text{kw} /-160\text{l/s}-10\text{bars}$) et un diesel motopompe identique ; deux suppresseurs assurent une la sou pression du réseau en permanences.



Figure II.03 : Les électropompes

2) Réseau eau potable

Les deux pompes P40402 1et 2 alimente la station d'adoucissement d'eau potable qui se trouve à la base vie (après adoucissement l'eau est distribuée avec un débit de $2.5 \text{m}^3/\text{h}$ sous une pression de $2.5 - 03\text{bars}$).

3) Réseau eau de refroidissement

Un appoint en eau traité de traitement des eau (osmose inverse) vers les bassins et deux tours d'aéroréfrigérant, ces deux tours, Un pour le central ; avec un débit de $4000 \text{m}^3/\text{h}$ et une pression et température de sortie de $03 \text{bars} - 32\text{C}^\circ$ et $02\text{bars} - 42\text{C}^\circ$ en retour, La deuxième pour les unités combinées, avec un débit de $3000 \text{m}^3/\text{h}$ et une pression et température de sortie de $4.5 \text{bars} - 32\text{C}^\circ$ et $02.5\text{bars} - 42\text{C}^\circ$ en retour. Le traitement des eaux de refroidissement se base sur le maintien de son PH dans les limites de 8.5 et 9.5 par l'acide chlorhydrique, et l'élimination des algues par le chlore et d'autres biocides.



Figure II.04 : Tour refroidissement d'eau

4) Les eaux usées

La capacité de traitement des eaux usées est de 100m³/h avec deux systèmes en service ;
 Eau usée a haute concentration ;
 Eaux usées à faible concentration ;
 L'eau usée à haute concentration est le produit des eaux contaminée avec de l'acide chlorhydrique due à la régénération des adoucisseurs de traitement des eaux et aussi au rejet concentré de l'osmose inverse environ 20m³/h.



Figure II.05 : Bassin de traitement eaux usées

II.5.2 Unité de production de vapeur (chaudières)

Pour la production de la vapeur la raffinerie d'Asbaâ est dotés de trois chaudières de 35t/h/35bars/ 440C° pour chacune, et un générateur de vapeur 20- 26t/h 35bars/ 440C° au niveau de l'unité RFCC, En marche normal deux de ces trois chaudières doivent être en service et la troisième en stand-by. Cette vapeur dite vapeur moyenne pression (35bars/440C°) produite par la chaudière et le générateur de vapeur de l'unité RFCC est utilisé pour : [30]

- Alimentation des trois turbogénérateurs.

- Alimentation des deux turbo ventilateur de l'unité RFCC,
- Alimentation de désurchauffeur de chaudière (afin de diminuer la température et la pression de vapeur).

Un autre réseau appelle réseau de vapeur basse pression (10bars /260C°), c'est le produit de soutirage des deux turbo ventilateur plus le désurchauffeur, il est utilisé pour :

- Compresseur gaz RFCC,
- Unité de distillation atmosphérique.
- Unité de reforming.
- Unité RFCC.
- Bacs de stockage des produits pétrolier.
- Les eaux usées.
- La centrale base de vie.
- Base de vie.
- L'exploitation des chaudières est assurée par un system de contrôle automatique DCS de ABB.



Figure II.06 : chaudière

II.5.3 Unité de production et distribution d'énergie électrique

La consommation totale en énergie électrique selon le design est de 6800 kW, pour cela ; Trois turbogénérateur d'une puissance de 6000kw/6.3KV pour chacun sont installés, deux en service l'autre en stand-by.

Deux générateur turbo diesel d'une capacité de 1100 kw pour chacun utilise comme source de secours en cas d'interruption accidentel d'énergie électrique. Une ligne de SONELGAZ d'une puissance de 16MVA /37KV/6.3KV. En marche normal ; deux générateurs en service alimentent la sous station principale de distribution d'énergie électrique et l'autre en stand-by.

La station principale de distribution d'énergie électrique (6.3KV) alimente 12 sous station électrique 6.3kv/0.4 kV et 15 départs 6.3kv vers des moteur MT (moyenne tension). [30]



Figure II.07 : Salle de control réseaux électriques

II.5.4 Station d'air comprimé

La production de l'air servir et de l'air instrument est assures par trois compresseurs d'air identique deux 02 en service et un 01 en stand-by, l'air instrument est séché à travers une batterie de deux sécheurs, un sec huer en service et un en stand-by.

Le ballon de stockage d'air instrument est dimension pour assurer une autonomie de fonctionnement de la raffinerie de 30 Minutes. [30]



Figure II.08 : Unité d'air comprimé

II.6 Le laboratoire

Le laboratoire est un des éléments essentiels dans le suivi et le contrôle des traitements. Les responsabilités rattachées à l'ensemble de cette fonction (traitement et laboratoire) ne doivent pas être trop dispersées, Il est donc logique qu'il soit rattaché autant que faire se peut à la fonction Support Technique des opérations. Le laboratoire a pour vocation les tâches suivantes :

- Vérifier la qualité des produits expédiés, huile, gaz et condensats.
- Participer à la surveillance et au contrôle d'efficacité des différents traitements, Désémulsifiants, bactéricides, anticorrosion, anti-dépôts, etc.
- Contribuer au maintien de la qualité de l'environnement en analysant les eaux de rejet.
- Contribuer à la sélection des produits chimiques de traitement et au contrôle de leurs qualités et performances.
- Aider à la connaissance de la composition des fluides de production pour permettre à l'exploitant de suivre le bon fonctionnement des puits, la bonne marche des procédés de traitement et d'évacuation des fluides produits. [30]



Figure II.09 : Appareil de la mesure de Tension de Vapeur Reid (TVR)

II.7 Les unités de production

II.7.1 l'unité de distillation atmosphérique (Topping)

Cette unité est conçue pour traiter 600 000 tonnes de brut par an (sa capacité limite est de 700 000 tonnes / an tandis que sa capacité minimale est de 420 000 tonnes/an). Principales spécifications du brut traité : Densité à 20°C = 0.834 g/l, teneur en NaCl : 8 mg/l , teneur en soufre :

0.14% acidité : 0.04 mg KOH/g . Au vu de ces spécifications, le brut traité est classé comme étant un brut aromatique à faible teneur en soufre. [30]



Figure II.10 : L'unité de distillation atmosphérique

Tableau II.8 : Processus de l'Unité distillation atmosphérique (Topping) [30]

Étape	Description
Préchauffage du brut	Le brut est pompé et préchauffé à travers plusieurs échangeurs (vapeurs, kérosène, gasoil, reflux) jusqu'à 126°C, puis subit un dessalement électrique en 3 dessaleurs. Ensuite, il est chauffé à 242°C et envoyé à la colonne de préflash.
Colonne de préflash	Le brut partiellement vaporisé entre au plateau 21 de la colonne C-201101. Les vapeurs vont vers le ballon de reflux D-201102, où une partie est recyclée et l'autre dirigée vers la colonne stabilisatrice.
Chauffage du brut	Après le préflash, le brut passe dans le four atmosphérique F-201101 (zone convection puis radiation) pour atteindre une température de 360°C.
Vapeur de stripping	Le four produit de la vapeur surchauffée (400°C, 0.3 MPa) utilisée pour le stripping au fond de la colonne atmosphérique et dans le stripper C-201103.

Colonne atmosphérique	Le brut entre au plateau 47 de la colonne C-201102. Les vapeurs de tête sont condensées puis envoyées vers le ballon D-201103. Les liquides : une partie est recyclée comme reflux, une autre envoyée vers le stockage (charge du reformage).
Produits soutirés	<ul style="list-style-type: none"> • 1st sideline : Kérosène • 2nd sideline : Gasoil léger • 3rd sideline : Gasoil lourd
Reflux internes	<ul style="list-style-type: none"> • ATM 1 : Premier reflux moyen • ATM 2 : Deuxième reflux moyen
Stabilisation finale	Le liquide issu du ballon de reflux est aussi envoyé vers la colonne stabilisatrice C-201201 pour traitement complémentaire.

II.7.2 l'Unité gaz plant (fractionnel section)

Tableau II.9 : Processus de l'Unité gaz plant (fractionnel section) [30]

Colonne	Description du procédé	Produits/Sorties
Dépropaniseur (C-201 202)	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentation depuis le ballon D-201 202 (LPG de distillation, reforming, craquage). • Préchauffage via échangeur E-201 206. • Entrée au plateau 27 à 70.6°C. • Condensation des vapeurs au condenseur E-201 207 vers ballon D-201 203. • Reflux partiel + alimentation du dééthaniseur. • Rebouillage par vapeur (1.0 MPa, 250°C), fond à 97.7°C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tête : vers dééthaniseur. • Fond : coupe butane → alimente dépentaniseur.
Deéthaniseur (C-201 203)	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentation par la phase liquide du ballon D-201 203. • Entrée au plateau 19 à 40°C. • Condensation des vapeurs au condenseur E-201 110 vers ballon D-201 204. • Reflux partiel, incondensables vers fuel gaz. • Rebouillage par eau chaude (115°C, 0.35 MPa). 	<ul style="list-style-type: none"> • Tête : Éthane. • Fond : Propane commercial → stockage (sphères).

	<ul style="list-style-type: none"> • Refroidissement du fond via E-201 112 (sortie à 40°C). 	
Dépentaniseur (C-201 204)	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentation depuis le fond du dépropaniseur. • Entrée au plateau 19 à 44.1°C. • Vapeurs condensées dans E-201 213, liquide + gaz dans ballon D-201 205. • Reflux partiel, gaz vers fuel gaz. • Rebouillage par vapeur au niveau de E-201 114 (83.3°C). • Refroidissement du fond via E-201 115. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tête : Butane commercial. • Fond : Naphta léger → unité reforming.

II.7.3 Unité reforming catalytique

L'unité reforming catalytique est conçue pour traiter la charge naphta produite par l'unité distillation atmosphérique. Les produits de l'unité sont essentiellement du carburant sans plomb à haut indice d'octane : NO=96 dénomme couramment : super sans plomb, des L.P.G, du naphta léger (light naphta), naphta raffiné (refined oil) : fond de C-202 202 (fond colonne d'évaporation), des gaz incondensables (combustible pour fours de l'unité) et de l'hydrogène (pour réactions du process). [30]

Tableau II.10 : Processus de l'Unité reforming catalytique

Opération	Description	Équipements principaux
Préfractionnement de la charge	Séparation du naphta en deux coupes : <ul style="list-style-type: none"> • Légère (point final 65°C) → ballon de reflux. • Lourde → fond de la colonne. 	Colonne de préfractionnement C-202 101
Purification de la charge	Élimination des impuretés (soufre, azote, halogènes, métaux) par hydrogénation avec H ₂ pour protéger le catalyseur. Réacteurs à lits catalytiques.	R-202 101 Et R-202 102
Reforming	Après purification et refroidissement, la charge entre dans la colonne d'évaporation. Les fractions légères sont	Colonne C-202 102, Ballon D-202 104

	séparées, le fond est dirigé vers la section de reforming.	
Stabilisation	Le produit du réacteur est refroidi, séparé puis stabilisé en carburant et GPL.	Réacteur R-202 201/4, Ballon D-202 201, Colonne C-202 201

II.7.3 Unité de craquage catalytique

L'unité craquage catalytique est la 3^{ème} unité de production de la raffinerie. Elle traite le résidu atmosphérique, sa capacité est de : 300 000 tonnes par an, elle produit du les essences, le gasoil léger, les G.P.L (L.P.G), le slurry et les gaz incondensables. [30]



Figure II.11 : L'unité RFCC

Tableau II.11 : Processus de l'Unité craquage catalytique

Section	Description	Principaux équipements / Produits
Section réactionnelle	Cœur du procédé. Le catalyseur circule en continu entre le réacteur (Rizer) et le régénérateur. Cycle rapide : réaction → séparation → stripping → régénération.	<ul style="list-style-type: none"> • Réacteur (Rizer, désengager, stripper) • Régénérateur • Chaudière à vapeur • Fumées vers cheminée
Section fractionnement primaire	Les produits craqués du réacteur sont séparés dans une colonne de préfractionnement :	<ul style="list-style-type: none"> • Colonne de préfractionnement

	<ul style="list-style-type: none"> • Vapeurs légères récupérées au ballon de tête • Gasoil léger soutiré latéralement après stripping • Slurry au fond utilisé en reflux ou filtré. 	<ul style="list-style-type: none"> • Slurry, gasoil léger, gaz craqués
Section absorption et stabilisation	Séparation et stabilisation des produits légers par des colonnes dédiées : <ul style="list-style-type: none"> • Absorption primaire et secondaire • Dééthaniseur (stripper) • Colonne stabilisatrice 	<ul style="list-style-type: none"> • Colonne d'absorption primaire et secondaire • Stripper (dééthaniseur) • Colonne de stabilisation
Section traitement des produits	Traitement des produits finis : <ul style="list-style-type: none"> • Traitement chimique : élimination des mercaptans (carburant, GPL) • Traitement physique : déshydratation (gasoil léger) 	<ul style="list-style-type: none"> • Unités de désulfuration et déshydratation • Produits traités selon spécifications

II.8 Service Stockage

Tableau II.12 : Service stockage des produits finis [30]

Produit	Capacité unitaire	Nombre de bacs / sphères	Références des bacs / sphères	Remarques
Kérosène	500 m ³	4	T-30305, T-30306, T-30307, T-30308	Stockage après raffinage
Gasoil	4000 m ³	4	T-30301, T-30302, T-30303, T-30304	Mélange de gasoil atmosphérique et FCC
L.P.G (Propane)	1000 m ³	2 (sphères)	T-30501, T-30502	Produit par la section Gaz Plant (fractionnement)
Fuel	300 m ³	4	T-30404, T-30405, T-30406, T-30407	Slurry FCC + slops lourds + gasoil non conforme (si besoin)
Naphta léger	500 m ³	1	T-3021	Produit issu de l'unité de reforming catalytique
Naphta raffiné	1000 m ³	1	T-30201	Utilisé pendant les démarrages

II.09 Département Sécurité

Le département de sécurité est divisé en 03 services :

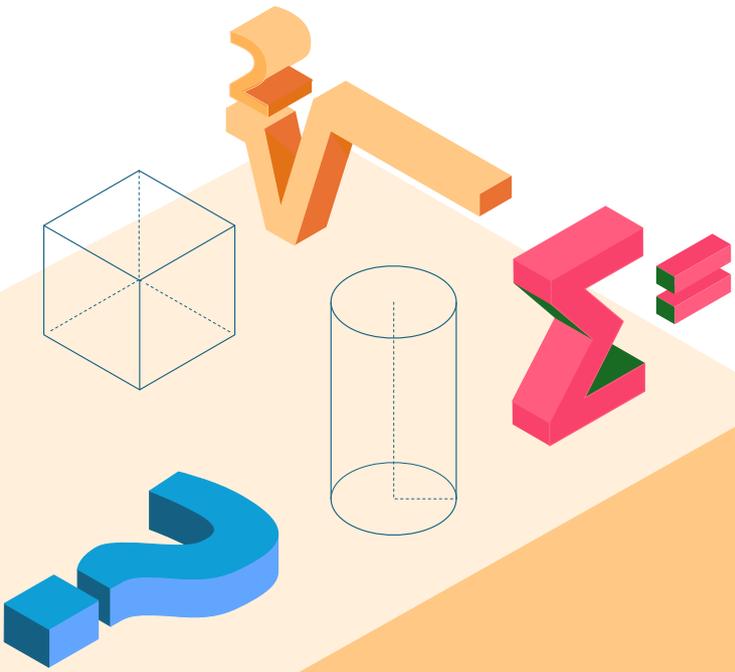
La prévention, l'intervention & environnement

II.10 Conclusion

Le stage pratique que nous avons passé à Asbaâ Adrar pendant 10 jours nous a permis de bien connaître la procédure utilisée pour la production de l'industrie, depuis sa sortie des puits jusqu'à ce qu'il devient un produit fini prêt à être utilisé, en passant par divers équipements et installations industrielles. D'autre part, ce stage de mise en situation professionnelle nous a donné l'occasion de voir de près les éventuels risques qu'on peut rencontrer dans l'industrie de la raffinerie, d'où l'occasion de bien comprendre le fonctionnement des différents types d'installations ainsi que le rôle et l'importance de service finance et comptabilité et l'audit dans le contrôle et déroulement des différentes tâches économiques au niveau des entreprises.

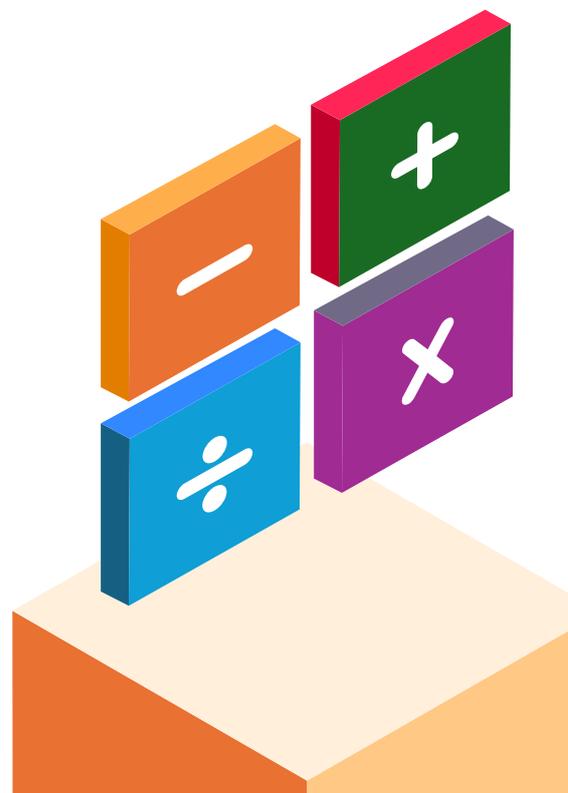
En conclusion de ce stage d'initiation, nous avons acquis une compréhension approfondie des relations au sein de l'entreprise. Cette expérience nous a permis d'appréhender de manière concrète les interactions entre les divers organes de l'entreprise, renforçant ainsi nos connaissances théoriques par une mise en pratique significative. Nous avons eu le privilège d'explorer divers principes de génération d'énergie, témoignant de la diversité des technologies utilisées dans le secteur.

L'opportunité de voir de près les processus de production d'électricité, de gestion de l'eau, de la maintenance ainsi que d'autres sources d'énergie, a été enrichissante. Cette immersion dans le monde professionnel a été pour nous une chance de démontrer notre motivation et notre capacité à appliquer efficacement nos connaissances théoriques dans des contextes réels.



CHAPITRE III

**LA PROGRAMMATION LINEAIRE
DANS LE RAFFINAGE**



III.1 Introduction

La Programmation Linéaire est une branche essentielle de la recherche opérationnelle. C'est un outil générique qui peut résoudre un grand nombre de problèmes d'optimisation. La programmation Linéaire relève des mathématiques de la recherche opérationnelle et à des applications en gestion ainsi qu'en économie, en statistique, en physique, chimique ...etc. Compte tenu de la complexité et de l'importance de l'industrie du raffinage, il est fondamental que cette activité soit rentable. De ce fait avoir un outil d'optimisation est indispensable pour aider à mieux percevoir la réalité, prendre la meilleure décision et mieux atteindre ainsi les objectifs que l'on s'est fixés. Pour cela on fait appel à la programmation linéaire qui constitue un outil de modélisation pour l'industrie du raffinage et qui permet : [24]

- D'établir des programmes de fabrication à moyen terme et à long terme,
- Permet d'obtenir des avantages tels qu'une meilleure qualité de conception ;
- D'optimiser des mélanges pour la constitution des produits commerciaux ;
- Un dépannage plus rapide et plus fiable et une prise de décision plus rapide ;
- D'optimiser les contrats d'approvisionnement en bruts ;
- De définir des échanges de produits pétroliers et de planifier les arrêts d'unités ;
- De guider la politique d'investissement d'une compagnie (nouvelles unités, impacts des nouvelles contraintes en matière d'environnement). [24]

III.2 Définition d'une programmation linéaire

En mathématiques, les problèmes de Programmation Linéaire (PL) sont des problèmes d'optimisation où la fonction objective et les contraintes sont toutes linéaires. La programmation linéaire désigne également la manière de résoudre les problèmes de PL. C'est un domaine central de l'optimisation, car les problèmes de PL sont les problèmes d'optimisation les plus faciles (toutes les contraintes y étant linéaires). Beaucoup de problèmes réels de recherche opérationnelle peuvent être exprimés comme un problème de PL.

Pour cette raison un grand nombre d'algorithmes pour la résolution d'autres problèmes d'optimisation sont fondés sur la résolution de problèmes linéaires. [25]

III.3 Evolution des applications de la programmation linéaire

Depuis 1969 la programmation linéaire est passée par plusieurs phases dans le domaine de la modélisation du raffinage, ces principales phases sont :

1969 : mise au point des premiers modèles statiques 'mono- raffinerie ;

1970 : élaboration des codes GEMME (pour la génération de matrices) et PIERRE (pour la génération des rapports) ;

1974 : mise au point des premiers modèles dynamiques d'investissement (modèle multi-raffineries et multi-périodes) ;

1975-1976 : les problèmes d'agrégations dans le raffinage approvisionnement et structure de raffinage; 1976-1977 : élaboration des modèles multi-périodiques « multi énergie »

1980-1981 : élaboration du sous modèle raffinage de mini-DMS énergie (équations du type économétrique) ;

1980-1982 : modèle multi-périodiques : raffinage et optimisation des utilités en raffinerie ;

1981-1985 : mise au point d'un modèle dynamique couplant la production du pétrole le raffinage, le gaz et l'électricité au Mexique. [14]

III.4 Les étapes de l'élaboration d'un modèle linéaire pour le raffinage

Les étapes de la modélisation peuvent être regroupées en cinq phases importantes à savoir : [14]

1) Définition de la problématique

C'est une phase au cours de laquelle le concepteur du modèle doit cerner avec précision :

- Définition de l'agrégat à modéliser.
- Définition de l'approche à utiliser mono-raffinage ou multi-raffinage, mono-période ou multi-période.

2) La collecte des données

Les données concernent la structure de la raffinerie, les approvisionnements et les marchés.

3) Ecriture et optimisation de la matrice

• La phase d'écriture :

Elle consiste en la formulation mathématique du modèle elle conduit à définir :

- Les variables du problème,
- L'expression de la fonction objective,
- L'expression des différentes contraintes techniques (de bilan matière, capacité, de qualité,)

• La phase d'optimisation :

Cette phase est purement technique car elle consiste en l'écriture du modèle par un code de programmation appropriée.

5) Génération du rapport :

Cette phase permet de présenter les résultats de l'optimisation sous forme de fichiers de sortie, facilitant au raffineur la lecture et l'interprétation des résultats. [14]

6) Calage et simulation :

L'étape du calage permet de simuler les différentes hypothèses liées aux données utilisées. Le calage permet de vérifier la validité des données utilisées, et donc la validité du modèle, et ceci en comparant les résultats donnés par le modèle avec la réalité de la raffinerie.

III.5 Les conditions de formulation d'un PL

La programmation linéaire comme étant un modèle admet des hypothèses (des conditions) que le décideur doit valider avant de pouvoir les utiliser pour modéliser son problème.

Ces hypothèses sont : Les variables de décision du problème sont positives.

Le critère de sélection de la meilleure décision est décrit par une fonction linéaire de ces variables, c'est à dire, que la fonction ne peut pas contenir par exemple un produit croisé de deux de ces variables.

- La fonction qui représente le critère de sélection est dite fonction objectif (ou fonction économique).
- Les restrictions relatives aux variables de décision (exemple : limitations des ressources) peuvent être exprimées par un ensemble d'équations linéaires. Ces équations forment l'ensemble des contraintes.
- Les paramètres du problème en dehors des variables de décisions ont une valeur connue avec certitude. [26]

III.6 Formulation d'un PL en raffinage

Pour obtenir un programme optimal, généralement il y a trois étapes à suivre pour pouvoir construire le modèle d'un programme linéaire :

1) Les variables de décisions :

Elles représentent les inconnues du problème, c'est-à-dire les quantités de brut à acheter et les quantités des produits intermédiaires au sein de la raffinerie, ainsi que les quantités de produits finis que la raffinerie va pouvoir produire.

2) Formulation de la fonction objective :

La formulation de la fonction objective dépend du but de l'optimisation, en d'autres termes pour la même raffinerie on peut formuler la fonction économique de plusieurs manières.

3) Expression des contraintes techniques

Les contraintes techniques sont relatives aux :

- Capacités de traitement des unités ;
- Processus de fabrication c'est-à-dire les bilans matière des différentes unités ;
- Qualités des produits ;
- Demande et offre des produits bilan de la demande. [14]

III.7 Exemple de formulation

Limité au départ aux problèmes industriels et militaires, de nos jours plusieurs problèmes de divers domaines sont représentés ou approximés par des modèles de PL. L'utilisation de ces techniques de modélisation s'est renforcée encore après avoir construit des algorithmes et des logiciels capables de résoudre de plus larges problèmes avec autant de variables de décision que de contraintes.

La tâche de formulation demande généralement une certaine expertise et connaissance du problème pour pouvoir relever facilement les différentes composantes du problème et ainsi donner un programme qui modélise au mieux la situation réelle. Dans ce qui suit, on présentera un exemple de formulation en programme linéaire liés à une production d'une raffinerie : [26]

Un programme linéaire en raffinage :

1) Variables de décision

Quantités des produits finis (en tonnes/j) ;

X_1 = quantité d'essence produite

X_2 = quantité de gazole produite

X_3 = quantité de GPL

X_4 = quantité de propane commercial

X_5 = quantité de butane commercial

2) Fonction objective

Exprime ce que l'on veut optimiser (Maximiser la marge nette Z) :

$$\text{Maximiser } Z = P_1X_1 + P_2X_2 + P_3X_3 + P_4X_4 + P_5X_5$$

P_1 : est le profit unitaire du produit fini (essence)

P_2 : est le profit unitaire du produit fini (gazole)

P_3 : est le profit unitaire du produit fini (GPL)

P_4 : est le profit unitaire du produit fini (propane commercial)

P_5 : est le profit unitaire du produit fini (butane commercial)

3) Les contraintes

les relations limitant le choix des valeurs possibles des variables :

Contraintes de capacité :

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 \leq \text{capacité de la raffinerie}$$

Demandes minimales :

$X_1 \geq$ demande minimale en essence

$X_2 \geq$ demande minimale en gazole

$X_3 \geq$ demande minimale en GPL

$X_4 \geq$ demande minimale en propane commercial

$X_5 \geq$ demande minimale en butane commercial

Équilibre des flux :

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 \leq \text{capacité totale}$$

Contraintes techniques :

Qualités des produits ;

Capacités de traitement des unités.

4) Conditions de non-négativité

$$X_i \geq 0 \text{ pour tout } i$$

i : le produit fini

III.8 Elaboration d'un programme mensuel pour la gestion d'une raffinerie

Pour la gestion d'une raffinerie il est primordial que le décideur dispose d'un outil de pilotage efficace, qui représente d'une manière fidèle et réactive l'évolution de l'environnement (gestion et optimisation). Un outil de pilotage efficace permet de prendre des décisions en temps réel afin de répondre d'une façon rapide aux perturbations suivantes :

- L'évolution de la demande des canaux structurels de ventes, que la raffinerie doit satisfaire de façon impérative ;
- Les changements sur le marché international pétrolier relatifs aux prix des bruts et des produits finis;
- Les ajustements occasionnels de prévisions de production liés au problème d'approvisionnement et aux unités de production.

D'approvisionnement et aux unités de production. Ainsi l'horizon sur lequel le programme de production est élaboré a une grande influence sur la capacité de réactivité de la raffinerie. En effet plus l'horizon des prévisions est important plus le risque d'erreur est grand d'où l'intérêt de considérer des périodes réduites. Par ailleurs, le marché des produits pétroliers concentre ses expéditions dans quelques jours par mois, ce qui nous a amené à opter pour un programme mensuel.

Par ailleurs, le marché des produits pétroliers concentre ses expéditions dans quelques jours par mois, ce qui nous a amené à opter pour un programme mensuel.

Un programme de production mensuel permet :

- De tirer des enseignements importants pour la bonne marche et la pérennité de la raffinerie.
- D'estimer les coûts de certains dysfonctionnements (sur qualités, arrêts imprévus, logistiques...) par comparaison de plusieurs programmes successifs passés a posteriori ;
- D'évaluer la représentativité de modèle, ce qui permet de porter des améliorations à la modélisation. [14]

On peut schématiser le modèle de gestion d'une raffinerie par la figure suivante :

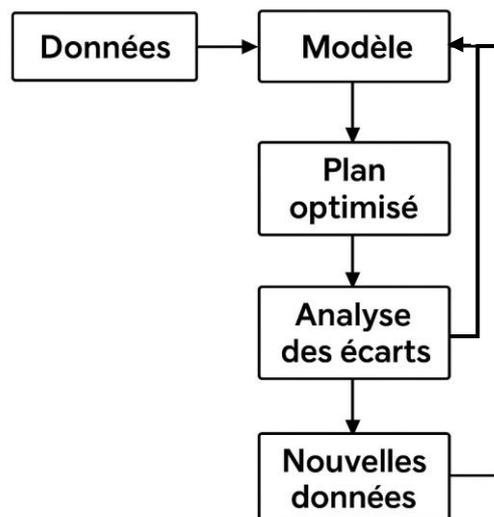


Figure III.01 Schéma simplifié de la gestion d'une raffinerie

III.9 Application dans un logiciel (MATLAB)

III.9.1 Définition générale de MATLAB

Système interactif de programmation scientifique pour le calcul numérique et la visualisation graphique, dont le nom est dérivé de Matrix Laboratory. C'est un outil multi-plates-

formes qui est disponible pour les environnements Windows, Unix (et dérivés BSD, Linux, Solaris, MacOS...). MATLAB est basé sur la représentation matricielle des données. Disponible sur plusieurs plateformes, cet outil se présente comme un environnement ouvert et programmable, permettant un gain de productivité important. Son langage de programmation relativement simple le rend accessible à une population et un public diversifié (chercheurs, étudiants, financiers, industriels...).[27]

III.9.2 Domaines d'application

MATLAB et Simulink (environnement de simulation graphique pour le logiciel MATLAB) sont des outils fondamentaux de modélisation et de simulation utilisés en recherche et développement dans tous les domaines de l'ingénierie et des sciences. Cela inclut des secteurs et des applications tels que l'automobile, l'aérospatiale, l'énergie, les dispositifs médicaux, les communications, l'électronique, les services financiers, l'automatisation et les machines industrielles, les sciences de la terre et de l'océan, ainsi que les biotechnologies et l'industrie pharmaceutique. [28]

III.9.3 Outils d'optimisation dans MATLAB

MATLAB propose plusieurs outils pour résoudre des problèmes d'optimisation :

linprog : pour la programmation linéaire ;

quadprog : pour la programmation quadratique ;

fmincon : pour les problèmes non linéaires avec contraintes ;

Optimization Toolbox : une boîte à outils spécialisée pour modéliser, résoudre et analyser des problèmes d'optimisation ;

Live Scripts et App Designer : pour créer des interfaces utilisateur interactives. [29]

III.10 Conclusion

En conclusion, la programmation linéaire est un outil mathématique efficace pour modéliser et optimiser les opérations de raffinage, permettant de prendre en compte les contraintes et objectifs spécifiques de chaque raffinerie. Elle permet de trouver le meilleur mélange de produits à produire, tout en minimisant les coûts et en respectant les contraintes de qualité et de demande.



CHAPITRE IV

CONSTRUCTION DU MODÈLE



IV.1 Introduction

La modélisation consiste à identifier les paramètres susceptibles d'expliquer le phénomène à analyser et à comprendre leurs interactions. La diversité de ces paramètres incite les analystes à utiliser des modèles pour illustrer une réalité plus complexe : c'est l'aspect simplificateur de la modélisation.

Dans ce chapitre, nous utiliserons les étapes développées principalement dans le chapitre précédent pour construire un modèle d'optimisation.

IV.2 Elaboration du modèle

Pour construire notre modèle, nous suivrons les étapes de développement d'un modèle linéaire définies dans le chapitre précédent.

IV.2.1 Définition de la problématique

1) Définition de l'agrégat à modéliser

Avant de définir l'agrégat à modéliser, il est important de rappeler le but de notre optimisation. Dans notre cas, l'objectif que nous nous sommes fixés était de trouver le meilleur plan de production pour la raffinerie d'Adrar afin de répondre à la demande du marché en termes de qualité et de quantité.

La partie de la raffinerie considérée est formée des unités de production suivantes :

- Un (01) unités de distillation atmosphérique (Topping) ;
- Un (01) unités de Gas-plants ;
- Un (01) unités de reformage catalytiques (CDU) ;
- Une (01) unité de craquage catalytique fluide résiduel (RFCC) ;
- Un (01) unités de la section de stabilisation. [30]

2) Définition de l'approche à utiliser

La méthodologie adoptée est l'approche à cycle unique, raffinerie unique, car l'objectif est d'obtenir un plan mensuel (cycle unique) pour la raffinerie d'Adrar (raffinerie unique). Les différentes unités sont représentées par des cases noires, et les flux d'entrée reçus par les unités peuvent être soit du pétrole brut, soit des produits intermédiaires, et de même, les flux de sortie peuvent être soit des produits finis, soit des produits intermédiaires (voir **Figure IV.1**).



Figure IV.1 : Présentation de l'unité à modéliser

IV.2.2 La collecte des données

Définir le problème vous permet de déterminer les données dont vous avez besoin Dans la construction de notre modèle ;

➤ Ces données impliquent :

- L'approvisionnement en pétrole brut ;
- La demande du marché en produits pétroliers ;
- Caractéristiques techniques de l'équipement : performances, capacité de traitement ; (Voir la présentation de la raffinerie d'Adrar)

➤ Les caractéristiques des produits pétroliers :

- Les caractéristiques des constituants qui rentrent dans la formulation des essences ;
- Les prix des produits finis ;
- Les coûts des produits intermédiaires et du pétrole brut.

IV.2.3 Ecriture de la matrice

IV.2.3.1 Définition des variables

Les variables à notre modèle représentent les quantités des produits bruts, des produits intermédiaires et des produits finis.

La codification des variables, ainsi que les rendements sont données dans le **tableau IV.1**.

Pour pouvoir décoder les variables sans grande difficulté nous avons opté pour une codification en quatre lettres et parfois en cinq lettres.

IV.2.3.2 Définition des contraintes

- Les contraintes du modèle représentent :
- Les bilans matières ;
- Les contraintes de qualité ;
- Les contraintes de capacité de traitement des unités ;

- Les contraintes concernant la demande du marché ;
- Les contraintes de production d'énergie.

1) Bilan matière

L'établissement des contraintes du bilan matière consiste à écrire que la somme des flux entrants est égale à la somme des flux sortants.

2) Contraintes de qualité

Les contraintes de qualité dans notre cas concernent les essences, et le gasoil. En ce qui concerne les essences,

Les principales contraintes sont relatives à :

- La densité ;
- Le nombre d'octane ;
- La tension de vapeur Reid (TVR) ;
- La teneur en benzène ;
- La teneur en aromatiques ;
- La teneur en oxygène.

Pour le gasoil les principales contraintes de qualités sont :

La teneur en soufre ;

Le point d'inflammabilité ;

Le point de congélation.

3) Les contraintes de capacité de traitement des unités

Ces contraintes traduisent le fait que la charge d'une unité est limitée et ne peut dépasser un certain seuil et cela pour des raisons de dimensionnement de l'unité, ce qui limite par conséquent son rendement en un produit donné.

4) Les contraintes concernant la demande du marché

Ces contraintes vont imposer les quantités des produits finis sont au moins égales aux quantités exigées par le marché.

5) Les contraintes de production d'énergie

Le fonctionnement des unités de raffinage du pétrole nécessite un approvisionnement en énergie. De plus, les produits énergétiques produits par les raffineries sont utilisés en tout ou en partie pour répondre aux besoins énergétiques.

IV.2.3.3 Définition de la fonction objective

Dans notre travail la fonction objective consiste à maximiser la marge de raffinage. Soit X_i , les produits issus de la raffinerie, et Y_j ; les produits intermédiaires et les produits bruts. Leurs coûts respectifs sont C_i ; et F_j . La fonction objective est donc $\text{Max} (C_i, X_i - F_j Y_j)$.

IV.3 Ecriture du modèle

IV.3.1 Ecriture des variables de décision

Tableau IV.01 : Les variables de décision

Variable	Définition
PB	Pétrole brut entrant dans l'unité de Topping
NCG	Gaz non condensable (Topping, Gaz plant, Stabilisation)
HF	Huile de tête de flash (Topping vers Stabilisation)
HATM	Naphta (Topping vers CRU)
CL1	Kérosène (coupe latérale 1 ATM, Topping)
CL2	Gasoil léger (coupe latérale 2 ATM, Topping)
CL3	Gasoil lourd (coupe latérale 3 ATM, Topping)
RATM	Résidu atmosphérique (Topping vers RFCC)
PRT	Pertes (Topping)
GPL_mixte	GPL mixte entrant dans Gaz plant
PC	Propane commercial (Gaz plant)
BC	Butane commercial (Gaz plant)
NPHL1	Naphta léger (Gaz plant)
PRT_gaz	Pertes (Gaz plant)
ESS_CRU	Essence stable (CRU)
GPL_CRU	GPL (CRU vers Gaz plant)
NPHL2	Naphta léger (CRU)
GC	Gaz combustible et pertes (CRU)
ESS_stab	Essence (Stabilisation)
GPL_stab	GPL (Stabilisation vers Gaz plant)
NPH	Naphta (Stabilisation)

PRT_stab	Pertes (Stabilisation)
ESS_RFCC	Essence (RFCC)
GPL_RFCC	GPL (RFCC vers Gaz plant)
GS	Gaz sec (RFCC)
GLD	Gasoil léger (RFCC)
POH	Pâte d'huile (RFCC)
PCO	Coke (RFCC)
PRT_RFCC	Pertes (RFCC)
ESS_total	Essence totale (ESS_CRU + ESS_Stab+ ESS_RFCC)

IV.3.2 Ecriture des rendements des unités

IV.3.2.1 Distillation atmosphérique

a) Rendement des unité topping

Le topping fractionne le pétrole brut en 7 coupes, ces coupes sont :

GPL , Naphta , Gaz process (C1; C2), JET A1, Gasoil léger, Gasoil lourd , Résidu.

Tableau IV.02 : Bilan matière dans la section de distillation atmosphérique [30]

N°.	Description	Entré et intervalle	Rendement %	Débit			Remarques
			Wt%	T /h	T/d	10 ⁴ t/a	
A	Entrée						
1	Pétrole brut		100.00	75.00	1800.00	60.00	
	Total		100.00	75.00	1800.00	60.00	
B	Sortie						
1	N° n-condensable Gaz		0.30	0.23	5.40	0.18	Gaz combustible
2	Huile de tête du flash		12.00	9.00	216.00	7.20	Stabilisation de la charge d'alimentation
3	Huile de tête de la colonne ATM	~165	9.24	6.93	166.32	5.54	Alimentation pour reforming
4	Coupe latérale 1 ATM	165~230	11.73	8.80	211.14	3.00	Aviation kérosène
						4.04	Diesel

5	Coupe latérale 2 ATM	230~300	12.51	9.38	225.18	7.51	Diesel
6	Coupe latérale 3 ATM	300~360	10.75	8.06	193.50	6.45	Diesel
7	Résidu ATM	>360	43.07	32.30	775.26	25.84	Alimentation pour craquage
8	Pertes		0.40	0.30	7.20	0.24	
	Total		100.00	75.00	1800.00	60.00	

IV.3.2.2 Gaz plant

L'unité de gaz plant utilisent le GPL mixte (gaz de pétrole Liquéfié) issu de la section de stabilisation, reformage (CDU), craquage catalytique (RFCC) :

Tableau IV.3 : Bilan matière dans la section de fractionnement des gaz [30]

N°	Description	Rendement %	Débit			Remarques
		Wt%	t/h	T/d	10 ⁴ t/a	
A	Entrée					
1	GPL (Gaz de pétrole liquéfié)	100	6.11	146.68	4.98	Mixed GPL (Gaz de pétrole liquéfié) issus de stabilisation reforming, cracking section
	Total	100	6.11	146.68	4.98	
B	Sortie					
1	N° n-condensable Gaz	0.82	0.05	1.20	0.04	Gaz combustible
2	Propane commercial	30.28	1.85	44.40	1.48	
3	Butane commercial	65.47	4.00	96.00	3.20	
4	Naphte léger	2.78	0.17	4.08	0.14	
5	Pertes	0.65	0.04	1.00	0.03	
	Total	100.00	6.11	146.68	4.89	

IV.3.2.3 Reformage catalytique

Dans la raffinerie d'Adrar on a une unité de reformage catalytique :

Tableau IV.4 : Bilan matière dans la section de fractionnement des gaz [30]

N°m		Taux de rendement en % pondéral	Données			Remarques
			kg/h	t/d	10 ⁴ t/a	
Alimentation	Naphte	100	14500	348	11.6	
	Total	100	14500	348	11.6	
Produits	Gaz combustible + pertes	10.32	1496	35.904	1.20	
	GPL (Gaz de pétrole liquéfié)	1.13	164	3.936	0.13	
	Naphte léger	18.78	2723	65.352	2.19	
	Essence stable	69.77	10117	242.808	8.09	
	Total	100	14500	348	11.6	

IV.3.2.4 La section de stabilisation

Tableau IV.5 : Bilan matière dans la section de stabilisation [30]

N°	Description	Rendement %	Débit			Remarques
		Wt %	T/h	T/d	10 ⁴ t/a	
A	Entrée					
1	Huile de tête du flash	100	9.00	216.00	7.20	
	Total	100	9.00	216.00	7.20	
B	Sortie					
1	N° n-condensable Gaz	0.22	0.02	0.48	0.016	Gaz combustible
2	GPL (Gaz de pétrole liquéfié)	15.83	1.43	34.20	1.14	charge d'alimentation de la fractionation du gaz
3	Naphte	83.83	7.55	181.08	6.04	Alimentation pour reformatage
4	Pertes	0.11	0.01	0.24	0.008	
	Total	100.00	9.00	216.00	7.20	

IV.3.2.5 L'unité RFCC

(RFCC = Residue Fluid Catalytic Cracking, soit « craquage catalytique fluide des résidus »)

Tableau IV.6 : Bilan matière de l'unité RFCC [30]

N° de série	Description	Valeur			Remarques
		W%	Kg/h	10 ⁴ t/a	
I	Matières premières				
	Résidu atmosphérique réduit	100	32300	25.84	
II	Produits				
1	Gaz sec	5.0	1615	1.29	
2	GPL (Gaz de pétrole liquéfié)	14.0	4522	3.62	
3	Essence	42.5	13728	10.98	
4	Gasol léger	23.0	7429	5.94	
5	Pâte d'huile	6.0	1938	1.55	
6	Coke	9.0	2907	2.33	
7	Pertes	0.5	162	0.13	
	Total	100.0	32300	25.84	

IV.3.3 Ecriture des contraintes

IV.3.3.1 Contraintes de bilan matière

L'écriture des contraintes du bilan matière consiste à établir que la somme des flux entrants d'une unité est égale à la somme des flux sortants.

1) Contraintes bilan matière d'unité Topping

Le topping est modélisé par une boîte noire, ayant comme intrant (input) le pétrole brut (BRHM) et comme extrants (outputs) les produits suivants :

- GPL ; Naphta ; Gaz process (C1 ; C2) ; JET A1 ; Gasol léger ; Gasol lourd ; Résidu.

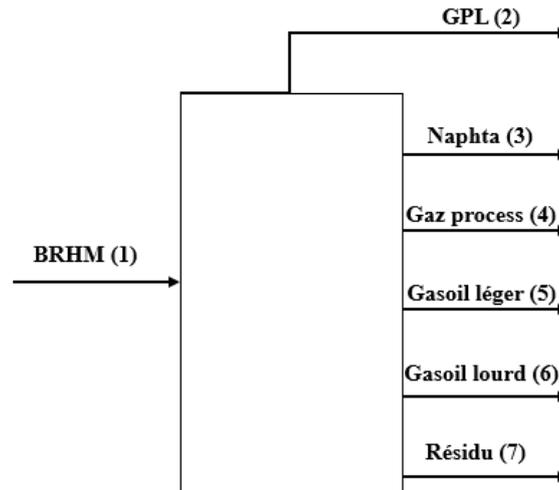


Figure IV.2 : Flux d'unité Topping

Les contraintes sont :

- $GPL + Naphta + Gaz\ process + (C1 ; C2) + JET\ A1 + Gasoil\ léger + Gasoil\ lourd + Résidu = BRHM$ (1)
- $GPL = rendement\ de\ GPL * BRHM$ (2)
- $Naphta = rendement\ de\ Naphta * BRHM$ (3)
- $Gaz\ process = rendement\ de\ Gaz\ process * BRHM$ (4)
- $Gasoil\ léger = rendement\ de\ Gasoil\ léger * BRHM$ (5)
- $Gasoil\ lourd = rendement\ de\ Gasoil\ lourd * BRHM$ (6)
- $Résidu = rendement\ de\ Résidu * BRHM$ (7)

2) Bilan matière de l'unité Gaz plant

L'unité de gaz plant est alimentée par le GPL mixte (gaz de pétrole Liquéfié) issu de la section de stabilisation, reformage (CDU), craquage catalytique (RFCC) ; les extrants de cette unité :

- Non condensable gaz (gaz combustible ou gaz process) ; Propane commercial ; Butane commercial ; Naphta léger ; Pertes.

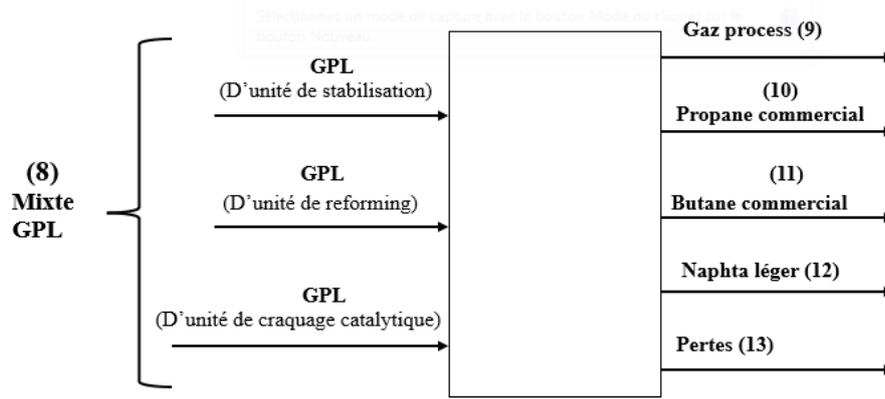


Figure IV.3 : Flux d'unité Gaz plant

Les contraintes sont :

- Entrée (mixte GPL) = GPL d'unité de stabilisation + GPL d'unité de reforming + GPL d'unité de craquage catalytique (8)
- Quantité de Non condensable gaz (gaz combustible ou gaz process) = rendement de Quantité de Non condensable gaz (gaz combustible ou gaz process) * (mixte GPL) (9)
- Quantité de propane commercial = rendement de propane commercial * (mixte GPL) (10)
- Quantité de butane commercial = rendement de butane commercial * (mixte GPL) (11)
- Quantité de naphta léger = rendement de naphta léger * (mixte GPL) (12)
- Quantité de pertes = rendement de pertes * (mixte GPL) (13)

3) Bilan matière de l'unité de reforming (CRU)

L'unité de reforming (CRU) est alimentée par le Naphta issu de la section distillation atmosphérique (CDU) ; les extrants de cette unité :

- Gaz combustible + pertes , GPL (gaz de pétrole liquéfié) , Naphta léger , Essence stable

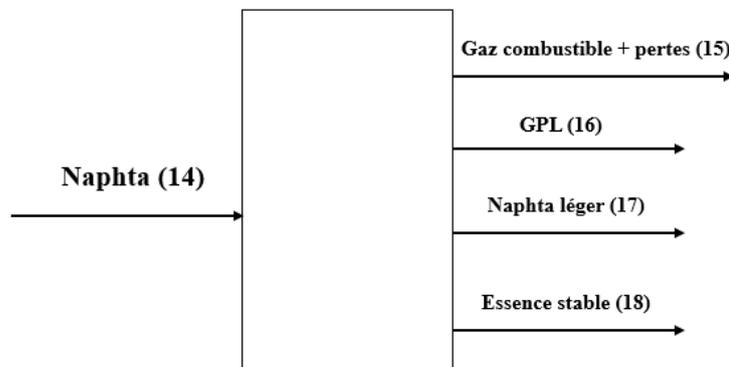


Figure IV.4 : Flux d'unité reforming (CRU)

Les contraintes sont :

- Naphta = Quantité de Gaz combustible + pertes + GPL (gaz de pétrole liquéfié) + Naphta léger + Essence stable (14)
- Quantité de Gaz combustible + pertes = rendement de Quantité de Gaz combustible + pertes * Naphta (15)
- Quantité de GPL (gaz de pétrole liquéfié) = rendement de Quantité de GPL (gaz de pétrole liquéfié) * Naphta (16)
- Quantité de Naphta léger = rendement de Naphta léger * Naphta (17)
- Quantité de Essence stable = rendement d'Essence stable * Naphta (18)

4) Bilan matière de l'unité de stabilisation

L'unité de stabilisation est alimentée par l'huile de tête de flash ; les extrants de cette unité:

- Non condensable gaz (gaz combustible ou gaz process) ,GPL (gaz de pétrole liquéfié) ,Naphta Pertes.

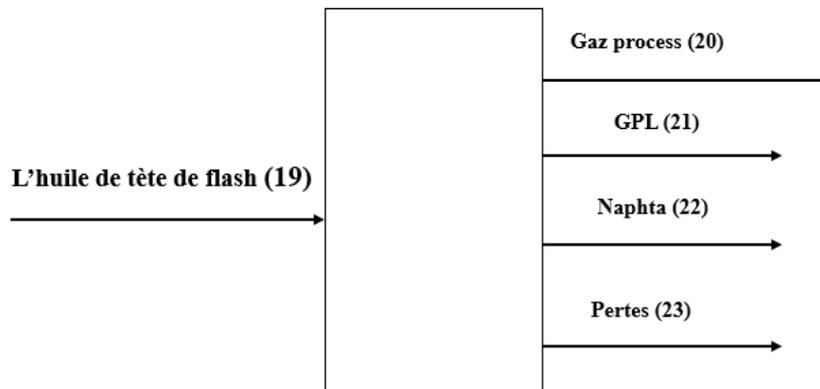


Figure IV.5 : Flux d'unité de stabilisation

Les constraints sont :

- L'huile de tête de flash = Non condensable gaz (gaz combustible ou gaz process) + GPL (gaz de pétrole liquéfié) + Naphta + Pertes (19)
- Quantité de Non condensable gaz (gaz combustible ou gaz process) = rendement de Non condensable gaz (gaz combustible ou gaz process) * Le huile de tête de flash (20)
- Quantité de GPL (gaz de pétrole liquéfié) = rendement de Quantité de GPL (gaz de pétrole liquéfié) * L'huile de tête de flash (21)
- Quantité de Naphta = rendement de Naphta * L'huile de tête de flash (22)
- Quantité de pertes = rendement de pertes * L'huile de tête de flash (23)

Bilan matière de l'unité de craquage catalytique (RFCC)

L'unité de craquage catalytique (RFCC) est alimentée par le résidu atmosphérique réduit les extrants de cette unité :

- Gaz sec ; GPL (gaz de pétrole liquéfié) ; Essence ; Gasoil léger ; Pâte d'huile ; Coke ; Pertes

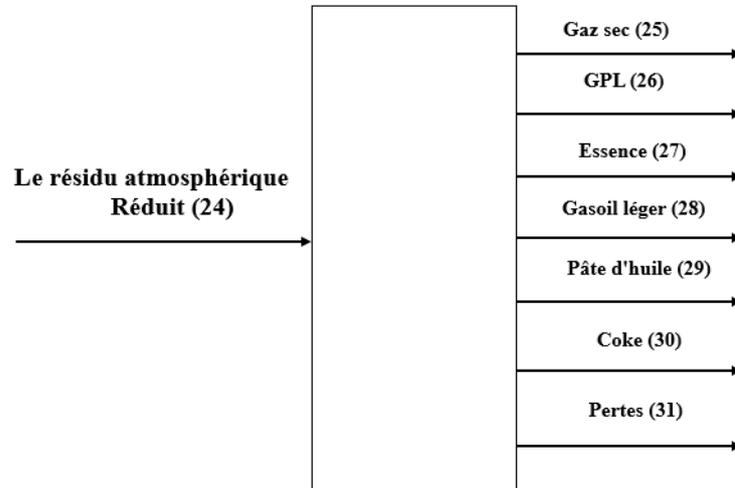


Figure IV.6 : Flux d'unité de craquage catalytique (RFCC)

Les contraintes sont :

- Le résidu atmosphérique réduit = Gaz sec + GPL (gaz de pétrole liquéfier) + Essence + Gasoil léger + Pâte d'huile + Coke + Pertes (24)
- Quantité de Gaz sec = rendement de Gaz sec * le résidu atmosphérique réduit(25)
- Quantité de GPL (gaz de pétrole liquéfier) = rendement de Quantité de GPL (gaz de pétrole liquéfier) * le résidu atmosphérique réduit (26)
- Quantité de Essence = rendement d'Essence * le résidu atmosphérique réduit (27)
- Quantité de Gasoil léger = rendement de Gasoil léger * le résidu atmosphérique réduit (28)
- Quantité de Pâte d'huile = rendement de Pâte d'huile * le résidu atmosphérique réduit (29)
- Quantité de Coke = rendement de Coke d'huile * le résidu atmosphérique réduit (30)
- Quantité de Pertes = rendement de Pertes * le résidu atmosphérique réduit (31)

IV.3.3.2 Contraintes de qualité

Dans notre cas les seules spécifications à respecter concernent les essences (normale, super, sans plomb). Les contraintes de qualité concernent les essences obéissant à la loi des mélanges en volume. De manière générale on écrit :

$$\sum_i t_i \frac{X_i}{d_i} \leq T \sum_i \frac{X_i}{d_i} \dots\dots\dots (32)$$

Pour respecter la borne supérieure d'une spécification :

$$\sum_i t_i \frac{X_i}{d_i} \geq T \sum_i \frac{X_i}{d_i} \dots\dots\dots (33)$$

Pour respecter la borne inférieure d'une spécification.

Où

t_i : spécification du constituant i.

T : spécification de l'essence considérée.

X_i : masse du constituant i (variable de décision).

d_i : densité du constituant.

La formule (32) devient :

$$\sum_i (t_i - T) \frac{X_i}{d_i} \leq 0 \dots\dots\dots (34)$$

La formule (33) devient :

$$\sum_i (t_i - T) \frac{X_i}{d_i} \geq 0 \dots\dots\dots (35)$$

➤ **Contraintes de densité**

Pour les contraintes de densité on écrit que la somme des quotients des quantités de chaque constituant sur la densité doit être comprise entre une borne inférieure et une borne supérieure :

$$\frac{\sum X_i}{D_{\max}} \leq \sum \frac{X_i}{d_i} \leq \frac{\sum X_i}{D_{\min}} \dots\dots\dots (36)$$

Avec

D_{min} : densité minimale de l'essence considérée ;

D_{max} : densité maximale de l'essence considérée.

➤ **Contrainte de TVR**

Les contraintes sur la TVR s'écrivent comme suit : Le respect de la spécification maximale se traduit par :

$$\sum_i TVR_i \frac{X_i}{d_i} \leq TVR_{\max} \sum_i \frac{X_i}{d_i} \dots\dots\dots (37)$$

Pour le respect de la spécification minimale on a :

$$\sum_i TVR_i \frac{X_i}{d_i} \geq TVR_{\min} \sum_i \frac{X_i}{d_i} \dots\dots\dots (38)$$

Les formules (37) et (38) deviennent respectivement :

$$\sum_i (TVR_i - TVR_{\max}) \frac{X_i}{d_i} \leq 0 \dots\dots\dots (39)$$

$$\sum_i (TVR_i - TVR_{\min}) \frac{X_i}{d_i} \geq 0 \dots\dots\dots (40)$$

Avec

TVR_i ; tension de vapeur Reid du constituant considéré ;

TVR_{\min} : tension de vapeur Reid minimale pour l'essence considérée ;

TVR_{\max} : tension de vapeur Reid maximale pour l'essence considérée.

➤ **Contraintes du nombre d'octane**

Les contraintes s'expriment comme suit :

$$\sum_i NO_i \frac{X_i}{d_i} \geq NO \sum_i \frac{X_i}{d_i} \dots\dots\dots (41)$$

$$\sum_i (NO_i - NO) \frac{X_i}{d_i} \geq 0 \dots\dots\dots (42)$$

Avec

NO_i : Indice d'octane du constituant i ;

NO : Indice d'octane du mélange ;

d_i : Densité du mélange i ;

Toutefois ce résultat n'est valable que si tous les constituants ont une teneur identique en plomb tétraéthyle (P.T.E) ce qui est notre cas car la teneur en P.T.E pour les constituants est de 0.15 g/l.

IV.3.3.3 Contraintes de capacité et Contraintes de la demande

Les contraintes de capacité expriment le fait que les unités de raffinage ne puissent pas traiter une charge qui est au-dessus de leur capacité nominale.

$$Cap(U_i) \leq L_i \dots\dots\dots (43)$$

Où :

L_i ($i=1...9$) désigne les limites de traitement des unités de la raffinerie ;

U_i ($i=1... 9$) désigne les unités de traitement ;

Cap désigne la capacité de traitement.

➤ Les contraintes de la demande des produits raffinés expriment le fait que la production doit être supérieure où égale à la demande du marché.

$$Q (X_i) \geq D_i \dots \dots \dots (44)$$

Où :

$Q (X_i)$ représente les quantités de produits finis ;

D_i : représente la demande des produits finis.

IV.3.4 Ecriture de la fonction objective

La fonction objective consiste à :

$$\text{Maximiser } Z = \sum_i C_i X_i \dots \dots \dots (45)$$

X_i : représente les quantités de produits finis ;

C_i : le prix de vente des produits fini

IV.4 Structures du modèle

➤ Nature et complexité du modèle

Le modèle mathématique élaboré est un modèle linéaire, cette linéarité est vérifiée pour toutes les contraintes.

➤ Nature des variables

Le modèle linéaire se formule en variables continues.

➤ Nombre de variables

Les variables du modèle représentent les flux des matières premières, les produits intermédiaires, et les produits finis.

Le nombre total de variables est de 26 variables.

➤ Nombre de contraintes

Les contraintes de bilan matière : **34**

Les contraintes de spécification de qualité : **12**

Les contraintes de demande : **07**

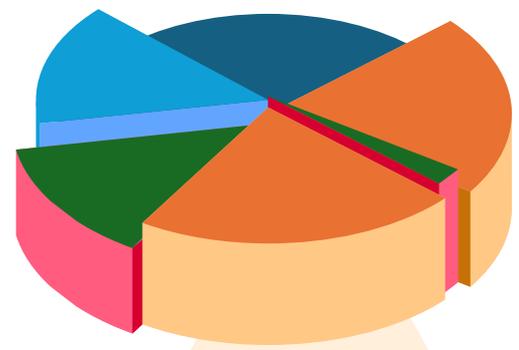
Les contraintes de capacité de production : **06**

Soit un total de 59 contraintes.

➤ Apport du modèle

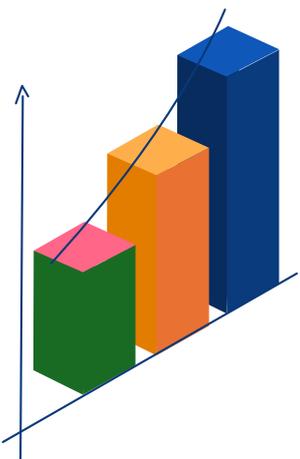
Le modèle construit est un modèle statique, il fournit un plan de production mensuel dans lequel on retrouve :

Les quantités de pétrole brut à transformés, Les quantités de produits intermédiaires, Les quantités de produits finis, Les coûts opératoires.



CHAPITRE V

**MISE EN ŒUVRE DU MODÈLE
ET ANALYSE DES RESULTATS**



V.1 Introduction

La phase de modélisation achevée, il est essentiel d'évaluer la pertinence et l'efficacité du modèle élaboré à travers une analyse approfondie des résultats obtenus.

Cette étape permet de traduire les données techniques et économiques en informations exploitables pour la prise de décision stratégique au sein de la raffinerie.

L'analyse qui suit se concentre sur plusieurs aspects clés de la production raffinée, notamment :

- Les quantités de produits finis générés par le modèle ;
- La composition du chiffre d'affaires, selon les types de produits obtenus ;
- La formulation des essences ainsi que l'estimation de leurs coûts de production respectifs ;
- La formulation du gasoil et l'évaluation de son coût de production.

V.2 Outil de résolution

Dans le cadre de ce travail, nous avons choisi d'utiliser le logiciel **MATLAB** en raison de sa puissance, de sa flexibilité et de sa large utilisation dans le domaine de l'ingénierie.

MATLAB permet de résoudre efficacement des problèmes complexes tels que la programmation linéaire, l'optimisation, l'analyse statistique, ainsi que la modélisation et la simulation de systèmes industriels. Plus précisément, la fonction **linprog** a été utilisée pour résoudre notre modèle d'optimisation linéaire.

V.3 La fonction objective

Dans notre travail la fonction objective consiste à maximiser la marge de raffinage.

Soit : $\sum C_i X_i$.

Les produits issus de la raffinerie X_i ;

Leurs prix respectifs sont C_i ;

La fonction objective est donc $\text{Max } \sum C_i X_i$.

Tableau V.1 : Prix de Vente des produits [30]

Le Produit	Prix de Vente (DA/TONNE)
GPL	15 000
Gas Process(C1,C2)	5000
Gasoil Léger	12 000
Gasoil Lourd	11 000

Propane	15 500
Butane	14 500
Naphta Léger	8 000
Essence Stable	13 000
Gas combustible	2000

V.4 Les contraintes

V.4.1 Les contraintes de bilan de matière

1) Unité de Topping (Distillation Atmosphérique)

Entrée : Pétrole brut (PB).

Sorties : GPL, Naphta, Gaz process (C1, C2), JET A1, Gasoil léger (CL2), Gasoil lourd (CL3), Résidu (RATM).

Contraintes :

$$\text{GPL} + \text{Naphta} + \text{Gaz process} + \text{JET A1} + \text{Gasoil léger} + \text{Gasoil lourd} + \text{Résidu} = \text{PB}$$

$$\text{GPL} = 0.003 \cdot \text{PB} \quad (0.30\% \text{ rendement})$$

$$\text{Naphta} = 0.0924 \cdot \text{PB} \quad (9.24\% \text{ rendement})$$

$$\text{Gazprocess} = 0.003 \cdot \text{PB} \quad (0.30\% \text{ rendement})$$

$$\text{JETA1} = 0.1173 \cdot \text{PB} \quad (11.73\% \text{ rendement})$$

$$\text{Gasoilléger} = 0.1251 \cdot \text{PB} \quad (12.51\% \text{ rendement})$$

$$\text{Gasoillourd} = 0.1075 \cdot \text{PB} \quad (10.75\% \text{ rendement})$$

$$\text{Résidu} = 0.4307 \cdot \text{PB} \quad (43.07\% \text{ rendement})$$

$$\text{Pertes} = 0.004 \cdot \text{PB} \quad (0.40\% \text{ rendement})$$

2) Unité Gaz Plant

Entrée : GPL mixte provenant des unités de stabilisation, reformage, et craquage catalytique.

Sorties : Non-condensable gaz (NCG), Propane commercial (PC), Butane commercial (BC), Naphta léger (NPHL), Pertes.

Contraintes :

$$\text{GPL}_{\text{mixte}} = \text{GPL}_{\text{stabilisation}} + \text{GPL}_{\text{reformage}} + \text{GPL}_{\text{craquage}}$$

$$\text{NCG} = 0.0082 * \text{GPL}_{\text{mixte}}$$

$$\text{PC} = 0.3028 * \text{GPL}_{\text{mixte}}$$

$$\begin{aligned} BC &= 0.6547 * GPL_{mixte} \\ NPHL &= 0.0278 * GPL_{mixte} \\ Pertes &= 0.0065 * GPL_{mixte} \end{aligned}$$

3) Unité de Reformage Catalytique (CRU)

Entrée : Naphta (HATM) issu de la distillation atmosphérique.

Sorties : Gaz combustible + pertes (GC), GPL, Naphta léger (NPHL2), Essence stable (ESS)

Équations :

$$\text{Naphta} = \text{GC} + \text{GPL} + \text{NPHL2} + \text{ESS}$$

$$\text{GC} = 0.1032 \text{ Naphta}$$

$$\text{GPL} = 0.0113 \text{ Naphta}$$

$$\text{NPHL2} = 0.1878 \text{ Naphta}$$

$$\text{ESS} = 0.6977 \text{ Naphta}$$

4) Unité de stabilisation

Entrée : Huile de tête de flash (HF).

Sorties : Non-condensable gaz (NCG), GPL, Naphta, Pertes.

Équation textuelle :

$$\text{HF} = \text{NCG} + \text{GPL} + \text{Naphta} + \text{Pertes}$$

Remarque :

Les rendements spécifiques ne sont pas détaillés dans le mémoire, mais ils suivraient une structure similaire.

5) Unité de Craquage Catalytique (RFCC)

Entrée : Résidu atmosphérique réduit (RATM).

Sorties : Gaz sec, GPL, Essence, Gasoil léger, Pâte d'huile, Coke, Pertes.

Équation textuelle :

$$\text{RATM} = \text{Gaz sec} + \text{GPL} + \text{Essence} + \text{Gasoil léger} + \text{Pâte d'huile} + \text{Coke} + \text{Pertes}$$

V.4.2 Contraintes de capacité

Les contraintes de capacité mensuelles des unités de la raffinerie d'Asbaâ Adrar, La raffinerie a une capacité annuelle de 600 000 tonnes sur 330 jours (environ 1818 tonnes/jour).

Les contraintes de capacité mensuelles (30 jours) sont exprimées en tonnes pour chaque unité, en supposant que la capacité journalière est maintenue sur un mois.

1) Unité de distillation atmosphérique (Topping) :

- **Capacité :** 1 800 tonnes/jour (p. 31).
- **Contrainte mensuelle :**

$$0 \leq PB \leq 1800 \times 30 = 54000 \text{ tonnes/mois}$$

Où **PB** est la quantité de pétrole brut traité.

2) Unité de gaz plant :

Capacité : 146,68 tonnes/jour de GPL mixte

- **Contrainte mensuelle :**

$$0 \leq \text{GPL}_{\text{mixte}} \leq 146,68 \times 30 = 4400,4 \text{ tonnes/mois}$$

$$\text{Où } \text{GPL}_{\text{mixte}} = \text{GPL}_{\text{stabilisation}} + \text{GPL}_{\text{reformage}} + \text{GPL}_{\text{craquage}}$$

3) Unité de reformage catalytique (CRU) :

- **Capacité :** 348 tonnes/jour de naphta
- **Contrainte mensuelle :**

$$0 \leq \text{Naphta} \leq 348 \times 30 = 10440 \text{ tonnes/mois}$$

Où **Naphta** est la quantité de naphta traité.

4) Unité de craquage catalytique (RFCC) :

- **Capacité :** 775,26 tonnes/jour de résidu atmosphérique (RATM) (43,07 % de 1 800 t/j).
- **Contrainte mensuelle :**

$$0 \leq \text{RATM} \leq 775,26 \times 30 = 23257,8 \text{ tonnes/mois}$$

Où **RATM** est la quantité de résidu atmosphérique traité.

5) Unité de stabilisation :

- **Capacité :** 216 tonnes/jour d'huile de tête de flash (HF)
- **Contrainte mensuelle :**

$$0 \leq \text{HF} \leq 216 \times 30 = 6480 \text{ tonnes/mois}$$

Où **HF** est la quantité d'huile de tête de flash traitée.

V.4.3 Contraintes de qualité

Tableau V.2 : Des indices de qualité pour l'essence (Raffinerie d'Asbaâ Adrar) [30]

Caractéristique	Symbole	Unité	Contrainte (Min - Max)	Norme/Référence	Commentaire
Indice d'octane recherche	RON	-	≥ 95 (RON 95) Ou ≥ 91 (RON91)	EN 228, CSR	Performance moteur pour essence super (RON 95) ou normale (RON 91).
Indice d'octane moteur	MON	-	≥ 85 (RON 95) Ou ≥ 82 (RON 91)	EN 228, CSR	Complémentaire au RON, résistance au cliquetis.
Tension de vapeur Reid	TVR	kPa	45-60 (Été) Ou 50-90 (Hiver)	EN 228, CSR	Ajustée au climat saharien, contrôle volatilité (p. 67, 81).
Teneur en soufre	S	mg/kg (ppm)	0-10	Euro V	Réduit émissions, norme algérienne depuis 2009.
Teneur en benzène	BENZ	% vol.	0-1	EN 228, CSR	Minimise toxicité, cité dans le mémoire (p. 67).
Hydrocarbures aromatiques	AROM	% vol.	0-35	EN 228	Équilibre performance et émissions (p. 67).
Teneur en oxygène	OXY	% masse	0-2,7	EN 228, CSR	Additifs oxygénés (ex. MTBE), améliore combustion (p. 67).
Densité à 15°C	D	g/cm ³	0,720-0,775	EN 228, CSR	Compatibilité moteur, contrainte citée (p. 67, 81).
Hydrocarbures oléfiniques	OLEF	% vol.	0-18	EN 228	Stabilité et réduction des dépôts moteur.

❖ Équations des contraintes de qualité mensuelles

1) Indice d'octane recherche (RON) :

$$95 \leq \frac{98 \cdot \frac{ESS_CRU}{0,760} + 90 \cdot \frac{ESS_RFCC}{0,740} + 85 \cdot \frac{ESS_stab}{0,720}}{\frac{ESS_CRU}{0,760} + \frac{ESS_RFCC}{0,740} + \frac{ESS_stab}{0,720}}$$

2) Indice d'octane moteur (MON) :

$$85 \leq \frac{88 \cdot \frac{ESS_CRU}{0,760} + 80 \cdot \frac{ESS_RFCC}{0,740} + 75 \cdot \frac{ESS_stab}{0,720}}{\frac{ESS_CRU}{0,760} + \frac{ESS_RFCC}{0,740} + \frac{ESS_stab}{0,720}}$$

3) Tension de vapeur Reid (TVR) :

$$45 \leq \frac{40 \cdot \frac{ESS_CRU}{0,760} + 55 \cdot \frac{ESS_RFCC}{0,740} + 65 \cdot \frac{ESS_stab}{0,720}}{\frac{ESS_CRU}{0,760} + \frac{ESS_RFCC}{0,740} + \frac{ESS_stab}{0,720}} \leq 60$$

4) Teneur en benzène (BENZ) :

$$0 \leq \frac{0,5 \cdot \frac{ESS_CRU}{0,760} + 1,0 \cdot \frac{ESS_RFCC}{0,740} + 0,2 \cdot \frac{ESS_stab}{0,720}}{\frac{ESS_CRU}{0,760} + \frac{ESS_RFCC}{0,740} + \frac{ESS_stab}{0,720}} \leq 1$$

5) Hydrocarbures aromatiques (AROM) :

$$0 \leq \frac{30 \cdot \frac{ESS_CRU}{0,760} + 25 \cdot \frac{ESS_RFCC}{0,740} + 15 \cdot \frac{ESS_stab}{0,720}}{\frac{ESS_CRU}{0,760} + \frac{ESS_RFCC}{0,740} + \frac{ESS_stab}{0,720}} \leq 35$$

6) Teneur en oxygène (OXY) :

$$0 \leq \frac{2,0 \cdot ESS_CRU + 1,0 \cdot ESS_RFCC + 0,5 \cdot ESS_stab}{ESS_CRU + ESS_RFCC + ESS_stab} \leq 2,7$$

7) Densité (D) :

$$\frac{ESS_CRU + ESS_RFCC + ESS_stab}{0,775} \leq \frac{ESS_CRU}{0,760} + \frac{ESS_RFCC}{0,740} + \frac{ESS_stab}{0,720} \leq \frac{ESS_CRU + ESS_RFCC + ESS_stab}{0,720}$$

V.4.4 Contrainte de demande :

Les contraintes de demande minimale spécifient les quantités minimales à produire pour répondre à la demande du marché.:

1. Propane (PC) :

$$PC \geq 1000 \text{ t/mois}$$

Traduction : La production de propane doit être d'au moins 1000 tonnes par mois.

2. Butane (BC) : BC ≥ 2700 t/mois**3. Essence super (ESS_super) : ESS_super ≥ 833 t/mois**

4. **Essence normale (ESS_normale)** : $ESS_normale \geq 10000$ t/mois

5. **Kérosène (CL1)** : $CL1 \geq 2500$ t/mois

6. **Gasoil (GLD)** : $GLD \geq 10000$ t/mois

7. **Fuel oil (POH)** : $POH \geq 1000$ t/mois

V.5 Optimisation de plan de production

V.5.1 Plan de production actuel et chiffre d'affaires

Le tableau suivant présente :

- Les **quantités mensuelles** de production (en tonnes/mois), dérivées des quantités annuelles du Tableau II-1 (p. 32).
- Les **prix de vente** (en DA/tonne).
- Le **chiffre d'affaires** par produit (quantité mensuelle \times prix).
- Le **chiffre d'affaires total**.

Tableau V.3 : Quantités produites et du chiffre d'affaires mensuel par produit raffiné

Produit	Quantité annuelle (t/an)	Quantité mensuelle (t/mois)	Prix de vente (DA/t)	Chiffre d'affaires mensuel (DA)
Propane	20500	1708.33	15500	26479166.67
Butane	32500	2708.33	14500	39270833.33
Essence super	10000	833.33	13000	10833333.33
Essence normale	208300	17358.33	13000	225658333.3
Kérosène (Jet A1)	30000	2500	12000	30000000
Gasoil	238400	19866.67	12000	238400000
Fuel oil	13000	1083.33	10000	10833333.33
Total	552700	46058.33	-	581475000

V.5.2 Plan de Production optimale

L'optimisation du plan de production de la raffinerie d'Asbaâ Adrar en vous concentrant la maximisation du chiffre d'affaires des produits finis, tout en ignorant les contraintes de rendement et en respectant uniquement l'équation des bilans matière.

❖ Programme MATLAB

En utilisant MATLAB pour trouver le plan optimale (**voir l'annexes**).

La sortie MATLAB indique que l'optimisation a réussi avec un **chiffre d'affaires mensuel optimal** de **694 801 000 DA**.

Voici les points clés :

➤ Plan de production optimal :

- Propane (PC) : **1700,40 t/mois**
- Butane (BC) : **2700,00 t/mois**
- Essence super (ESS_super) : **833,00 t/mois**
- Essence normale (ESS_normale) : **35266,60 t/mois**
- Kérosène (CL1) : **2500,00 t/mois**
- Gasoil (GLD) : **10000,00 t/mois**
- Fuel oil (POH) : **1000,00 t/mois**
- Pertes (POS) : **0,00 t/mois**

1) Vérification du bilan entrée-sortie

$$PB = PC + BC + ESS_super + ESS_normale + CL1 + GLD + POH + POS$$

$$54000 = 1700,40 + 2700,00 + 833,00 + 35266,60 + 2500,00 + 10000,00 + 1000,00 + 0,00$$

Total sorties : 54000,00 t/mois, ce qui satisfait l'équation entrées = sorties.

2) Marge nette (référence)

Coût du pétrole brut : $8000 \times 54000 = 432\,000\,000$ DA.

Marge nette : $694\,801\,000 - 432\,000\,000 = 262\,801\,000$ DA, comme indiqué.

3) Comparaison avec le plan actuel

Chiffre d'affaires actuel : 581 475 000 DA. Différence : +113 326 000 DA (+19,5 %).

Marge nette actuelle : $581\,475\,000 - (8000 \times 50000) = 181\,475\,000$ DA.

Différence marge nette : $262\,801\,000 - 181\,475\,000 = +81\,326\,000$ DA (+44,8 %).

4) Observations

Le plan optimal maximise l'utilisation du pétrole brut (PB = 54000 t/mois, capacité maximale).

- Les produits à haute valeur (propane : 15500 DA/t, butane : 14500 DA/t) sont proches des limites (PC + BC = 4400,4 t/mois), avec 1700,40 + 2700,00 = 4400,4 t/mois.
- La production d'essence normale est significativement augmentée (+17908,27 t/mois) pour maximiser le chiffre d'affaires (13000 DA/t).
- Le gasoil est réduit à la demande minimale (10000 t/mois), car son prix (12000 DA/t) est inférieur à celui de l'essence.
- Les pertes sont nulles (POS = 0), ce qui maximise les produits vendables, mais pourrait être irréaliste sans rendements.
- Les contraintes de qualité (e.g., RON \geq 95, benzène \leq 1%) et de demande minimale sont satisfaites, sinon l'optimisation aurait échoué.

Tableau V.4 : Tableau du plan de production optimal

Produit	Quantité (t/mois)	Prix de vente (DA/t)	Chiffre d'affaires (DA)
Propane	1700.4	15500	26356200
Butane	2700	14500	39150000
Essence super	833	13000	10829000
Essence normale	35266.6	13000	458465800
Kérosène	2500	12000	30000000
Gasoil	10000	12000	120000000
Fuel oil	1000	10000	10000000
Pertes	0	0	0
Total	54000	-	694801000

Tableau V.5 : Tableau comparatif avec le plan actuel

Produit	Actuel (t/mois)	Optimal (t/mois)	Différence (t/mois)	CA Actuel (DA)	CA Optimal (DA)	Différence CA (DA)
Propane	1708.33	1700.4	-7.93	26479166.67	26356200	-122966.67
Butane	2708.33	2700	-8.33	39270833.33	39150000	-120833.33
Essence super	833.33	833	-0.33	10833333.33	10829000	-4333.33

Essence normale	17358.33	35266.6	17908.27	225658333.3	458465800	232807466.7
Kérosène	2500	2500	0	30000000	30000000	0
Gasoil	19866.67	10000	-9866.67	238400000	120000000	-113400000
Fuel oil	1083.33	1000	-83.33	10833333.33	10000000	-833333.33
Total	46058.33	54000	7941.67	581475000	694801000	113326000

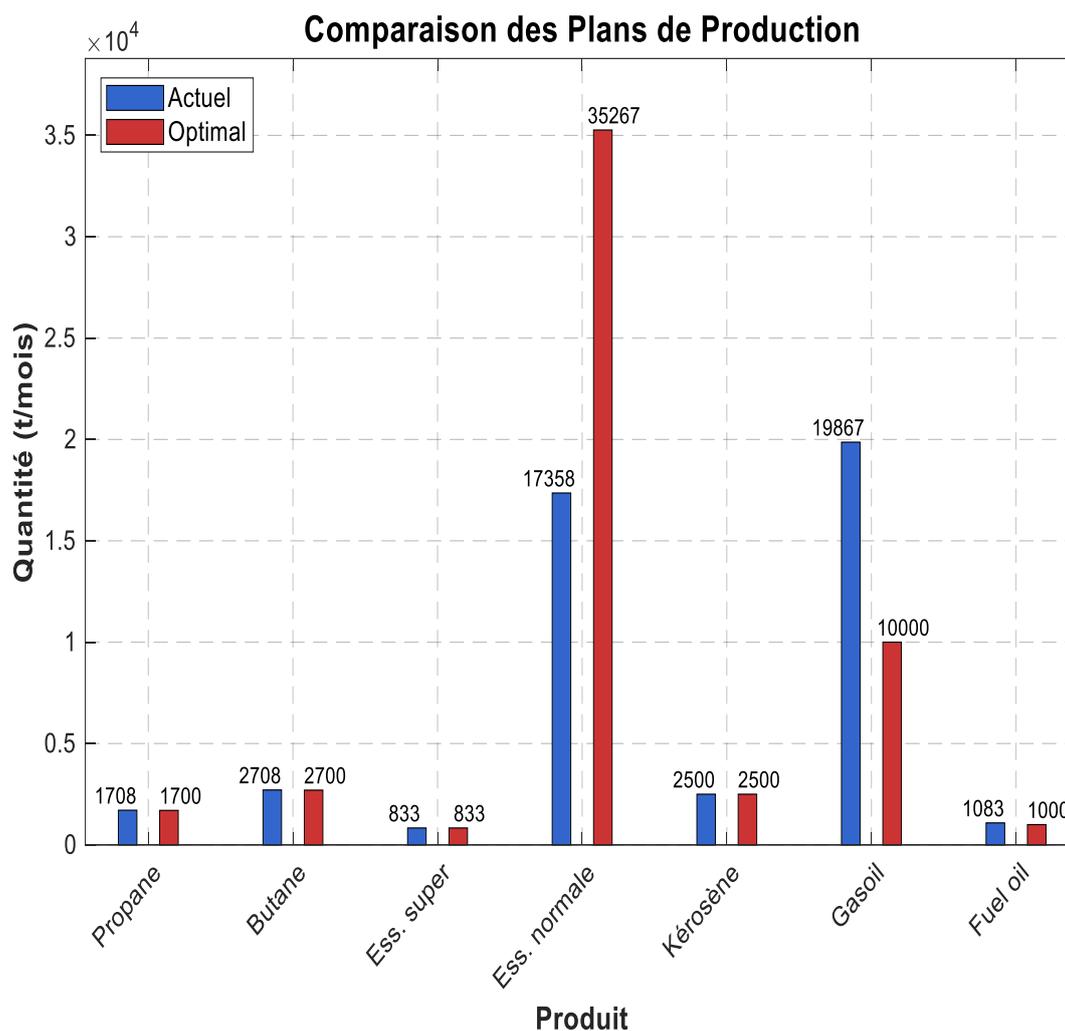


Fig.V.01 : Histogramme comparant les quantités actuelles et optimales

❖ **Interprétation des résultats**

Le graphique présente une comparaison entre les quantités actuelles et optimales (en kmol) de différents produits issus d’une raffinerie.

- **Optimisation ciblée sur l'essence normale** : le modèle cherche à maximiser sa production, probablement pour des raisons économiques (meilleure rentabilité ou demande accrue).
- **Réduction du gasoil** : le gasoil, actuellement produit en grande quantité, est réduit de moitié. Cela peut indiquer une réorientation stratégique vers des produits plus lucratifs ou plus demandés.
- **Stabilité des autres produits** : propane, butane, kérosène et fuel oil restent relativement constants, ce qui peut indiquer des contraintes de marché ou techniques.

L'optimisation met en évidence un rééquilibrage de la production de la raffinerie : elle privilégie fortement l'essence normale au détriment du gasoil. Cela pourrait améliorer la rentabilité globale tout en respectant les contraintes de capacité et de demande.

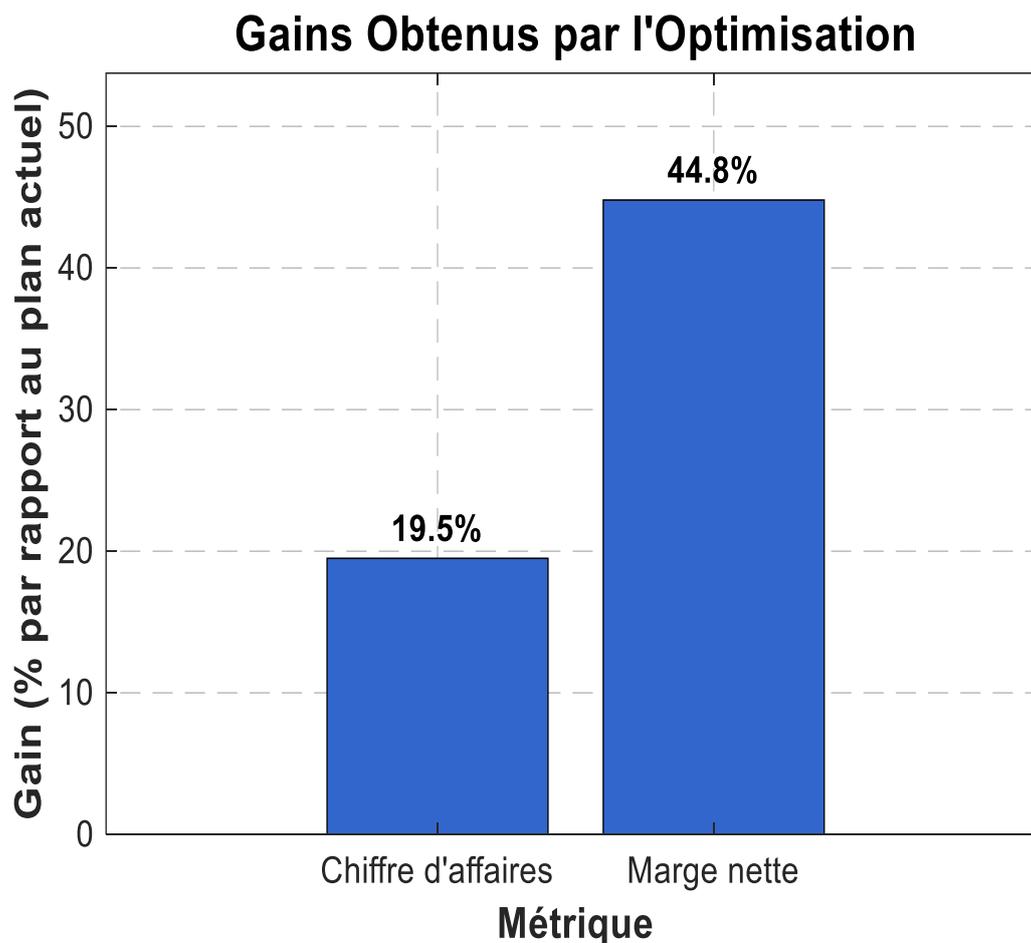


Fig.V.02 : Les gains obtenus par l'optimisation

❖ Interprétation des résultats

- **Impact positif de l'optimisation :** L'optimisation ne se limite pas à accroître les volumes, mais elle améliore surtout la rentabilité, comme en témoigne l'augmentation importante de la marge nette.
- **Effet levier de la stratégie de production :** Bien que le chiffre d'affaires n'augmente "que" de 19,5 %, la marge nette augmente de plus du double, preuve d'une stratégie de production bien pensée et axée sur la valeur.

L'optimisation proposée permet non seulement de générer plus de revenus, mais surtout de maximiser la rentabilité globale de la raffinerie. Elle valide l'intérêt d'un modèle d'optimisation basé sur la programmation linéaire pour guider les choix de production.

V.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons développé un modèle d'optimisation linéaire pour élaborer un plan de production mensuel optimal pour la raffinerie d'Asbaâ Adrar. Ce modèle a permis de structurer les flux de matières premières, produits intermédiaires et produits finis, en respectant les contraintes de bilan matière, de qualité (notamment pour les essences) et de capacité des unités de production.

La fonction objective, visant à maximiser la marge de raffinage, a été formulée en tenant compte des prix de vente des produits finis et des coûts des matières premières. L'implémentation du modèle dans MATLAB, à l'aide de la fonction linprog, a démontré une amélioration significative du chiffre d'affaires par rapport au plan de production actuel.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce mémoire a optimisé la planification de la production de la raffinerie d'Asbaâ Adrar, infrastructure clé pour les régions sud et sud-ouest de l'Algérie, via un modèle de programmation linéaire maximisant la marge de raffinage sous contraintes techniques, économiques et qualitatives. Le mémoire débute par une exploration des fondamentaux du raffinage, couvrant la composition du pétrole brut (hydrocarbures, propriétés physico-chimiques), les produits pétroliers (GPL, essences, gazole) et les procédés (distillation, craquage, reformage). Ensuite, il présente la raffinerie d'Asbaâ Adrar, son historique (créée en 2007, gérée par Sonatrach), sa capacité (600 000 t/an), ses unités (topping, reformage, craquage) et les bruts traités (OTRA, Hassi Ilatou). Le troisième segment introduit la programmation linéaire, ses étapes (variables, contraintes, objectif) et l'outil MATLAB (linprog). Enfin, le modèle linéaire optimise le plan de production mensuel, intégrant bilans matière, contraintes de qualité ($\text{RON} \geq 95$, tension de vapeur 45–60 kPa) et capacités (54 000 t/mois pour le topping). Implémenté dans MATLAB, il augmente le chiffre d'affaires de 19,5 % (694 801 000 DA) et la marge nette de 44,8 % (262 801 000 DA).

Le mémoire propose un modèle de programmation linéaire adapté à la raffinerie d'Asbaâ Adrar, intégrant bilans matière, contraintes de qualité (RON, tension de vapeur, densité) et capacités. Implémenté dans MATLAB, il accroît le chiffre d'affaires de 19,5 % (113 326 000 DA) et la marge nette de 44,8 % (81 326 000 DA), en optimisant la production d'essence normale (+17 908,27 t/mois) et l'utilisation du brut (54 000 t/mois). Cette méthodologie structurée, réutilisable pour d'autres raffineries, constitue un outil d'aide à la décision pour évaluer les stratégies de production et répondre aux demandes du marché. La documentation des bruts, produits et unités renforce sa pertinence pratique. En reliant théorie et défis industriels algériens, ce travail enrichit la recherche académique. Ce modèle favorise une gestion optimisée des ressources pétrolières algériennes. Évolutif, il peut intégrer des pratiques durables face à la transition énergétique, renforçant la sécurité énergétique nationale.



***B**BIBLIOGRAPHIQUE*



BIBLIOGRAPHIQUE

- [01] : Richard S. Kraus, (Encyclopédie de sécurité et de santé au travail , Partie XII. Industries chimiques et parachimiques , Chapitre 78 (Le raffinage du pétrole) , ilocis.org/fr
- [02] : Yves Barbier : Dictionnaire du pétrole. SCM. Paris . (1980)
- [03] : Levi P.G & J.M Cullen, 2018."Mapping global flows of chemicals: From fossil fuel feedstocks to chemical products" , Environmental Science and Technology, Vol. 52/4 , , p. 1725-1734.
- [04] : Éric TOCQUÉ et Christine TRAVERS. Technique de l'ingénieur « Pétrole », Editions T.I.
- [05] : The Future of Petrochemicals Towards more sustainable plastics and fertilisers rapport de 132 pages voir p 52 à 54, et notamment le chapitre "Air pollutants from primary chemical production".
- [06] : V.PROSKOURLAKOV et A.DRABKINE « La Chimie du Pétrole Et du Gaz », Editions MIR.MOSCOU.
- [07] : Jean –Pierre .WAUQUIER « Pétrole Brut, Produit Pétroliers, Schémas de Fabrication », Editions Technip. Tome 1, Paris (1994).
- [08] : ASTM D323-22, Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Reid Method), ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- [09] : Techniques de l'Ingénieur. (2017). Caractéristiques des produits pétroliers [K325].
- [10] : Demirdjian, H. (2006). Les carburants : une source d'énergie chimique. CultureSciences-Chimie.
- [11] : Chems Eddine CHITOUR « Raffinage, Les Propriétés Physique des Hydrocarbures et des Fractions Pétrolières », Editions de l'office des publications universitaires (1983).
- [12] : Raoufou BADAROU, Catherine SEDDOR, « Raffinage du pétrole et spécificités techniques de l'essence, Evolution des consommations actuelles d'essence, Passage aux essences sans plomb et répercussion pour les raffineries », Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Hydraulique du Bénin.

- [13] : ZAKNOUNE, Atika. Substitution du plomb par des additifs oxygénés dans les coupes pétrolières. Mémoire de Projet de Fin d'Études en Génie Chimique. Alger : École Nationale Polytechnique, 2003.
- [14] : Adiche, M. A.-Z., & Moknine, M. (2001). Optimisation de la production d'une raffinerie : Application Sonatrach, raffinerie de Skikda [Mémoire de fin d'études, École Nationale Polytechnique]. École Nationale Polytechnique.
- [15] : WUITHIER : Le pétrole, Raffinage et Génie chimie, Tome I, Deuxième édition Technip ; Paris 1972.
- [16] : AD BACHIR – AMOR BACHIR, optimisation des paramètres de fonctionnement d'un procédé de dessalage de l'unité traitement brut sud a Hassi Messaoud UTBS, (dessalage du pétrolé) [mémoire de master]. Biskra : université Biskra, faculté des sciences et de la technologie,2013.
- [17] : G. OTHMANINE et S. MUSTAFAEF : Calcul du Topping, Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie « FHC » ; Université A. BOUGUERRA, Boumerdes, 2000, p 6.
- [18] : RAMADHANE DIHAJ – HASSANE MAAMERI, Etude technologique sur les performances et les paramètres de dimensionnement des dessaleurs du pétrole brut au niveau de la raffinerie d'Adrar RA1D (le dessalage et les problème rencontrés) [mémoire de master]. Adrar : université Adrar, faculté des sciences et de la technolge,2019-2020.
- [19] : Manuel opératoire de l'Unité de Topping U11 (M-PROD-2), NAFTEC, Raffinerie de Skikda, 2015.
- [20] : ISO 15663-2, Industrie du pétrole et du gaz naturel 4 Estimation des coûts globaux de production et de traitement 4 Partie 2: Lignes directrices relatives à l'application de la méthodologie et aux méthodes de calcul.
- [21] : P. LEPERCHEC, M. THOMAS, B. FIXARI, M. BIGOIS, ACS preprints Division of petroleum chemistry, 34, 261, (1 989).
- [22] : SORACHIN REFINERY. (2008). Présentation de la Raffineries d' Asbaâ ADRAR.
- [23] : Le raffinerie de ADRAR (R1AD). Manuel opérations des unités RFCC ;CDU .CRU.
- [24] : J.P.FAVENNEC Exploitation et Gestion de la raffinerie, Edition Technip, Paris, 1994.

[25] : Ndiaye, B. M., & Baldé, M. A. M. T. (2021-2022). Cours de Recherche Opérationnelle. Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), Faculté des Sciences Économiques et de Gestion (FASEG), Département de Mathématiques de la Décision.

[26] : Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. (2020). Chapitre 1 : Formulation d'un programme linéaire. Faculté des Sciences Économiques, Commerciales et des Sciences de Gestion.

[27] : Jacques PRADO. (2019). Introduction à MATLAB. Techniques de l'Ingénieur. Réf : AF1450 v1

[28] : MathWorks – Présentation officielle MathWorks. (s.d.). Qu'est-ce que MATLAB ?

[29] : <http://www.mathworks.com/>

MathWorks. (n.d.). linprog - Solve linear programming problems.

MathWorks. (n.d.). quadprog - Solve quadratic programming problems.

MathWorks. (n.d.). fmincon - Find minimum of constrained nonlinear multivariable function.

MathWorks. (n.d.). Optimization Toolbox - MATLAB.

MathWorks. (n.d.). Live Scripts and App Designer.

[30] Données techniques et paramètres opérationnels fournies par la raffinerie d'Adrar

[31] : Le raffinerie de ADRAR(R1AD). Manuel opération des unités RFCC ; CDU .CRU.



***A**NNEXES*



ANNEXE

Annexe 01 :

Analyse N°: 29-2025		RESERVOIR			
Accord laboratoire du 12/04/2025					
PRODUIT : DIESEL		BAC N° 30304			
Proprietes		Unite	Specifications	Resultats	Normes
Densite 15/4		g/cm3	0.81 - 0.86	0.832	ASTM D 4052/ NA 417
Distillation					ASTM D 86/ NA 1445
65%		°C	250 Min	263	
90%		°C	360 Max	323	
PF			390 Max	369	
Viscosité à 40°C		cSt	min 2- max 9	2.30	ASTM D 445
Teneur en Soufre		% Poids	0,25 max	0.09	ASTM D 4294/ NA2890
Teneur en Cendre		% Poids	TND	TND	ASTM D 482/ NA1660
Teneur en Eau		% Vol	TND	TND	ASTM D 95/ NA421
Point d'éclair		°C	55 Min	57	ASTM D 93/ NA2658
température limite de filtrabilité (TLF)du 01/04 au 31/10		°C	(05) Max	/	ASTM D 6371
température limite de filtrabilité (TLF)du 01/11 au 31/03		°C	(-05) Max	-12.0	ASTM D 6371
Indice de cétane		/	48 Min	48.0	ASTM D 976/ NA8117
Carbone Conradson		% Poids	0,3 max	0.008	ASTM D 189

Fig 01 : Rapport d'Analyse Physico-Chimique du Diesel – Réservoir BAC N° 30304 Analyse N° 29-2025 effectuée le 12/04/2025 selon les normes ASTM (densité, distillation, viscosité, soufre, eau, point d'éclair, indice de cétane, etc.).

Annexe 02 :

Analyse N°: 17-2025		R E S E R V O I R		
Accord laboratoire du 11/04/2025				
PRODUIT : BUTANE		30505		
Proprietes	Unite	Specifications	Resultats	Normes
Odeur		Characteristiques	/	
Tension de vapeur relative a (50°C)	Bar	6.9 Max	5.34	ASTM D1267
Evaporation a 15°C	°C	95 Min a 1°C	-1.14	ASTM D1837
Densité 15/4	g/cm3	0.559 Min	0.585	ASTM D1657
Corrosion lame de cuivre-1Heure a (37.8°C)		1b	1a	ASTM D1838
Teneur en Eau		absence d' eau par decantation	no	
Composés sulfurés		doctor test negatif	Negatif	ASTM D4952

Fig 02 : Rapport de Caractérisation du Butane – Réservoir N° 30505 Analyse N° 17-2025 du 11/04/2025 comprenant la tension de vapeur, densité, évaporation, corrosion cuivre, teneur en eau, et test aux composés sulfurés selon les normes ASTM.

Annexe 03 :

Analyse N°:	33-2025					
Accord laboratoire du : 11/04/2025						
PRODUIT : ESSENCE Sans Plomb						RESERVOIR
						30207
Proprietes			Unite	Specifications	Resultats	Normes
Densite 15/4			g/cm3	0.720 - 0.775	0.745	ASTM D 4052
Tension de vapeur	01/11 au 31/03		Bar	0.800 Max	0.609	ASTM D 323
Tension de vapeur	01/04 au 31/10			0.650 Max		
Distillation						
10%			°C	70 Max	56	
50%			°C	140 Max	97	
95%			°C	195 Max	175	
PF			°C	210 Max	188	
Residu			%vol	2.0 Max	1.1	
Doctor test				Negatif	negatif	ASTM D 4952
Corrosion lame de cuivre- 3Heures a (50°C)				1b Max	1a	ASTM D 130
Gomme Actuelle			mg/100 ml	10 Max	und	ASTM D 381
Nombre d'Octane Recherche (RON)				91 Min	91.0	ASTM D 2699
Teneur en Plomb			g/l	0.020 Max	indetectable	ASTM D 3237
Teneur en Souffre			% Poids	0.1 Max	0.0070	ASTM D 5453

Fig 03 : Rapport de Contrôle Qualité de l'Essence Sans Plomb – Réservoir N° 30207 Analyse N° 33-2025 datée du 11/04/2025 incluant distillation, tension de vapeur saisonnière, indice d'octane RON, corrosion cuivre, teneur en soufre et plomb, et test Doctor.

Annexe 04 :

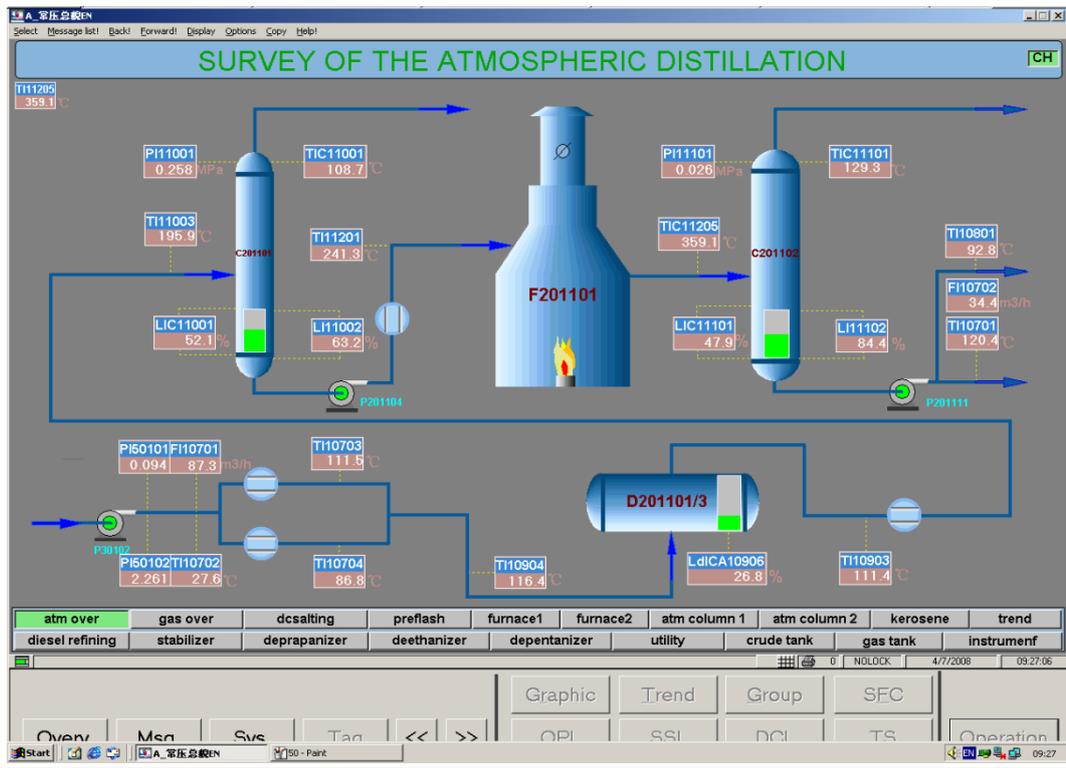


Fig 04 : une interface de supervision industrielle (HMI – Human Machine Interface) Vue d'ensemble de la distillation atmosphérique

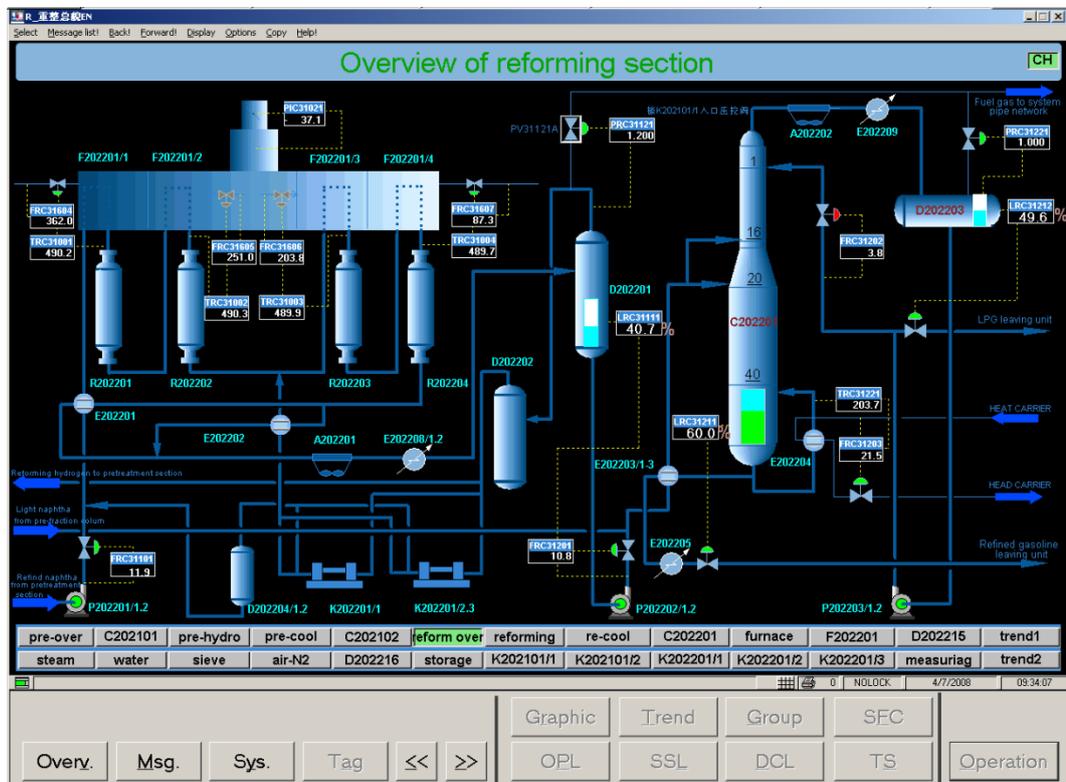


Fig 05 : Vue d'ensemble de la section de reforming

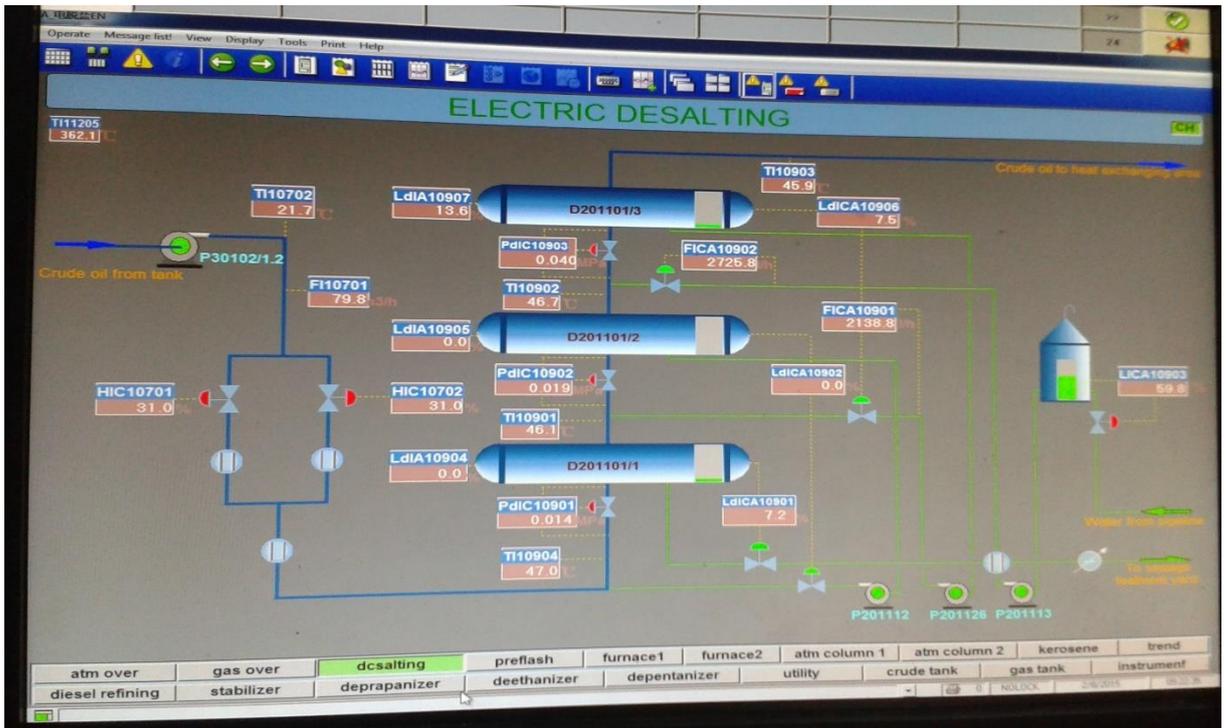


Fig 06 : Vue d'ensemble de dessalage électrique

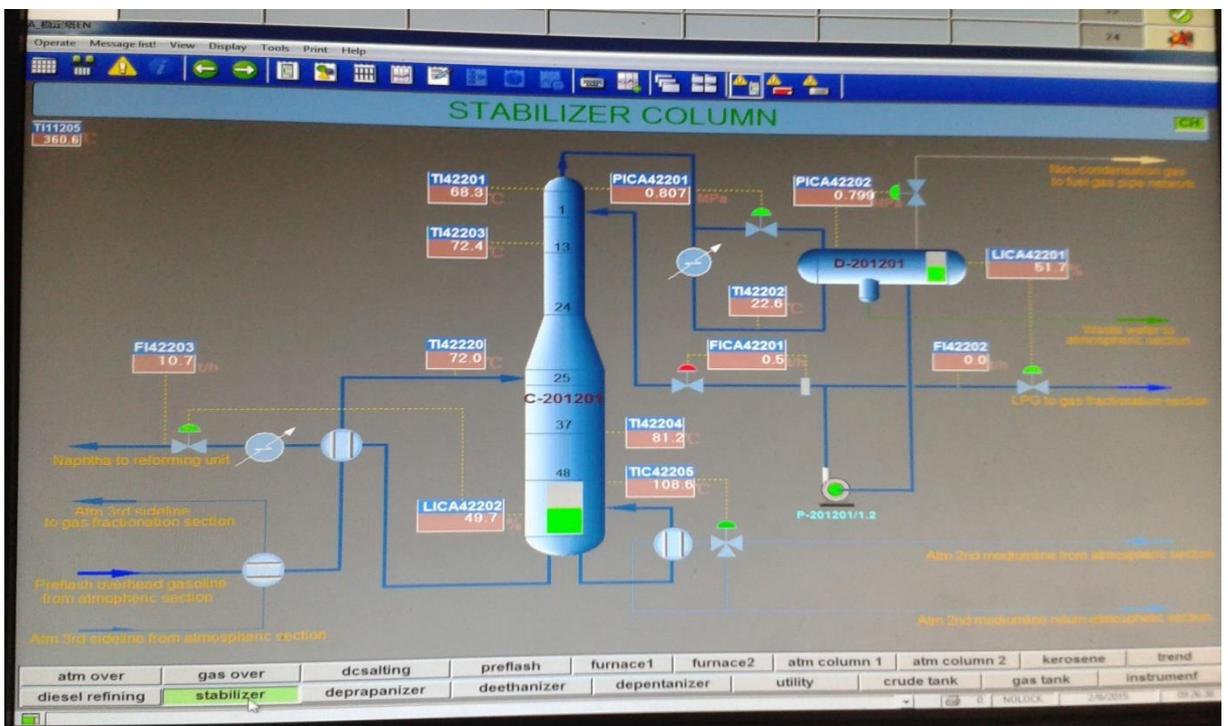


Fig 07 : Vue d'ensemble de colonne de stabilisation

Code source MATLAB

En Utilisant MATLAB pour trouver le plan Optimale

```
% Optimisation du plan de production de la raffinerie d'Asbaâ Adré
% Scénario 1 : Maximisation du chiffre d'affaires, sans contraintes de rendement
% Bilan : PB = PC + BC + ESS_super + ESS_normale + CL1 + GLD + POH + POS

clear all;
clc;

% --- Définition des variables ---
n_vars = 9; % PB, PC, BC, ESS_super, ESS_normale, CL1, GLD, POH, POS
var_names = {'PB', 'PC', 'BC', 'ESS_super', 'ESS_normale', 'CL1', 'GLD', 'POH',
'POS'};

% --- Fonction objectif (chiffre d'affaires) ---
C = [15500, 14500, 13000, 13000, 12000, 12000, 10000]; % PC, BC, ESS_super,
ESS_normale, CL1, GLD, POH
f = zeros(n_vars, 1);
f(2:8) = C; % PC, BC, ESS_super, ESS_normale, CL1, GLD, POH
f = -f; % linprog minimise, donc on prend l'opposé pour maximiser

% --- Contraintes d'égalité (bilan entrée-sortie) ---
Aeq = zeros(1, n_vars); % 1 équation
beq = zeros(1, 1);
Aeq(1, :) = [1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1]; % PB = PC + BC + ESS_super +
ESS_normale + CL1 + GLD + POH + POS

% --- Contraintes d'inégalité (capacité, demande, pertes, qualité simplifiée) ---
A = zeros(12, n_vars); % 2 capacité + 7 demande + 1 pertes + 2 qualité
b = zeros(12, 1);

% Capacités
A(1, 1) = 1; b(1) = 54000; % PB ≤ 54000 t/mois
A(2, [2, 3]) = [1, 1]; b(2) = 4400.4; % PC + BC ≤ 4400,4 t/mois

% Contraintes de demande minimale
A(3, 2) = -1; b(3) = -1000; % PC ≥ 1000 t/mois
A(4, 3) = -1; b(4) = -2700; % BC ≥ 2700 t/mois
A(5, 4) = -1; b(5) = -833; % ESS_super ≥ 833 t/mois
A(6, 5) = -1; b(6) = -10000; % ESS_normale ≥ 10000 t/mois
A(7, 6) = -1; b(7) = -2500; % CL1 ≥ 2500 t/mois
A(8, 7) = -1; b(8) = -10000; % GLD ≥ 10000 t/mois
A(9, 8) = -1; b(9) = -1000; % POH ≥ 1000 t/mois

% Pertes maximales
A(10, 9) = 1; b(10) = 0.04 * 54000; % POS ≤ 4% de PB_max (2160 t/mois)
% Contraintes de qualité simplifiées pour ESS_total = ESS_super + ESS_normale
% Hypothèse : ESS_total a RON = 95, benzène = 0.5%
A(11, [4, 5]) = [95 - 95, 95 - 95]; b(11) = 0; % RON ≥ 95
A(12, [4, 5]) = [0.5 - 1, 0.5 - 1]; b(12) = 0; % Benzène ≤ 1%

% --- Bornes ---
lb = zeros(n_vars, 1); % Non-négativité
ub = inf(n_vars, 1);
```

```

% --- Diagnostic: Vérification des coefficients ---
fprintf('Max coefficient dans f: %.2f\n', max(abs(f)));
fprintf('Max coefficient dans A: %.2f\n', max(abs(A(:))));
fprintf('Max coefficient dans Aeq: %.2f\n', max(abs(Aeq(:))));
fprintf('Vérification des contraintes d\'inégalité (A*x <= b):\n');
for i = 1:size(A, 1)
    fprintf('Contrainte %d: %s <= %.2f\n', i, mat2str(A(i, :), 3), b(i));
end
fprintf('\nVérification des contraintes d\'égalité (Aeq*x = beq):\n');
for i = 1:size(Aeq, 1)
    fprintf('Contrainte %d: %s = %.2f\n', i, mat2str(Aeq(i, :), 3), beq(i));
end

% --- Résolution ---
options = optimoptions('linprog', 'Display', 'iter');
[x, fval, exitflag, output] = linprog(f, A, b, Aeq, beq, lb, ub, options);

% --- Affichage des résultats ---
if exitflag == 1
    fprintf('Optimisation réussie. Chiffre d\'affaires mensuel : %.2f DA\n', -
fval);
    fprintf('\nPlan de production optimal (tonnes/mois) :\n');
    fprintf('Produit\t\tQuantité\n');
    fprintf('Propane\t\t%.2f\n', x(2));
    fprintf('Butane\t\t%.2f\n', x(3));
    fprintf('Essence super\t%.2f\n', x(4));
    fprintf('Essence normale\t%.2f\n', x(5));
    fprintf('Kérosène\t%.2f\n', x(6));
    fprintf('Gasoil\t\t%.2f\n', x(7));
    fprintf('Fuel oil\t\t%.2f\n', x(8));
    fprintf('Pertes\t\t%.2f\n', x(9));
    fprintf('Pétrole brut\t%.2f\n', x(1));

    % Comparaison avec le plan actuel
    plan_actuel = [1708.33, 2708.33, 833.33, 17358.33, 2500, 19866.67, 1083.33];
    produits = {'Propane', 'Butane', 'Essence super', 'Essence normale',
'Kérosène', 'Gasoil', 'Fuel oil'};
    fprintf('\nComparaison avec le plan actuel :\n');
    fprintf('Produit\t\tActuel\tOptimal\tDifférence\n');
    for i = 1:7
        fprintf('%s\t%.2f\t%.2f\t%.2f\n', produits{i}, plan_actuel(i), x(i+1),
x(i+1) - plan_actuel(i));
    end

    % Chiffre d'affaires et marge (pour référence)
    CA_optimal = -fval;
    CA_actuel = 581475000; % From previous response
    cout_PB = 8000 * x(1);
    marge_nette = CA_optimal - cout_PB;
    fprintf('\nChiffre d\'affaires optimal : %.2f DA\n', CA_optimal);
    fprintf('Chiffre d\'affaires actuel : %.2f DA\n', CA_actuel);
    fprintf('Différence CA : %.2f DA\n', CA_optimal - CA_actuel);
    fprintf('Marge nette (référence) : %.2f DA\n', marge_nette);
else
    fprintf('Erreur : Optimisation non réussie (exitflag = %d)\n', exitflag);
    fprintf('Message : %s\n', output.message);
    fprintf('Aucune comparaison possible car aucune solution faisible n\'a été
trouvée.\n');
end
end

```



Autorisation d'impression finale d'un mémoire de master

	Nom et prénom	Signature
Examineur 1	Dr. FAKHAR Bahmed	
Examineur 2	Dr. BENTARFA Djehad	
Encadrant	Dr. FIHAKHIR Amine Mehdi	
Co-encadrant	Dr. MANSOURI Khaled	

Soussigne Dr : TOUAITI Farid

Président de jury des étudiant (s) : OUARFLI Abdelbasset et DJERIFILI Mohammed Abdelwahab

Filière : Génie des procédés ; Spécialité : Génie chimique

Thème : Optimisation de la production d'une raffinerie Cas d'étude : Raffinerie d'Asbaâ Adrar Sonatrach

Autorise les étudiants mentionnés ci-dessus à imprimer et déposer leurs manuscrit final au niveau du département.

Ghardaïa le 09... 2025

Le président de jury

TOUAITI Farid

Le chef de département

