



## Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme Master 2 en Recherche Opérationnelle  
Option: Recherche Opérationnelle, Optimisation et Management Stratégique

---

# Optimisation de production d'unité distillation atmosphérique (cas raffinerie d'alger SONATRACH)

---

Réalisé par:  
Ouachek Ilyes  
Rih Oussama

Encadré par:  
Mme Ait Chaibane  
(SONATRACH)

Soutenu le 8 juillet 2023, Devant le jury composé de

Mme R.Fass : UMBB- Présidente  
Mme S.Barka: UMBB- Examinatrice  
Mme S Ouatiki: UMBB- Promotrice  
Mme K.Khodja: UMBB -co-Promotrice

Promotion: 2022/2023

## **Remerciements**

*Nous remercions Allah tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté et de nous avoir bénie jusqu'à la réalisation de ce travail.*

*Chers encadreuses (Mme Ouatiki et Mme Khodja), nous tenait à vous exprimer nos profondes gratitude pour votre précieuse guidance et votre soutien inestimable tout au long de l'élaboration de notre mémoire. Votre expertise, votre patience et votre dévouement ont été des atouts essentiels dans la réussite de ce projet. Merci infiniment pour votre confiance et vos encouragements constants.*

*On remercie vivement les membres de jury qui nous honore en jugeant notre mémoire de fin d'étude.*

*Nous remercions vivement Mme Ait Chaibane la précieuse aide et les conseils judicieux qu'elle nous a fournis au sein de SONATRACH. Ses remarque et suggestions pertinentes nous ont été des plus utiles.*

*Nous souhaitons également exprimer ma gratitude envers toute l'équipe pédagogique qui a facilité le déroulement de mon parcours académique. Votre dévouement, votre professionnalisme et votre soutien constant ont été des facteurs clés de ma réussite. Je suis reconnaissant(e) d'avoir pu évoluer dans un environnement aussi stimulant et propice à l'apprentissage.*

## ***Dédicace***

*A mes parentes qui ont toujours été là pour moi,*

*A mes frères et mes sœurs,*

*A mon oncle paternel Djilali,*

*A la mémoire de mon chère oncle maternel Boualame,*

*A mon oncle maternel Adel,*

*Je dédie ce travail*

*Oussama*

## ***Dédicace***

*je dédie ce mémoire :*

*A mon père disparu trop tôt, j'espère du monde qui sein maintenant il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'un fils qui a toujours prié pour le salut de son âme. Puisse Dieu, le tout- puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde.*

*A ma très chère mère à qui je dois tout ce que j'étais et tout ce dont je suis devenue, merci au fond de cœur pour son dévouement, sa disponibilité, et son action tout au long mes études.*

*A mes frères et mes sœurs qui m'ont beaucoup aidé.*

***ILYES***

# Table des matières

<b>Table des matières</b>	<b>iv</b>
<b>Table des figures</b>	<b>vii</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>ix</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Présentation de l'Entreprise</b>	<b>4</b>
1.1 Introduction . . . . .	5
1.2 Présentation de Sonatrach . . . . .	6
1.2.1 Ses missions . . . . .	7
1.2.2 Ses objectifs stratégiques . . . . .	7
1.2.3 Organisation . . . . .	7
1.3 Les Activités Opérationnelles . . . . .	10
1.3.1 <b>Exploration et production</b> . . . . .	10
1.3.2 Transport Par canalisations . . . . .	10
1.3.3 Liquéfaction et séparation . . . . .	10
1.3.4 Raffinage et pétrochimie . . . . .	10
1.3.5 Commercialisation . . . . .	10
1.4 Présentation des raffineries . . . . .	11
1.4.1 La raffinerie d'Alger . . . . .	11
1.4.2 La raffinerie d'Arzew . . . . .	11
1.4.3 La raffinerie de Skikda . . . . .	12
1.4.4 Le Complexe du Topping de Condensat . . . . .	12
1.4.5 La raffinerie de Hassi-Messaoud . . . . .	12

1.4.6	La raffinerie d'Adrar . . . . .	13
1.5	Présentation de la raffinerie d'Alger . . . . .	14
1.5.1	Historique et Situation Géographique . . . . .	15
1.5.2	Capacités de traitement . . . . .	16
1.5.3	Principales installations de la raffinerie . . . . .	16
1.6	Conclusion . . . . .	18
<b>2</b>	<b>les processus de raffinements</b>	<b>19</b>
2.1	Introduction . . . . .	20
2.2	Le Pétrole brut . . . . .	20
2.3	Historique du développement de raffinage . . . . .	20
2.4	Les procédés de raffinage du pétrole . . . . .	22
2.4.1	Le prétraitement du pétrole brut (Le dessalage) . . . . .	23
2.4.2	Les procédés de séparation du pétrole brut . . . . .	24
2.5	Conclusion . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Problématique</b>	<b>28</b>
3.1	Introduction . . . . .	29
3.2	Description du problème . . . . .	29
3.3	Contraintes liées au problème . . . . .	30
3.4	Objectifs ciblés . . . . .	30
3.5	Modélisation mathématique . . . . .	30
3.5.1	Paramètres du modèle . . . . .	30
3.5.2	Formulation des contraintes du problème . . . . .	31
3.6	Programme correspondant . . . . .	34
3.7	Taille du Problème . . . . .	34
3.7.1	Nombre de variable . . . . .	35
3.7.2	Nombre de contraintes . . . . .	35
3.8	Conclusion . . . . .	35
<b>4</b>	<b>Méthode de résolution et analyse des résultats</b>	<b>36</b>
4.1	Introduction . . . . .	37
4.2	La programmation Linéaire . . . . .	37
4.2.1	Formes d'un programmes linéaires . . . . .	37

---

4.3	Choix de la méthode de Résolution . . . . .	40
4.3.1	Méthode du Simplexe . . . . .	40
4.3.2	algorithme de simplexe . . . . .	42
4.4	Technologie Utilisée . . . . .	43
4.4.1	Python . . . . .	43
4.4.2	Gurobi solveur . . . . .	43
4.5	Installation des package . . . . .	44
4.6	Formulation du problème . . . . .	44
4.7	Résolution du problème . . . . .	44
4.8	Affichage des résultats . . . . .	45
4.9	Excel solveur . . . . .	46
4.9.1	Intégration de modèle dans le solveur . . . . .	50
4.10	Comparaison des résultats avec plan de production . . . . .	52
4.11	CONCLUSION . . . . .	53
	<b>Bibliographie</b>	<b>55</b>

# Table des figures

1.1	LOGO de sonatrach . . . . .	6
1.2	Organigramme de la macrostructure de SONATRACH. . . . .	9
1.3	Organisation de raffinerie d'alger (RA1G). . . . .	14
1.4	Vue aérienne de la raffinerie d'Alger RA1G. . . . .	16
1.5	Schéma simple des installations de la raffinerie d'Alger. . . . .	18
2.1	La chaîne pétrolière . . . . .	22
2.2	Procédé de dessalage (prétraitement) . . . . .	23
2.3	Procédé de distillation atmosphérique . . . . .	24
2.4	Schéma du procédé de distillation atmosphérique . . . . .	25
2.5	Procédé de distillation sous vide . . . . .	26
2.6	Schéma du procédé de distillation sous vide . . . . .	26
4.1	Formulation du problème d'optimisation linéaire . . . . .	44
4.2	Résolution du problème avec le solveur gurobi . . . . .	45
4.3	Affichage des résultats . . . . .	45
4.4	résultats de Le solveur Gurobi . . . . .	45
4.5	Etape 1 pour ajouter solveur . . . . .	47
4.6	Etape 2 pour ajouter solveur . . . . .	48
4.7	Etape 3 pour ajouter solveur . . . . .	48
4.8	Etape 4 pour ajouter solveur . . . . .	49
4.9	Déclaration de la variable de décision. . . . .	50
4.10	Définition des contraintes liée ou problème. . . . .	50
4.11	Définition de la fonction objectif . . . . .	50
4.12	type d'optimisation . . . . .	51
4.13	Choix de méthode de résolution. . . . .	51

---

4.14 Résolution du probleme . . . . . 51

# Liste des tableaux

1.1	Capacité et produits des raffineries . . . . .	13
1.2	Capacité de production annuelle de la raffinerie d'Alger. . . . .	16
4.1	Résultats de Le solveur Gurobi . . . . .	46
4.2	Résultats de Excel solveur . . . . .	52
4.3	Comparaison des résultats de gurobi solveur avec plan de production . . . . .	52
4.4	Comparaison des résultats de Excel solveur avec plan de production . . . . .	52

## Liste des abréviations

**PB** : Pétrole brut.

**GT** : Gaz torché.

**GPL** : Gaz de pétrole liquéfié produit.

**NS** : Naphta stabilisé.

**K1** : Kérosène 1.

**K2** : Kérosène 2.

**KD** : Kérosène déclassé.

**KS** : Kérosène stocké.

**LGO** : Gazoile léger.

**LGOS** : Gazoile stocké.

**FO** : Fuel oil.

**ADU** : Unité Distillation Atmosphérique

## Résumé

Cette étude vise à modéliser un problème d'optimisation à l'unité 100, qui est une unité de distillation atmosphérique, dans le but de maximiser la production de produits finis et semi-finis tels que le GPL, NS, K1, K2, LGO et FO. Après avoir examiné la nature des opérations de raffinage, il a été conclu que la programmation linéaire était l'outil le plus approprié pour cette modélisation.

Une fois le modèle mis en œuvre, un plan a été généré pour déterminer les quantités optimales de chaque produit au niveau de l'unité 100. Cela signifie que le modèle a fourni des recommandations sur la quantité de chaque produit à produire dans cette unité de distillation atmosphérique.

Après la mise en œuvre du modèle, nous avons obtenu un plan qui génère la quantité de chaque produit au niveau de l'unité 100.

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

Une raffinerie est une installation industrielle complexe conçue pour transformer le pétrole brut en produits pétroliers raffinés tels que l'essence, le diesel, le fioul, le kérosène et d'autres combustibles. Elle joue un rôle essentiel dans le processus d'extraction, de traitement et de distribution du pétrole, assurant ainsi l'approvisionnement en carburants et en produits pétrochimiques nécessaires à notre vie quotidienne. Le processus de raffinage du pétrole brut comprend plusieurs étapes clés, notamment la distillation, la conversion, le craquage, la réforme et le traitement des produits chimiques. Chaque étape vise à séparer, convertir ou modifier les différentes fractions du pétrole brut afin de produire des produits finis spécifiques, répondant aux normes de qualité et de performance requises. La raffinerie d'Alger est l'une des principales installations de raffinage en Algérie. Située dans la capitale du pays, Alger, elle joue un rôle essentiel dans la production de produits pétroliers destinés à répondre aux besoins énergétiques de l'Algérie. L'une des unités les plus importantes de la raffinerie d'Alger est l'Unité 100. Cette unité joue un rôle clé dans le processus de raffinage du pétrole brut. Elle est conçue pour effectuer plusieurs étapes cruciales, telles que la distillation atmosphérique, la désulfuration (l'élimination des composés sulfurés d'un matériau ou d'un gaz) et la production de différents produits pétroliers (GPL, NS, K1, K2, LGO, FO). L'unité 100 est joue un rôle important dans la raffinerie d'Alger, elle produit les matières premières pour trois autres unités (FO pour RFCC, NS pour MS block et GPL pour l'unité 300). Notre travail mené dans le milieu de raffinage, consiste donc à élaborer un modèle qui permet d'optimiser la production de l'unité de la distillation atmosphérique, appelée l'unité 100 tout en respectant les contraintes de qualité, les contraintes de stockage et celle du bilan matière. La contrainte qualité est mise en œuvre d'améliorer la qualité de certain produits par la déclassement de certain d'autre comme par exemple LGO (gazoile léger) est amélioré par le déclassement du kérosène 2, noté K2 . Celles les contraintes de stockage (stockage sont limité pour chaque produit) et la dernière contrainte que le modèle doit vérifier est celle de bilan matière qui consiste à la préservation des flux entrant et sortant du l'unité 100.

Ce travail est réparti comme suit :

Au premier chapitre, nous avons présenté l'entreprise SONATRACH, ainsi que la raffinerie d'Alger et ses unités.

Au second chapitre, nous avons expliqué comment le traitement du pétrole brut se déroule au niveau de la raffinerie.

Au troisième chapitre, nous avons traité la problématique, et les étapes à suivre pour la modélisation de la production au niveau d'unité 100.

Dans le quatrième chapitre, nous avons proposé les solutions adéquates à notre problème, ainsi que l'analyse des résultats.

# **Chapitre 1**

## **Présentation de l'Entreprise**

## **1.1 Introduction**

Dans ce premier chapitre nous allons présenter l'entreprise dans laquelle s'est effectué notre stage. Nous allons présenter l'organisation de SONATRACH et définir ses missions, en particulier l'activité de raffinage et de pétrochimie (La raffinerie d'Alger). De plus, ce chapitre présente les raffineries détenues par SONATRACH en Algérie. Ces raffineries jouent un rôle essentiel dans la transformation du pétrole brut en produits pétroliers tels que l'essence, le diesel, le fioul, le kérosène et le gaz de pétrole liquéfié (GPL). Chaque raffinerie est décrite brièvement, en mettant en évidence les principales unités et installations qui la composent.

Enfin, une attention particulière est portée sur la raffinerie d'Alger, qui fait partie de l'activité de raffinage et de pétrochimie de SONATRACH. Nous examinerons son historique, sa situation géographique et ses capacités de traitement. Les principales installations de la raffinerie d'Alger seront également présentées, mettant en évidence les unités clés et leur rôle dans le processus de production.

Ce chapitre fournit une base solide pour comprendre le fonctionnement et les activités de SONATRACH, ainsi que l'importance de ses raffineries dans la transformation des hydrocarbures en produits finis. Il jettera les bases nécessaires pour explorer plus en détail les aspects techniques et opérationnels de l'entreprise dans les chapitres suivants.

**SO** : Société

**NA** : Nationale

**Tra** : Transport

**C** : Commercialisation

**H** : Hydrocarbures

## 1.2 Présentation de Sonatrach

SONATRACH est une compagnie étatique algérienne et un acteur international majeur dans l'industrie des hydrocarbures. Le groupe pétrolier et gazier est classé 1er en Afrique et 12ème dans le monde en 2013, toutes activités confondues, avec un chiffre d'affaires à l'exportation de plus de 63 milliards de \$. Née le 31 décembre 1963, la compagnie intervient dans l'exploration, la production, le transport par canalisations, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Elle est 4ème exportateur mondial de GNL, 3ème exportateur mondial de GPL et 5ème exportateur de Gaz Naturel. Sonatrach se développe aussi bien dans les activités de génération électrique, d'énergies nouvelles et renouvelables, de dessalement d'eau de mer, de recherche et d'exploitation minière. Poursuivant sa stratégie d'internationalisation, SONATRACH opère en algérie et dans plusieurs régions du monde : Afrique (Mali, Niger, Libye, Egypte), Europe (Espagne, Italie, Portugal, Grande Bretagne), Amérique Latine (Pérou) et USA.



FIGURE 1.1 – LOGO de sonatrach

### **1.2.1 Ses missions**

Les missions dévolues à la SONATRACH vu son rôle moteur dans la dynamique du développement de l'économie du pays, tant en Algérie qu'à l'étranger sont [9] :

- La prospection, la recherche et l'exploitation d'hydrocarbures.
- L'exécution et le développement des gisements de pétrole et de gaz naturel.
- Contribution au développement national par la maximisation de la valeur à long terme des ressources hydrocarbures en Algérie.
- La construction, l'exploitation industrielle et commerciale de tous les moyens de transport d'hydrocarbures par voie terrestre.
- Le traitement et la transformation des hydrocarbures et des produits dérivés.
- L'approvisionnement des hydrocarbures et des produits dérivés du marché national et international.
- La transformation, le raffinage et la commercialisation des hydrocarbures.

### **1.2.2 Ses objectifs stratégiques**

Les objectifs stratégiques de SONATRACH sont :

- La maîtrise continue de ses métiers de base.
- Un partenariat authentique ainsi qu'une expansion internationale.
- Le renforcement de ses capacités technologiques et managériales.
- La diversification de son portefeuille d'activités.

### **1.2.3 Organisation**

Le nouveau schéma d'organisation de la macrostructure de Sonatrach vise à :

- Conforter la direction générale dans son rôle de conception de la stratégie d'orientation, de coordination, de pilotage et de management.
- Concentrer les structures opérationnelles pour une meilleure synergie en veillant à leur assu-

rer une meilleure efficacité.

- Permettre une décentralisation accompagnée d'une maîtrise des pouvoirs et d'une clarté en matière de responsabilités dans le cadre de procédures bien établies tout en renforçant le contrôle.
- Assurer la réactivité, la transparence et la fluidité de l'information nécessaire à la conduite et au pilotage des activités dans le but d'assurer l'efficacité globale de l'Entreprise.

La nouvelle macrostructure de l'entreprise est constituée de cinq (05) activités opérationnelles et onze (11) directions fonctionnelles :

### **a) Les Activités Opérationnelles**

Les activités opérationnelles de SONATRACH sont :

- (1) L'activité exploration - production (EP).
- (2) L'activité liquéfaction et séparation (LS).
- (3) L'activité raffinage et pétrochimie (RP).
- (4) L'activité transport par canalisations (TRC).
- (5) L'activité commercialisation (COM).

### **b) Les Directions Fonctionnelles**

#### **• Direction corporate**

- (1) Stratégie, planification économie (SPE).
- (2) Finances (FIN).
- (3) Ressources humaines (RHU).
- (4) Business développement marketing.

#### **• Direction centrale**

- (1) Procurement logistique.
- (2) Ressources nouvelles.

- (3) Juridique (JUR).
- (4) Digitalisation système d'information.
- (5) Engineering project management.
- (6) Santé sécurité environnement
- (7) Recherche développement

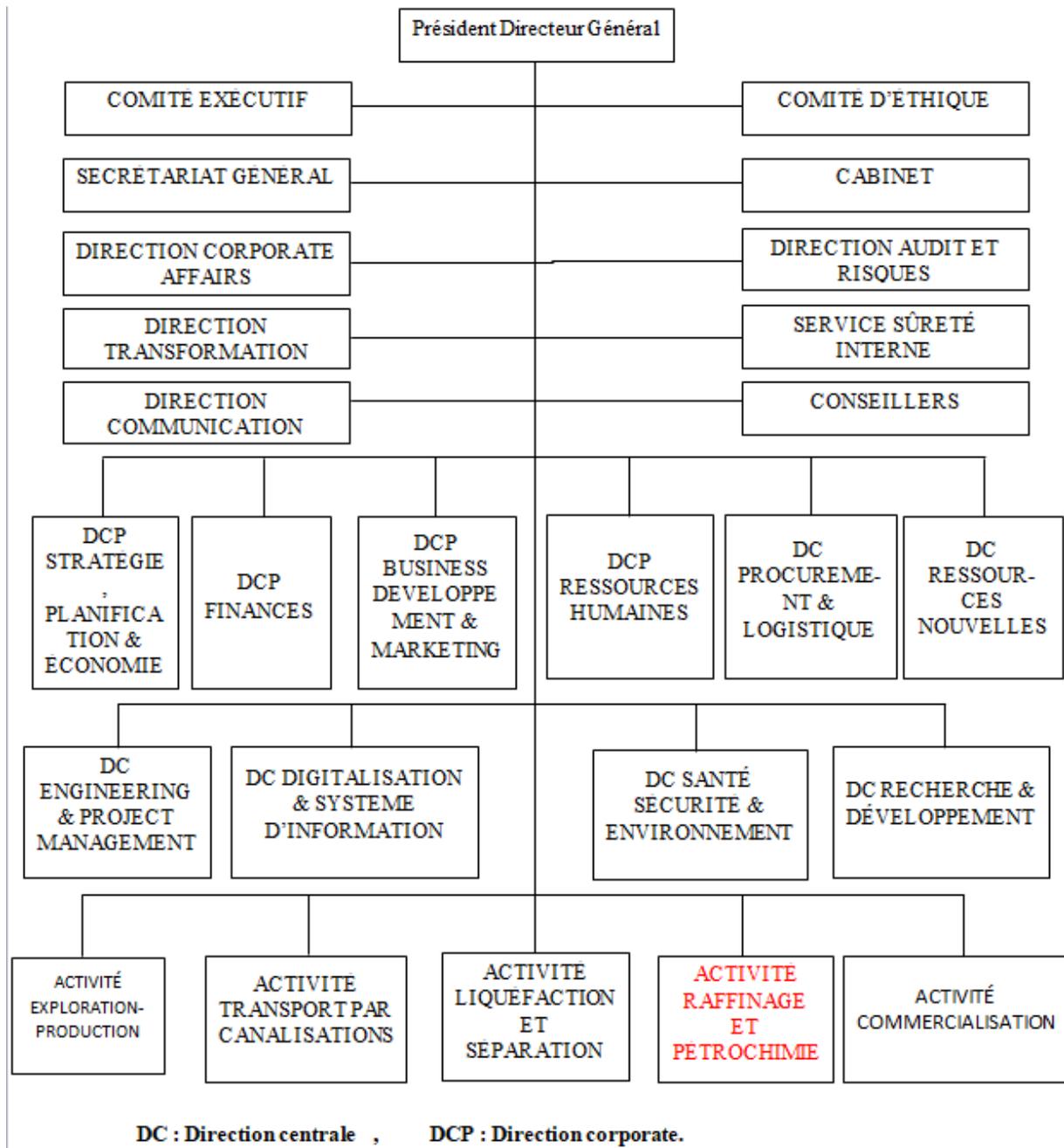


FIGURE 1.2 – Organigramme de la macrostructure de SONATRACH.

## **1.3 Les Activités Opérationnelles**

SONATRACH est une entreprise intégrée dans le secteur des hydrocarbures, ce qui signifie qu'elle est impliquée dans toutes les étapes de la chaîne de valeur, de l'exploration à la commercialisation des produits finaux. Voici un aperçu des activités opérationnelles de SONATRACH [10] :

### **1.3.1 Exploration et production**

Depuis la création de SONATRACH, l'activité exploration-Production en hydrocarbures est montée en puissance grâce à l'expertise technologique et le savoir-faire des équipes dans la recherche et la découverte de nouveaux gisements sur le territoire national et à travers le monde.

### **1.3.2 Transport Par canalisations**

Le transport par canalisation assure l'acheminement des hydrocarbures liquides et gazeux produits par l'Activité Exploration-Production. Le réseau de canalisations de SONATRACH en algérie s'étend sur près de 20 000 kilomètres.

### **1.3.3 Liquéfaction et séparation**

Est chargée de l'élaboration et de l'application des politiques et stratégies d'exploitation, de gestion et de développement des activités de liquéfaction et de séparation des gaz, dans le cadre des objectifs stratégiques de la société.

### **1.3.4 Raffinage et pétrochimie**

Est chargée de l'élaboration et de l'application des politiques et stratégies d'exploitation, de gestion et de développement du raffinage et de la pétrochimie, dans le cadre des objectifs stratégiques de la société.

### **1.3.5 Commercialisation**

Est chargée de l'élaboration et de l'application des politiques et stratégies de commercialisation des hydrocarbures à l'extérieur et sur le marché national, dans le cadre des objectifs stratégiques de la société.

## **1.4 Présentation des raffineries**

SONATRACH possède plusieurs raffineries en Algérie. Ces raffineries transforment le pétrole brut en produits pétroliers tels que l'essence, le diesel, le fuel, le kérosène et le gaz de pétrole liquéfié (GPL). Voici une brève présentation des raffineries de sonatrach :

### **1.4.1 La raffinerie d'Alger**

Elle est constituée principalement de :

- Une unité de distillation atmosphérique.
- Une unité de reforming catalytique.
- Une unité de Gaz plant.
- Une unité de mélange (éthylamine) pour la fabrication des essences.
- Un parc de stockage de pétrole brut et de produits finis.

### **1.4.2 La raffinerie d'Arzew**

Elle est constituée principalement de .

- Une unité de distillation atmosphérique.
- Une unité de reforming catalytique.
- Une unité de gaz plant.
- Deux unités de production de lubrifiants et graisse.
- Une distillation sous vide.
- Unité de flash sous vide et d'oxydation.
- Une unité de prétraitement et d'isomérisation du naphta léger.
- Une salle de contrôle centralisée.
- Une unité DHDS du gasoil.

### **1.4.3 La raffinerie de Skikda**

Elle est constituée principalement de .

- Deux (02) Unités de distillation atmosphérique.
- Trois (03) unités de traitement et séparation des gaz.
- Deux (02) unités de reforming catalytique (magnaforming).
- Une (01) unité d'extraction de benzène et toluène.
- Une (01) unité de séparation para-xylène.
- Une (01) unité de production de bitumes routiers et oxydes.
- Deux (02) unités de prétraitement et d'isomérisation du naphta léger.
- Deux (02) unités d'isomérisation de mélange xylènes et de cristallisation de paraxylène.
- Une (01) nouvelle unité de traitement des effluents.
- Une (01) salle de contrôle centralisée.
- Deux (02) unités DHDS(Desulfurization of Heavy Diesel Streams) du gasoil.

### **1.4.4 Le Complexe du Topping de Condensat**

Situé à Skikda et constitué principalement de .

- Une Unité de distillation atmosphérique de Condensat.
- Une Unité de stabilisation de Naphta.
- Une Unité de séchage de Butane.
- Une Unité de purification et de traitement de Kérosène.
- Des installations de stockage de Condensât.
- Des installations de stockages intermédiaires et de transfert des Produits Finis.
- Des installations de production et de distribution des Utilités.

### **1.4.5 La raffinerie de Hassi-Messaoud**

Elle est constituée principalement de .

- Une Unité de distillation atmosphérique.

- Une unité de reforming.

### 1.4.6 La raffinerie d'Adrar

Elle est constituée principalement de :

- Unité de Distillation atmosphérique.
- Unité de reforming catalytique.
- Unité de craquage catalytique du résidu ATM (RFCC).
- Unité de production des GPL.
- Une unité de Gas plant.

Le tableau ci-dessous présente les raffineries avec leurs capacités de production et les produits essentiels :

Raffinerie	Capacité (en millions de tonnes/an)		Produits
	Avant réhabilitation	Après réhabilitation	
Raffinerie de Skikda (RA1K)	15	16,5	Carburants, GPL, Bitumes, Aromatiques
Raffinerie d'Arzew (RA1Z)	2,5	3,64	Carburants, GPL, Huiles, Lubrifiants, Bitumes
Raffinerie d'Alger (RA1G)	2,75	3,645	Carburants, GPL
Topping Condensat (RA2K)	5	-	Naphta, Kérosène, Butane, GPL
Raffinerie de Hassi-Messaoud (RHM2)	1,2	-	Carburants
Raffinerie d'Adrar	0,6	-	Carburants, GPL
<b>Total</b>	<b>27,000</b>	<b>30,695</b>	

TABLE 1.1 – Capacité et produits des raffineries

## 1.5 Présentation de la raffinerie d'Alger

Raffinerie d'alger est une partie de L'activité raffinage et pétrochimie , Elle nous a proposée la problématique étudiées dans ce mémoire qui est la maximisation de production d'unité distillation atmosphérique, l'organisation de raffinerie d'alger (RA1G) est représentées dans le Figure 1.3 ,

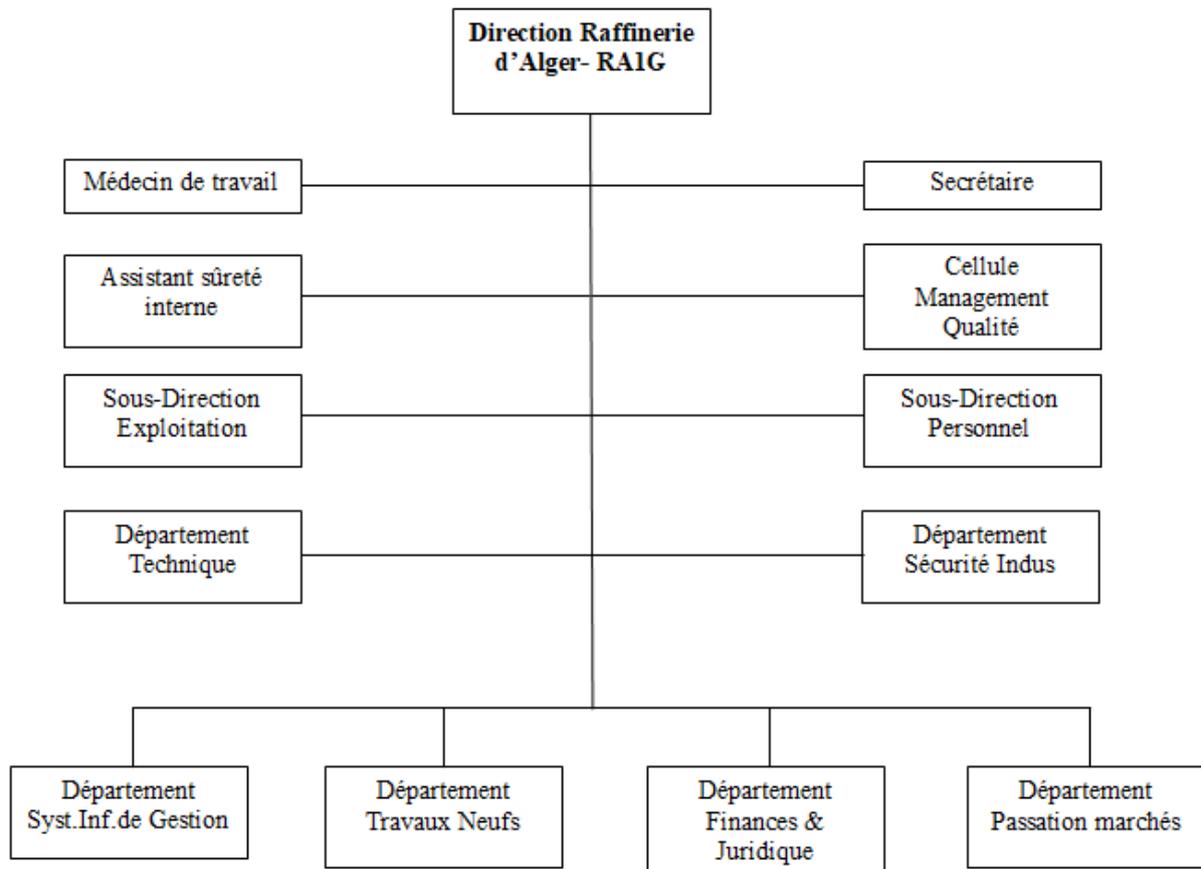


FIGURE 1.3 – Organisation de raffinerie d'alger (RA1G).

### **1.5.1 Historique et Situation Géographique**

La raffinerie d'alger fut créée en décembre 1959 suite à la découverte du pétrole au sud algérien, le chantier fut ouvert en janvier 1960, le démarrage de la raffinerie n'a eu lieu que le 19 janvier par un groupe de compagnies étrangères participantes en projet qui sont :

- Société Shell Algérie 24%.
- Compagnie française de pétrole 20%.
- ESSO méditerranéen Inc 17,6%.
- Total S.a.h.m 12%.
- Société française de pétrole BP 10,4%.
- SN Repal 10%.

La raffinerie d'Alger s'étend sur une superficie de 182 hectares (bâti et clôturé 96 Hectares). Elle est située à 5 km au sud d'EL-Harrach et à 20 km à l'est d'Alger; cet emplacement a été choisi après étude du sol et la découverte d'une nappe d'eau qui est nécessaire pour l'alimentation des systèmes de refroidissement. En ce qui concerne le choix de la région algéroise, elle se présente comme un pôle futur de développement industriel. En plus, elle a l'avantage d'être le plus grand centre de consommation avec une part de 40% à 50% de la demande intérieure. Il apparaît clairement que la production à partir de la raffinerie d'Alger sera moins coûteuse que celle venant des autres raffineries.



FIGURE 1.4 – Vue aérienne de la raffinerie d'Alger RA1G.

### 1.5.2 Capacités de traitement

La capacité de traitement de la raffinerie d'Alger a augmenté après réhabilitation de 2.7 à 3.5 millions tonnes par an de pétrole brut de Hassi-Messaoud. Les capacités annuelles de production des différentes unités sont représentées dans le tableau 1-2.

<b>Produit</b>	<b>Production annuelle (tonnes)</b>
Reformat	603333
Isomérat	364333
Naphta (exportation)	76000
Fuel oil	60000
Propane	69333
Butane	209667
Essence normal	600000
Essence super	757000
Essence RFCC	376000
Kérosene	620666
Gasoil	1261667

TABLE 1.2 – Capacité de production annuelle de la raffinerie d'Alger.

### 1.5.3 Principales installations de la raffinerie

La raffinerie comporte les installations de production suivante :

- **Unité de distillation atmosphérique (Unité 100)** : d'une capacité de 3.5 millions de tonnes par an qui est destinée à séparer les différents produits pétroliers.
- **Unité de gaz-plant (unité300)** : elle a pour objectif de séparer le mélange de gaz (L.P.G) en produits liquides finis qui sont le propane et le butane.
- **Parc de stockage** : composé de 53 réservoirs cylindriques d'une capacité totale de 474500 M<sup>3</sup> pour le stockage des différents produits. Et de 9 réservoirs sphériques d'une capacité de 15106 M<sup>3</sup> pour le stockage du propane et du butane.
- **Unité de craquage catalytique (RFCC)** : conçue pour traiter 1MT par an à partir du résidu atmosphérique obtenu dans l'unité de distillation atmosphérique (unité 100), à l'aide d'un procédé de craquage catalytique à haute température.

- **La section MS BLOC**

Qui se décompose en trois unités :

**a) Unité d'hydrotraitement des naphthas NHT (U-500)** L'unité 500 est une unité d'hydrotraitement des naphthas, permettant d'obtenir différentes coupes de naphta débarrassées de multiples composés tels que l'eau, les halogènes, les sulfures, le nitrogène, les oléfines et dio-léfines, le mercure, l'arsenic, etc. pouvant altérer l'efficacité des catalyseurs utilisés dans les unités aval d'isomérisation et de reforming CCR.

**b) Unité d'isomérisation des naphthas (U-510)**

Cette unité sert à l'isomérisation des naphthas, c'est-à-dire à la transformation des C5 et C6 en leurs isomères, afin d'obtenir un produit à haut indice d'octane utilisé dans les sections de mélanges pour obtenir les essences commerciales produites par la raffinerie.

**c) Unité de reforming CCR (U-520)**

L'unité de Reforming CCR sera installée en vue de remplacer l'unité de reforming catalytique, car elle permet d'obtenir un meilleur rendement et un produit à indice d'octane élevé.

A l'aide d'un catalyseur, cette unité a pour but de produire un naphta à haut indice d'octane, afin de le mélanger et obtenir des essences à fort indice d'octane.

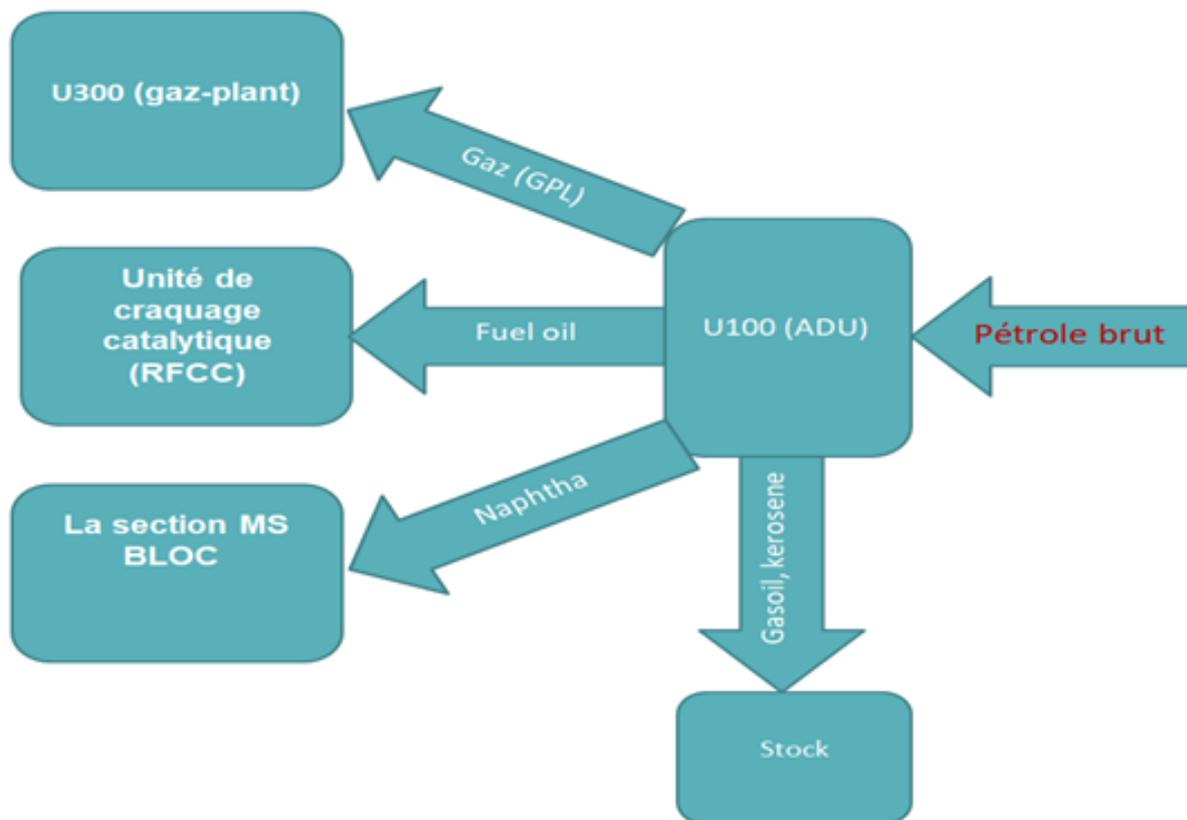


FIGURE 1.5 – Schéma simple des installations de la raffinerie d'Alger.

## 1.6 Conclusion

Ce chapitre permis de découvrir l'entreprise SONATRACH et ses activités opérationnelles dans le secteur des hydrocarbures. Nous avons exploré les différentes étapes de la chaîne de valeur, de l'exploration à la commercialisation des produits finaux. Nous avons également examiné les raffineries installées par SONATRACH en algérie, qui jouent un rôle essentiel dans la transformation du pétrole brut en produits pétroliers.

## **Chapitre 2**

### **les processus de raffinements**

## 2.1 Introduction

Ce chapitre porte sur le raffinage du pétrole brut, une étape essentielle de l'industrie pétrolière. Le pétrole brut est une matière première fossile composée d'hydrocarbures liquides et gazeux, ainsi que d'autres composés organiques. Nous avons retracé l'historique du développement de l'industrie du raffinage, depuis ses débuts modestes axés sur la récupération des fractions lourdes jusqu'à l'émergence de raffineries complexes et ultra complexes. Nous avons examiné les différents procédés de raffinage, tels que la distillation atmosphérique et la distillation sous vide, qui permettent de fractionner le pétrole brut en différentes fractions en fonction de leur volatilité et de leur point d'ébullition. Le prétraitement du pétrole brut, notamment le dessalage, a également été abordé. En résumé, le raffinage du pétrole brut est essentiel pour transformer cette ressource en une variété de produits pétroliers utilisés dans de nombreux secteurs industriels.

## 2.2 Le Pétrole brut

Le pétrole brut est une matière première fossile d'origine organique, principalement composée d'hydrocarbures liquides et gazeux, ainsi que d'autres composés organiques tels que des sulfures et des azotes. Il est extrait du sous-sol terrestre à travers des puits de forage et est ensuite transporté vers des raffineries où il est traité pour produire divers produits pétroliers tels que l'essence, le diesel, le kérosène et le fioul. Le pétrole brut est également utilisé comme matière première pour la production de plastiques, de produits chimiques et d'autres matériaux industriels. Sa composition et ses propriétés physiques peuvent varier en fonction de sa source géologique, de son lieu d'extraction et de son traitement. voir[8]

## 2.3 Historique du développement de raffinage

Au début, le raffinage était très simple et ne visait qu'à récupérer les fractions lourdes du pétrole pour la lubrification ou la fabrication de graisses[4].

L'industrie du raffinage est née en 1863 aux États-Unis avec la construction de la première unité de distillation. Depuis lors, le développement de l'industrie automobile a entraîné une augmentation rapide de la consommation d'essence et de gasoil, ce qui a conduit à la mise en place de

procédés de raffinage plus sophistiqués.

**Dans les années 60**, l'évolution de la demande a entraîné des transformations importantes, avec l'amélioration de la qualité des produits et l'adaptation aux nouvelles normes antipollution. Les raffineries se sont diversifiées en fonction de leur capacité de conversion des lourds et de leur respect de l'environnement.

**Dans les années 70**, les raffineries simples produisaient de l'essence et du fuel, mais la demande d'essence a augmenté avec l'industrie automobile. Les raffineries semi-complexes ont été créées pour répondre à cette demande, mais l'augmentation des prix du pétrole a entraîné la fermeture de certaines raffineries, en particulier celles qui produisaient du fuel.

**Dans les années 80-90**, les raffineries semi-complexes et complexes ont commencé à introduire des unités de conversion pour produire des produits plus spécifiques, répondant aux exigences de l'industrie. Ces raffineries étaient caractérisées par des unités de production d'essence et de conversion profonde des produits lourds.

**Les années 2000** :Raffineries ultra complexes respectant l'environnement et assurant la conversion totale des lourds. Ces raffineries peuvent traiter les rejets non productifs (comme des gaz résiduels, des résidus de pétrole ou des déchets solides). Pour s'adapter à cette évolution, le raffinage fait appel à une grande variété de procédés. Parmi lesquels, on distingue les grandes familles suivantes :

- Procédés de séparation qui partagent une charge en fractions plus simples ou plus étroites.
- Procédés de transformation qui génèrent des molécules nouvelles, aux propriétés adaptées à l'usage du produit.
- Procédés de finition qui éliminent (le plus souvent par hydrogénation) des composés indésirables.
- Procédés de protection de l'environnement qui traitent les fuel gaz, les fumées et les eaux résiduaires.

**Aujourd'hui**, les raffineries ultra complexes sont capables de traiter les rejets non productifs et de réaliser une conversion totale des lourds.

## 2.4 Les procédés de raffinage du pétrole

Le raffinage des hydrocarbures utilise des produits chimiques, des catalyseurs, la chaleur et la pression pour séparer et combiner les différents types de molécules d'hydrocarbures présents dans le pétrole brut, afin d'obtenir des composés et des molécules plus utiles. Le processus dépend principalement du type d'hydrocarbure, plutôt que des composés chimiques présents dans le pétrole brut, voir[2].

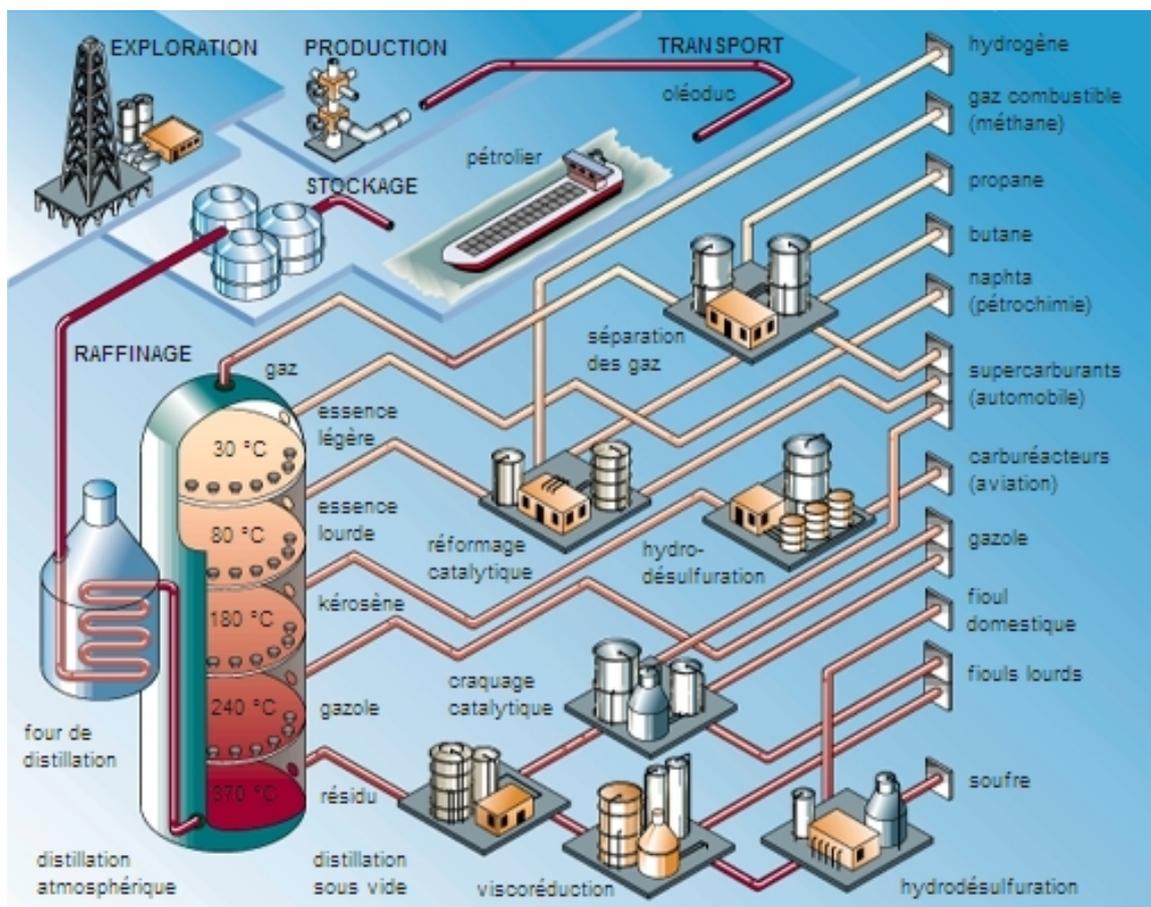


FIGURE 2.1 – La chaîne pétrolière

Le raffinage est indispensable dans l'industrie pétrolière car techniquement, on ne peut pas utiliser le brut directement à cause de son faible pouvoir énergétique. Schématiquement on peut distinguer deux importantes opérations :

### 2.4.1 Le prétraitement du pétrole brut (Le dessalage)

Le raffinage commence par le dessalage du pétrole brut pour éliminer l'eau, les sels inorganiques, les solides en suspension et les métaux solubles dans l'eau. Le dessalage peut être réalisé par dessalage chimique, séparation électrostatique ou filtration.

**Le dessalage chimique** consiste à ajouter de l'eau et des agents tensio-actifs au pétrole brut, chauffer le mélange pour dissoudre ou fixer les impuretés, puis laisser la phase aqueuse décantée se séparer.

**Dans le dessalage électrostatique**, on utilise des charges électrostatiques pour faire descendre les gouttelettes en suspension dans la partie inférieure du bac de décantation. Les agents tensio-actifs ne sont ajoutés que si le pétrole brut contient beaucoup de solides en suspension.

**Un troisième procédé**, moins courant, consiste à filtrer le pétrole brut chaud sur de la terre à diatomées.

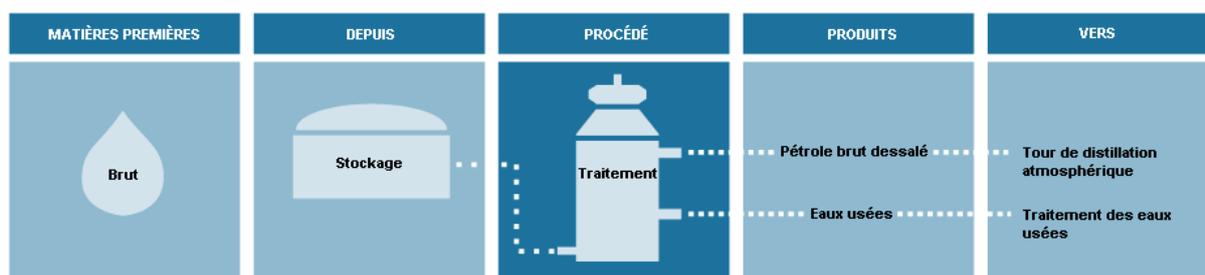


FIGURE 2.2 – Procédé de dessalage (prétraitement)

Les deux méthodes de dessalage, chimique et électrostatique, chauffent le pétrole brut à une température entre 66°C et 177°C pour faciliter la séparation de l'eau. On peut ajouter des bases, des acides ou de l'ammoniac pour ajuster le pH et réduire la corrosion. Les eaux usées sont récupérées et traitées, tandis que le pétrole brut dessalé est envoyé à une tour de distillation atmosphérique pour la prochaine étape du raffinage.

Le but est de réduire la corrosion, le colmatage et l'encrassement des installations et d'empêcher l'empoisonnement des catalyseurs. Si le dessalage est mal effectué, il peut entraîner des défaillances dans les unités de production de la raffinerie en raison de l'augmentation de la pression et de la température, ainsi que des problèmes de transfert de chaleur et de débit.[1]

## 2.4.2 Les procédés de séparation du pétrole brut

En raffinage, la première étape consiste à fractionner le pétrole brut dans des tours de distillation atmosphérique et sous vide. Le chauffage du pétrole brut permet de séparer physiquement diverses fractions selon leur plage de points d'ébullition et leur volatilité, classées en gaz, distillats légers, distillats moyens, gazole et résidus.[3]

On peut classer les procédés de séparation du pétrole brut en deux procédés : **La distillation atmosphérique et la distillation sous vide.**

### • Distillation atmosphérique

Dans les tours de distillation atmosphérique, le pétrole brut dessalé est préchauffé et acheminé vers une colonne de distillation verticale à des pressions légèrement supérieures à la pression atmosphérique et à des températures allant de 343 °C à 371 °C. Les fractions légères se diffusent dans la partie supérieure de la tour et sont soutirées en continu pour subir un traitement plus poussé avant d'être mélangées et distribuées.

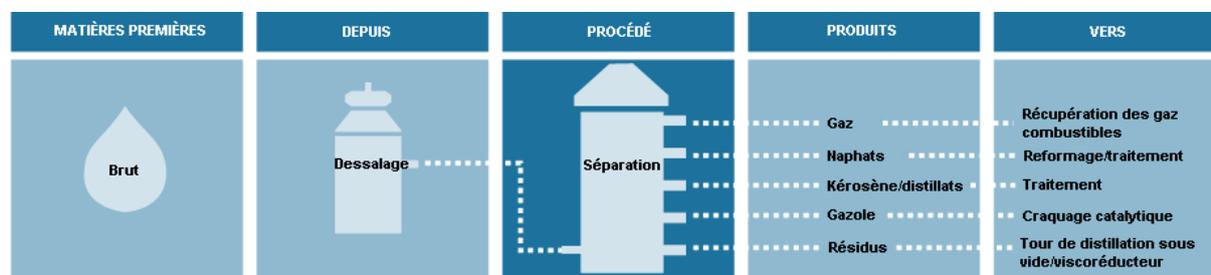


FIGURE 2.3 – Procédé de distillation atmosphérique

Les fractions légères avec les points d'ébullition les plus bas sont soutirées en haut de la tour sous forme de vapeurs et utilisées comme matières premières pour des produits tels que les essences de base, les solvants et les gaz de pétrole liquéfiés. Les fractions avec des points d'ébullition intermédiaires sont extraites latéralement dans la section médiane de la tour et soumises à des opérations de finition pour produire des produits tels que le kérosène, le diesel, le mazout, le carburacteur, les matières premières pour le craquage catalytique et les essences de base. Les fractions plus lourdes avec des points d'ébullition plus élevés, appelées résidus, sont utilisées comme fiouls ou matières premières pour les unités de production de bitume ou de craquage,

ou sont acheminées vers une tour de distillation sous vide pour subir un fractionnement plus poussé.

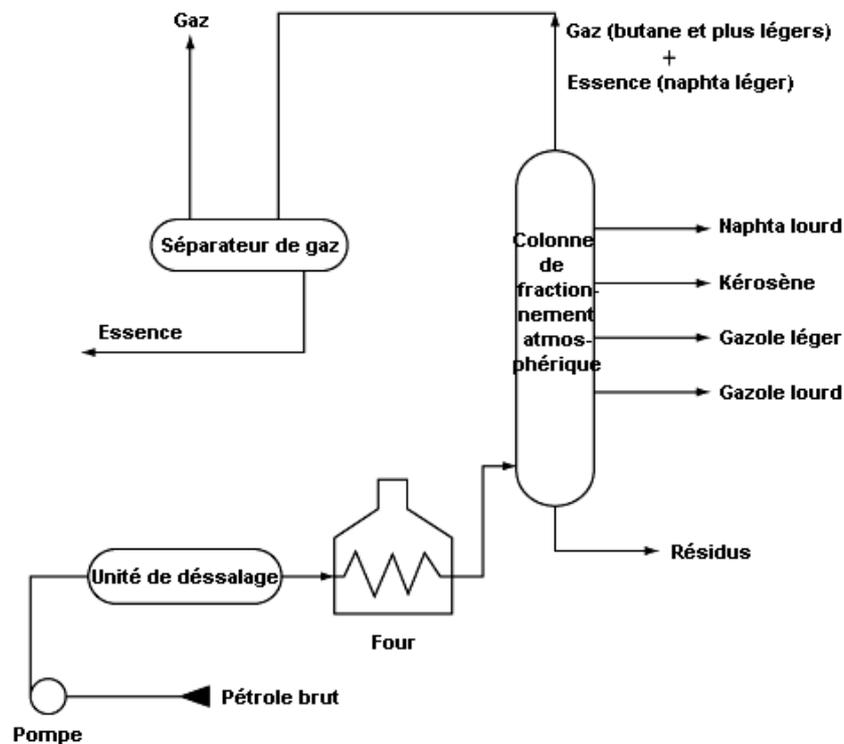


FIGURE 2.4 – Schéma du procédé de distillation atmosphérique

#### • La distillation sous vide

La pression basse empêche le craquage thermique lors de la distillation des résidus provenant de la tour de distillation atmosphérique. Les tours de distillation sous vide ont un intérieur différent, avec un garnissage aléatoire et des tamis. Les tours de plus grand diamètre sont utilisées pour une vitesse d'écoulement plus faible. Les tours de première phase produisent des gazoles, des huiles lubrifiantes de base et des résidus lourds, tandis que les tours de seconde phase distillent les résidus excédentaires.

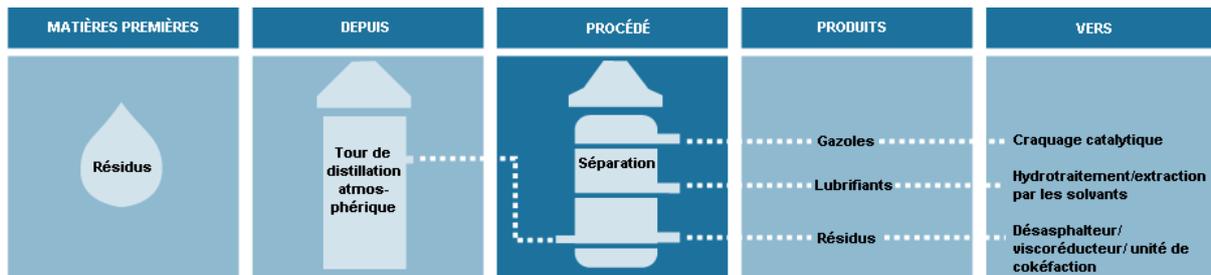


FIGURE 2.5 – Procédé de distillation sous vide

La distillation sous vide est utilisée pour séparer les produits destinés aux unités de craquage catalytique des fractions résiduelles, qui peuvent être utilisées pour produire du coke, du lubrifiant ou du bitume, ou être désulfurées et mélangées à du mazout à faible teneur en soufre.

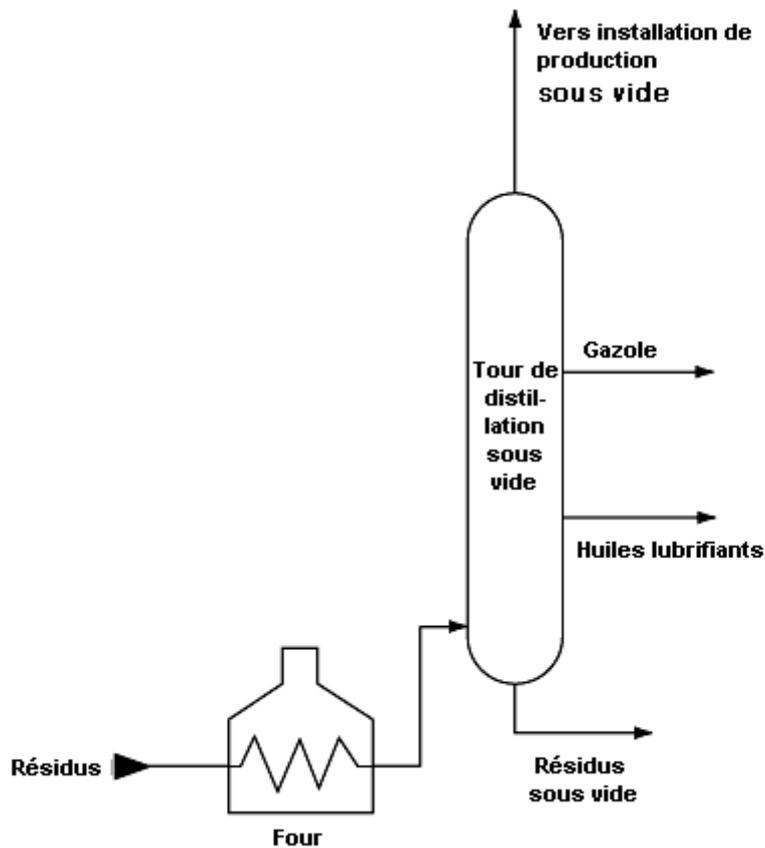


FIGURE 2.6 – Schéma du procédé de distillation sous vide

## 2.5 Conclusion

En conclusion, le raffinage du pétrole brut joue un rôle crucial dans la transformation de cette matière première fossile en produits pétroliers essentiels à notre société moderne. À travers l'histoire, l'industrie du raffinage a évolué pour répondre à la demande croissante de produits pétroliers, en améliorant la qualité des produits et en s'adaptant aux normes environnementales. Les raffineries ont adopté des procédés de plus en plus sophistiqués, passant des raffineries simples aux raffineries semi-complexes, complexes et finalement aux raffineries ultra complexes d'aujourd'hui.

# **Chapitre 3**

## **Problématique**

### **3.1 Introduction**

Dans ce chapitre, nous allons présenter en détail le problème que nous devons résoudre. Pour cela, nous allons utiliser une approche de modélisation mathématique afin de formuler le problème de manière précise et trouver des solutions efficaces.

### **3.2 Description du problème**

La raffinerie d'Alger est composée de trois unités principales : l'unité 100, La MS block et la RFCC. Le mode de fonctionnement de l'unité 100 est simple. Un brut, appelé prés-flash (considéré comme matière première) entre dans l'unité 100 où il subit une distillation atmosphérique (traitement chimique) afin de séparer le brut du produit fini et semi-fini. L'ensemble des produits sortants est :GT (Gaz torché), GPL (Gaz de pétrole liquéfiés), NS (Nafta stable), K1 (kérosène 1), K2(kérosène 2),LGO (Gazole léger ) et FO (Fuel oil ) . Tous ses produits sont destinés au stock. Les produits finis seront destinés pour la commercialisation. Les semi-finis subiront d'autres traitements dans les autres unités. Puisque la capacité du stockage des produits est limitée, vu qu'elle dépend de la capacité des réservoirs destinés à cette tâche, ceci a un impact sur les quantités à produire dans cette unité. Il s'agira donc de maximiser la production des produits sortants tout en respectant d'abord la contrainte de stockage, la contrainte de qualité qui rentre dans le processus de production par le déclassement de certains produits (comme K2 qui est déclassé vers LGO pour améliorer la qualité de ce dernier). La dernière contrainte que le modèle doit vérifier est celle de bilan matière qui consiste à la préservation des flux entrants et sortants de l'unité.

En effet, il est à noter que toute la quantité entrante dans l'unité 100 est égale à la quantité sortante de cette unité, ce qui signifie que tout ce qui rentre dans l'unité, sera transformé en un produit.

Notre travail mené dans le milieu de raffinage, consiste donc à élaborer un modèle qui permet d'optimiser la production de l'unité de la distillation atmosphérique, appelée l'unité 100 tout en respectant les contraintes de qualité, celles de la conservation des flux et les contraintes de stockage.

### 3.3 Contraintes liées au problème

L'activité du raffinage est toujours soumise à des contraintes tout au long du processus de raffinage. Dans notre étude les contraintes prises en considération sont les suivantes :

- Les contraintes de bilan matière des produits .
- Le respect des spécifications des produits (Les contraintes de qualité) imposées par les normes internationales.
- Un stockage limité pour chaque produit fini et semi fini de la distillation atmosphérique.

### 3.4 Objectifs ciblés

Les objectifs que nous voulons atteindre pour la division raffinage se résument ainsi :

- Trouver un modèle pour maximiser les quantités des produits finis et semi finis de l'unité 100 (unité de la distillation atmosphérique).

### 3.5 Modélisation mathématique

La modélisation regroupe un ensemble d'approches mathématiques qui permettent de résumer, d'analyser et d'organiser les données d'un phénomène réel, tout en mettant en évidence les entités présentes dans la réalité ainsi que les liens qui les unissent. Elle offre une perspective complète et concise de tous les éléments impliqués dans le système étudié.

#### 3.5.1 Paramètres du modèle

##### • Déclaration des variables

- (1) PB : volume du pétrole brut entré dans l'unité 100 exprimés en  $m^3$ .
- (2) GT : volume du gaz torché produit à l'unité 100 exprimés en  $m^3$ .
- (3) GPL : volume du gaz de pétrole liquéfiés produit à l'unité 100 exprimés en  $m^3$ .
- (4) NS : volume du Naphta stabilisé produit à l'unité 100 exprimés en  $m^3$ .
- (5) K1 : volume du kérosène1 produit à l'unité 100 exprimés en  $m^3$ .
- (6) K2 : volume du kérosène2 produit à l'unité 100 exprimés en  $m^3$ .
- (7) KD : volume du kérosène déclassé à l'unité 100 exprimés en  $m^3$ .

- (8) KS : quantité du kérosène stockée comme un produit fini on ton T.
- (9) LGO : volume du gazole léger produit exprimés en  $m^3$ .
- (10) LGOS : quantité du gazole léger stockée comme un produit fini on ton T.
- (11) FO : volume du fuel oil produite exprimés en  $m^3$ .

• **Les constantes du problème**

Les notations des constantes.

- DLGO : densité du LGO
- DK1 : densité du K1
- DK2 : densité du K2
- DGPL : densité du GPL
- DNS : densité du NS
- DGT : densité du GT
- DFO : densité du FO

### 3.5.2 Formulation des contraintes du problème

• **La définition des contraintes**

- **Les contraintes de bilan matière**

Se réfèrent à l'équilibre entre les entrées et les sorties de matière dans l'unité 100, où les quantités de matière entrantes doivent être égales aux quantités de matière sortantes pour respecter la conservation de la masse.

- **CB-BP** : la contrainte bilan matière de pétrole brut.

$$GT + GPL + NS + K1 + K2 + LGO + FO = BP \quad (3.1)$$

- **CB-KD** : la contrainte bilan matière de kérosène déclassé (la demi quantité de K2 se déclassé pour être rajouté à LGO plus tard afin de l'améliorer).

$$\frac{1}{2}(K2) = KD \quad (3.2)$$

- **Les contraintes de qualité** : font référence aux exigences et aux critères qui définissent la mesure dans laquelle un produit répond aux normes internationales.

• **CQ-LGO** : la contrainte de spécifications de LGO (on mélange une quantité de KD avec LGO, pour avoir un LGO de qualité plus élevée).

$$(DKD * KD) + (DLGO * LGO) = LGOS \quad (3.3)$$

• **CB-KS** : la contrainte de spécifications de KS (Les quantité de K1 et K2 stockée)

$$(DK1 * K1) + (DK2 * (\frac{1}{2} * K2)) = KS \quad (3.4)$$

- **Les contraintes de stockage** : se réfèrent aux limitations ou exigences imposées sur l'espace physique, la capacité ou les conditions de conservation des produits finis et semi-finis sorties de l'unité de distillation atmosphérique ( U100) en  $m^3$ .

• **CS-GT** : : contrainte de quantité maximum de GT produit à l'unité 100 (ne dépasse pas 1 ton).

$$GT * DGT \leq 1 \quad (3.5)$$

• **CS-GPL** : la contrainte de capacité de stockage du GPL.

$$GPL * DGPL \leq CGPL \quad (3.6)$$

• **CS-NS** : la contrainte de capacité de stockage du NS.

$$NS * DNS \leq CNS \quad (3.7)$$

• **CS-KS** : la contrainte de capacité de stockage du kérosène.

$$KS \leq CKS \quad (3.8)$$

• **CS-LGOS** : la contrainte de capacité de stockage du LGOS .

$$LGOS \leq CLGOS \quad (3.9)$$

- **CS-FO** : la contrainte de capacité de stockage du FO.

$$FO * DFO \leq CFO \quad (3.10)$$

### • La fonction objective

Maximisation des quantités des produits au niveau de l'unité 100 (unité de distillation atmosphérique).

$$MAXPROD = GPL + NS + K1 + K2 + LGO + FO \quad (3.11)$$

### Application numerique

les valeurs numerique

- Volume de PB qui rentre dans l'unité 100 =  $12408 m^3$
- CGPL = 200 T
- CNS = 3500 T
- CKS = 1900 T
- CLGOS = 3900 T
- CFO = 3240 T
- DKD = 0.795 kg/l
- DK1 = 0.795 kg/l
- DK2 = 0.795 kg/l
- DLGO = 0.831 kg/l
- DNS = 0.712 kg/l
- DGPL = 0.570 kg/l
- DFO = 0.900 kg/l
- DGT = 0.45 kg/l

### 3.6 Programme correspondant

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \text{Maximize } LPG + NS + K1 + K2 + LGO + FO \\
 \text{subject to :} \\
 \\
 GT + GPL + NS + K1 + K2 + LGO + FO = BP \\
 \frac{1}{2}K2 = KD \\
 (DKD \times KD) + (DLGO \times LGO) = LGOS \\
 (DK1 \times K1) + (DK2 \times K2) = KS \\
 GT \times DGT \leq 1 \\
 GPL \times DGPL \leq CGPL \\
 NS \times DNS \leq CNS \\
 KS \leq CKS \\
 LGOS \leq CLGOS \\
 FO \times DFO \leq CFO \\
 \\
 GT > 0 \\
 GPL > 0 \\
 NS > 0 \\
 K1 > 0 \\
 K2 > 0 \\
 LGO > 0 \\
 FO > 0
 \end{array} \right. \quad (3.12)$$

### 3.7 Taille du Problème

La taille d'un problème peut nous orienter vers le choix d'une méthode de résolution adéquate du problème et déterminer les ressources nécessaires. Pour ce faire, il est nécessaire de connaître le nombre de contraintes du ce problème ainsi que le nombre de variables.

### 3.7.1 Nombre de variable

Il y a (GT, GPL, NS, K1, K2, KD, KS, LGO, LGOS, FO), alors nous avons 10 variables.

### 3.7.2 Nombre de contraintes

nombre de contraintes

- Nombre de contraintes relatives à bilain matière : 2.
- Nombre de contraintes relatives à qualité : 2.
- Nombre de contraintes relatives à stockage : 5.
- Nombre de contraintes totale relatives à ce problème :  $2+2+5=9$ .

## 3.8 Conclusion

Le problème qui nous a été confié pour le raffinerie d'Alger est d'un problème linéaire a variables continues strictement positives dont la taille n'est pas très grande (ce problème linéaire est composé de 10 variables et 9 contraintes). Ce qui nous oriente pour le choix d'une méthode exacte afin de le solutionner.

## **Chapitre 4**

# **Méthode de résolution et analyse des résultats**

## 4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter la phase finale de notre projet qui est l'application. Ce chapitre fournira aux lecteurs une compréhension approfondie des applications concrètes de la programmation linéaire et leur permettra d'acquérir les connaissances et les compétences nécessaires pour résoudre des problèmes d'optimisation linéaire dans divers domaines. Qu'il s'agisse d'optimiser les opérations d'une entreprise ou d'approfondir ses connaissances en programmation linéaire, ce chapitre fournira les outils nécessaires pour aborder ces problèmes avec confiance et efficacité. Enfin, nous introduirons l'utilisation du solveur d'Excel, un outil puissant qui permet de résoudre des problèmes de programmation linéaire directement dans une feuille de calcul. Nous expliquerons comment configurer et utiliser le solveur d'Excel ainsi que l'utilisation du solveur Gurobi, pour résoudre différents types de problèmes d'optimisation linéaire.

## 4.2 La programmation Linéaire

Un problème linéaire (PL) est un cas particulier de la programmation mathématique (PM), également appelée programmation linéaire. Dans un problème linéaire, l'objectif est de maximiser ou de minimiser une fonction objectif linéaire qui dépend de  $n$  variables de décision. Ces variables sont supposées être non négatives.

Le problème linéaire est soumis à un ensemble de contraintes exprimées sous forme d'équations ou d'inéquations linéaires. Ces contraintes linéaires spécifient les relations et les limites que les variables de décision doivent respecter, voir[6].

### 4.2.1 Formes d'un programmes linéaires

Un programme linéaire peut être représenté de trois manières différentes : la forme canonique, la forme standard et la forme générale (ou mixte).

1. La forme canonique d'un programme linéaire est obtenue lorsque toutes les contraintes du système sont des inéquations.

**la forme canonique**

$$\text{PL} \left\{ \begin{array}{l} \text{max/min} \quad Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \\ \text{sous contraintes} \quad a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\ \quad \quad \quad \quad a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\ \quad \quad \quad \quad \dots \\ \quad \quad \quad \quad a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \\ \text{variables} \quad x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \end{array} \right.$$

2. La forme standard d'un programme linéaire est caractérisée lorsque toutes les contraintes du système sont des équations (contraintes de type "=").

**La forme standard**

$$\text{PL} \left\{ \begin{array}{l} \text{max/min} \quad Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \\ \text{sous contraintes} \quad a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \\ \quad \quad \quad \quad a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2 \\ \quad \quad \quad \quad \dots \\ \quad \quad \quad \quad a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m \\ \text{variables} \quad x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \end{array} \right.$$

3. La forme mixte d'un programme linéaire se réfère à la présence des trois types de contraintes ( $\leq, =, \geq$ ) dans le programme.

**la forme mixte**

$$\text{PL} \left\{ \begin{array}{l} \text{max(min)}Z \quad = \sum_{j=1}^n c_jx_j \\ \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \quad \leq b_i, \quad i \in I \subseteq \{1, \dots, m\} \\ \sum_{j=1}^n a_{kj}x_j \quad = b_k, \quad k \in K \subseteq \{1, \dots, m\} \\ \sum_{j=1}^n a_{rj}x_j \quad \geq b_r, \quad r \in R \subseteq \{1, \dots, m\} \\ x_j \quad \quad \quad \in R, \quad j = 1, m \end{array} \right. \quad (4.1)$$

Les ensembles I, K et R sont disjoints

- La fonction linéaire à optimiser est appelée fonction objectif.
- $x_1, \dots, x_n$  représentent les variables de décision.

**Notation matricielle**

La notation matricielle d'un P L est la suivante :

$$\text{PL} \begin{cases} \text{Maximize (or minimize)} & Z = c^T x \\ \text{subject to} & Ax \leq b, \\ & x \geq 0. \end{cases} \tag{4.2}$$

$$c = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix}$$

Le vecteur des coûts de la fonction objectif Z est représenté par c, tandis que  $c^T$  désigne le vecteur transposé de c.

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \text{ variables de décision.}$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & \dots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & \dots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ a_{m,1} & a_{m,2} & \dots & \dots & a_{m,n} \end{pmatrix}$$

La matrice appelée matrice des contraintes, qui contient les coefficients des contraintes .

$$b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix} \text{ vecteur du second membre.}$$

## 4.3 Choix de la méthode de Résolution

Pour la résolution de problèmes linéaires, on utilise la méthode simplexe.

### 4.3.1 Méthode du Simplexe

La méthode du simplexe est un algorithme utilisé pour résoudre des problèmes d'optimisation linéaire. Elle a été développée par George Dantzig dans les années 1940 et reste l'une des méthodes les plus couramment utilisées pour résoudre des problèmes linéaires.

Voici les étapes principales de la méthode du simplexe : voir [7]

1. **Formulation du problème** : Le problème d'optimisation linéaire doit être formulé sous forme standard avec des contraintes linéaires et une fonction objectif linéaire. Les variables doivent être non négatives.
2. **Tableau simplexe initial** : Construisez un tableau simplexe initial à partir des équations linéaires du problème. Le tableau comprend des variables d'écart qui permettent de rendre les contraintes égales. La fonction objectif est également ajoutée au tableau.
3. **Test d'optimalité** : Vérifiez si la solution actuelle est optimale en examinant les coefficients de la fonction objectif dans le tableau simplexe. Si tous les coefficients sont négatifs ou nuls, la solution est optimale. Sinon, passez à l'étape suivante.
4. **Choix de la variable de sortie** : Sélectionnez la variable de sortie en utilisant une règle, comme la règle du coût réduit le plus positifs. La variable de sortie est celle qui peut être amenée à sa valeur limite supérieure (zéro) sans violer les contraintes.
5. **Choix de la variable d'entrée** : Choisissez la variable d'entrée en utilisant une règle, comme la règle du rapport minimal. La variable d'entrée est celle qui peut être augmentée pour améliorer la solution sans violer les contraintes.
6. **Mise à jour du tableau simplexe** : Mettez à jour le tableau simplexe en utilisant l'opération pivot. Cette opération consiste à échanger la variable de sortie avec la variable d'entrée dans une ligne du tableau pour introduire une nouvelle variable dans la base.
7. **Itérations** : Répétez les étapes 3 à 6 jusqu'à ce que la solution soit optimale. À chaque itération, vérifiez l'optimalité, choisissez les variables de sortie et d'entrée, et mettez à jour le tableau simplexe.

8. **Lecture de la solution optimale** : Une fois que la solution optimale est atteinte, lisez les valeurs optimales des variables dans le tableau simplexe. La valeur optimale de la fonction objectif est également indiquée dans le tableau.

La méthode du simplexe est une méthode itérative et peut nécessiter un nombre variable d'itérations pour atteindre la solution optimale. Elle peut également rencontrer des problèmes d'illimitation ou de non-faisabilité, dans lesquels le problème n'a pas de solution optimale ou aucune solution réalisable n'existe.

soit le PL suivant :

$$\text{PL} \begin{cases} \text{Max } Z = cx & \dots\dots (1) \\ Ax & \leq b \dots\dots (2) \\ x & \geq 0 \dots\dots (3) \end{cases} \quad (4.3)$$

- Le vecteur  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$  est considéré comme une solution du problème linéaire (PL) s'il satisfait les contraintes (2).
- Le vecteur  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$  est considéré comme une solution réalisable du problème linéaire (PL) s'il satisfait à la fois les contraintes (2) et (3).
- On appelle **base** base du système tout ensemble de m vecteurs linéairement indépendants.
- Les variables associées aux m premiers vecteurs de base sont appelées **variables de base** variables de base et sont notées  $x_B$ , tandis que les variables restantes (n - m) sont appelées **variables hors base** variables hors base et sont notées  $x_N$ .

$j_B$  : ensemble des indices des variables de base.

$j_N$  : ensemble des indices des variables hors base.

$$A_B : (a_j)_{j \in B} \quad A_N : (a_j)_{j \in N}$$

$$C_B : (c_j)_{j \in B} \quad C_N : (c_j)_{j \in N}$$

Le (P L) peut alors s'écrire :

$$\text{PL} \begin{cases} \text{Max } Z = C_B \cdot x_B + C_N \cdot x_N \\ A_B \cdot x_B + A_N \cdot x_N = B \\ x \geq 0 \end{cases} \quad (4.4)$$

On pose  $x_N = 0$ , sachant que  $A$  est de rang  $m$ . On aura  $A_B \cdot x_B = b$ , donc  $x_B = A_B^{-1} \cdot B$ .

• La solution  $x_N = (x_B, 0)$  est appelée solution de base du (P L) et elle est dite réalisable si  $x_B \geq 0$ .

• Une solution de base est dite optimale si elle maximise la fonction objectif.

### 4.3.2 algorithme de simplexe

Le point de départ de cet algorithme est une solution de base réalisable initiale donnée par  $x = (x_B, x_N) = (x_B, 0)$ , où  $x_B$  sont les variables de base et  $x_N$  sont les variables hors base. De plus,  $A^{-1}B$  représente l'inverse de la matrice  $AB$ .

Les différentes étapes de l'algorithme du simplexe sont représentées de la manière suivante .voir [9]

**Étape(1) :**  $U^T = C^T B^{-1} A$

**Étape(2) :**  $E_j = U^T a_j - C_j, \quad j \in J_N$

**Étape(3) :**

1. Si  $E_j \geq 0 \forall j \in J_N$ , alors  $x$  est une solution optimale, terminé.

2. Sinon,

Si  $\exists E_{j_0} \in J_N$  tel que  $E_{j_0} < 0$  et  $A_B^{-1} a_{j_0} \leq 0$ , alors le (PL) n'admet pas de solution définie, terminé.

3. Si le critère d'optimalité n'est pas vérifié, trouver  $j_0 \in J_N$

tel que  $E_{j_0} = \min\{E_j, j \in J_N\}$  et calculer les composantes du vecteur  $X_{j_0} = A_B^{-1} B a_{j_0}$  et aller à l'étape 4.

**Étape(4) :** Calculer  $\Theta_0 = \Theta_{j_1} = \min \left\{ \frac{x_i}{a_{j_0 i}}, j \in J_B \right\} = \frac{x_i}{a_{j_0 i}}$ , aller à l'étape 5.

**Étape (5) :**  $(x_B, x_N)$  tel que  $x_B - \Theta_0 x_{j_0} = 0$ , pour  $j \in J_N \setminus \{j_0\}$ ,  $j_0 x_{j_0} = \Theta_0$ , aller à l'étape 6.

**Étape (6) :**  $j_B = j_B \setminus \{j_0\} \cup \{j_1\}$

$j_N = j_N \cup \{j_0\} \setminus \{j_1\}$

Calculer  $A_B^{-1}$  et aller à l'étape (1).

## 4.4 Technologie Utilisée

### 4.4.1 Python

Python est un langage de programmation populaire, créé par Guido van Rossum en 1991. Il se distingue par sa simplicité, sa lisibilité et sa polyvalence. Python supporte différents paradigmes de programmation, dispose d'une vaste bibliothèque standard et d'un écosystème étendu de bibliothèques tierces. Il est largement utilisé dans divers domaines tels que le développement web, le calcul scientifique, l'analyse de données et l'intelligence artificielle. Python peut être exécuté en utilisant un interpréteur Python et permet d'écrire du code clair et efficace. Sa popularité est due à sa facilité d'apprentissage, sa flexibilité et la forte communauté qui le soutient.

nous explorons l'utilisation de Python avec le package Pulp en conjonction avec le solveur Gurobi pour résoudre des problèmes d'optimisation linéaire. L'optimisation linéaire est une méthode hautement efficace pour résoudre des problèmes mathématiques formulés avec une fonction objectif linéaire et un ensemble de contraintes linéaires.

Notre approche de résolution consiste à structurer le problème en définissant les variables, les contraintes et la fonction objective. Ensuite, nous utilisons le solveur Gurobi pour trouver la solution optimale. Cette méthode, qui allie rigueur et efficacité, constitue un outil précieux pour résoudre des problèmes d'optimisation linéaire.

Avant de commencer, il est nécessaire d'installer Python, le package pulp et le solveur gurobi. Assurez-vous d'avoir les versions compatibles de ces logiciels.

### 4.4.2 Gurobi solveur

Le solveur Gurobi est un puissant outil d'optimisation qui peut être utilisé pour résoudre une variété de problèmes d'optimisation linéaire, non linéaire, mixte-entier et quadratique. Il est réputé pour sa rapidité et son efficacité dans la résolution de problèmes complexes voir [5].

## 4.5 Installation des package

Pour commencer, nous devons d'abord installer les versions compatibles de Python, du package Pulp, ainsi que du solveur Gurobi, avant d'entamer le processus.

## 4.6 Formulation du problème

Pour commencer, vous devez formuler le problème d'optimisation linéaire en définissant les variables, les contraintes, et la fonction objectif à l'aide de la syntaxe de Pulp.

```
from pulp import *

# Problem definition
prob = LpProblem("Linear_Optimization_Problem", LpMaximize)

# Variable definition
GT = LpVariable("GT", lowBound=0.001)
LPG = LpVariable("LPG", lowBound=0.001)
NS = LpVariable("NS", lowBound=0.001)
K1 = LpVariable("K1", lowBound=0.001)
K2 = LpVariable("K2", lowBound=0.001)
LGO = LpVariable("LGO", lowBound=0.001)
FO = LpVariable("FO", lowBound=0.001)
KD = LpVariable("KD", lowBound=0.001)
LGOS = LpVariable("LGOS", lowBound=0.001)
KS = LpVariable("KS", lowBound=0.001)

# Objective function
prob += LPG + NS + K1 + K2 + LGO + FO

# Constraints
prob += GT + LPG + NS + K1 + K2 + LGO + FO == 12408
prob += 1/2 * K2 == KD
prob += 0.795 * KD + 0.831 * LGO == LGOS
prob += 0.795 * K1 + 0.795 * 1/2*K2 == KS
prob += 0.45*GT <= 1
prob += 0.57*LPG <= 200
prob += 0.712*NS <= 3500
prob += KS <= 1900
prob += LGOS <= 3900
prob += 0.9*FO <= 3240
```

FIGURE 4.1 – Formulation du problème d'optimisation linéaire

## 4.7 Résolution du problème

Après avoir formulé le problème, vous pouvez résoudre celui-ci en utilisant la méthode solve() avec le solveur Gurobi.

```
# Solve the problem with GUROBI solver
prob.solve(GUROBI())
```

FIGURE 4.2 – Résolution du problème avec le solveur gurobi

## 4.8 Affichage des résultats

Une fois le problème résolu, vous pouvez récupérer les valeurs optimales des variables ainsi que la valeur optimale de la fonction objectif.

```
# Affichage des résultats
print("Optimal value of GT:", value(GT))
print("Optimal value of GPL:", value(GPL))
print("Optimal value of NS:", value(NS))
print("Optimal value of K1:", value(K1))
print("Optimal value of K2:", value(K2))
print("Optimal value of LGO:", value(LGO))
print("Optimal value of FO:", value(FO))
print("Optimal value of KD:", value(KD))
print("Optimal value of LGOS:", value(LGOS))
print("Optimal value of KS:", value(KS))
print("Optimal value of the objective function:", value(prob.objective))
```

FIGURE 4.3 – Affichage des résultats

```
Optimal value of GT: 0.0
Optimal value of LPG: 350.87719298245617
Optimal value of NS: 4870.508767669633
Optimal value of K1: 0.001
Optimal value of K2: 4779.872213836478
Optimal value of LGO: 2406.7398255114317
Optimal value of FO: 0.001
Optimal value of KD: 2389.936106918239
Optimal value of LGOS: 3900.0
Optimal value of KS: 1900.0
Optimal value of the objective function: 12408.0
```

FIGURE 4.4 – résultats de Le solveur Gurobi

La valeur de la fonction objectif trouvée par le solveur Gurobi est de  $12400 m^3$ .

<b>Produit</b>	<b>Résultats(<math>m^3</math>)</b>
LPG	350.877
NS	4870.508
K1	0.0001
K2	4779.872
LGO	2406.739
FO	0.001

TABLE 4.1 – Résultats de Le solveur Gurobi

## 4.9 Excel solveur

Le solveur d'Excel, connu sous le nom de "Solver", est un outil puissant de Microsoft Excel qui vous permet de trouver la solution optimale à différents types de problèmes, tels que la programmation linéaire, l'optimisation non linéaire, et plus encore. Il est particulièrement utile lorsque vous avez un ensemble de contraintes et que vous souhaitez maximiser ou minimiser un objectif spécifique.

Pour utiliser le solveur dans Excel, suivez ces étapes.

1. Ouvrez Microsoft Excel et accédez à la feuille de calcul où vous souhaitez utiliser le solveur.
2. Cliquez sur l'onglet "Données" dans le ruban Excel.
3. Dans le groupe "Analyse", vous devriez voir un bouton "Solveur". Cliquez dessus pour ouvrir la boîte de dialogue du solveur.
4. Dans la boîte de dialogue du solveur, vous devez configurer le problème en spécifiant la cellule objectif (la cellule que vous souhaitez maximiser ou minimiser), les variables de décision (les cellules pouvant être modifiées) et toutes les contraintes que vous avez.
5. Sélectionnez les options appropriées dans la boîte de dialogue en fonction du type de problème. Vous pouvez choisir de maximiser ou de minimiser l'objectif, définir des contraintes et spécifier d'autres paramètres.
6. Une fois que vous avez configuré le problème, cliquez sur le bouton "Résoudre" dans la boîte de dialogue du solveur.
7. Excel Solver trouver la solution optimale en fonction des contraintes et de l'objectif spécifiés. Si une solution est trouvée, vous verrez la boîte de dialogue "Résultats du solveur", qui affiche les valeurs optimales des variables de décision et la valeur de l'objectif.

8. Vous pouvez choisir de conserver la solution, de restaurer les valeurs d'origine ou de générer un rapport résumant la solution.

Il est important de noter que le solveur peut ne pas toujours trouver de solution, ou il peut trouver un optimum local au lieu de l'optimum global. Dans de tels cas, vous devrez peut-être ajuster vos contraintes ou la configuration du problème pour obtenir le résultat souhaité.

Veuillez noter que les étapes spécifiques et les options dans le solveur d'Excel peuvent varier légèrement en fonction de la version d'Excel que vous utilisez, mais le processus général reste similaire.

Pour ajouter l'outil Solveur dans Microsoft Excel, vous pouvez suivre ces étapes : Étape 1 : Ouvrez Microsoft Excel sur votre ordinateur.

Étape 2 : Cliquez sur l'onglet "Fichier" dans le coin supérieur gauche de la fenêtre Excel.

Étape 3 : Dans le menu Fichier, cliquez sur "Options".

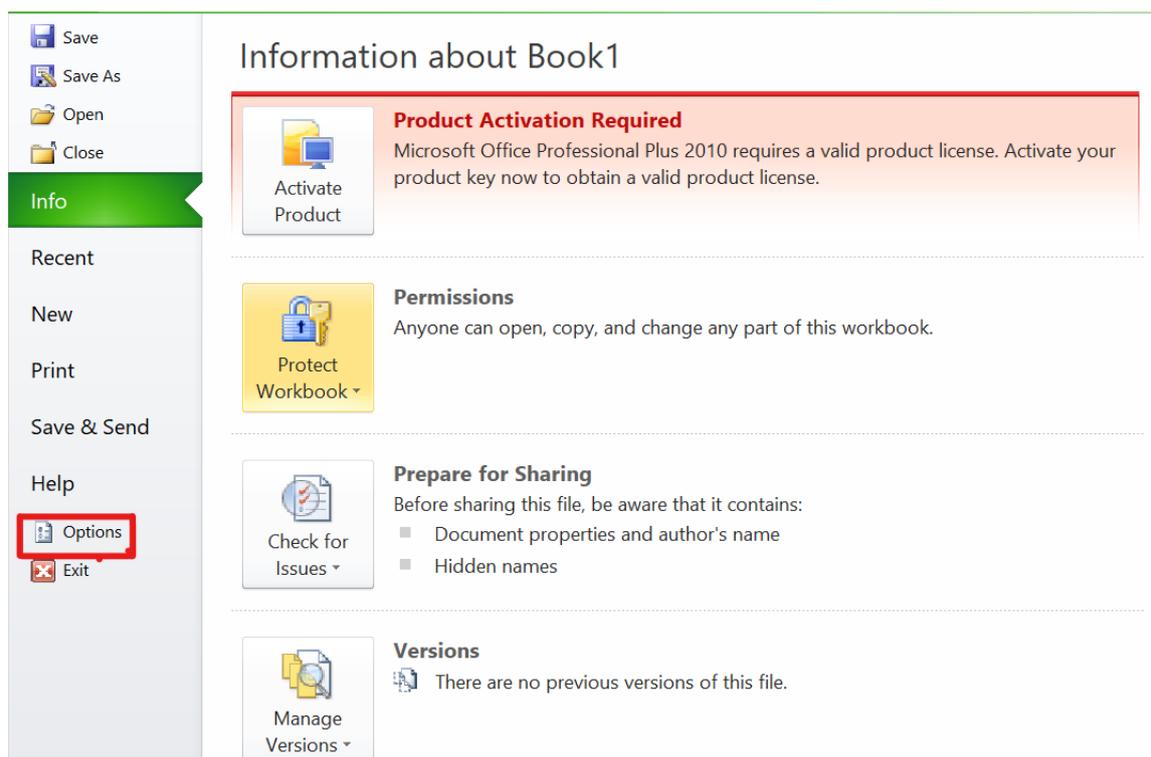


FIGURE 4.5 – Étape 1 pour ajouter solveur

Étape 4 : Dans la fenêtre Options Excel, sélectionnez "Add-Ins" dans la barre latérale gauche.

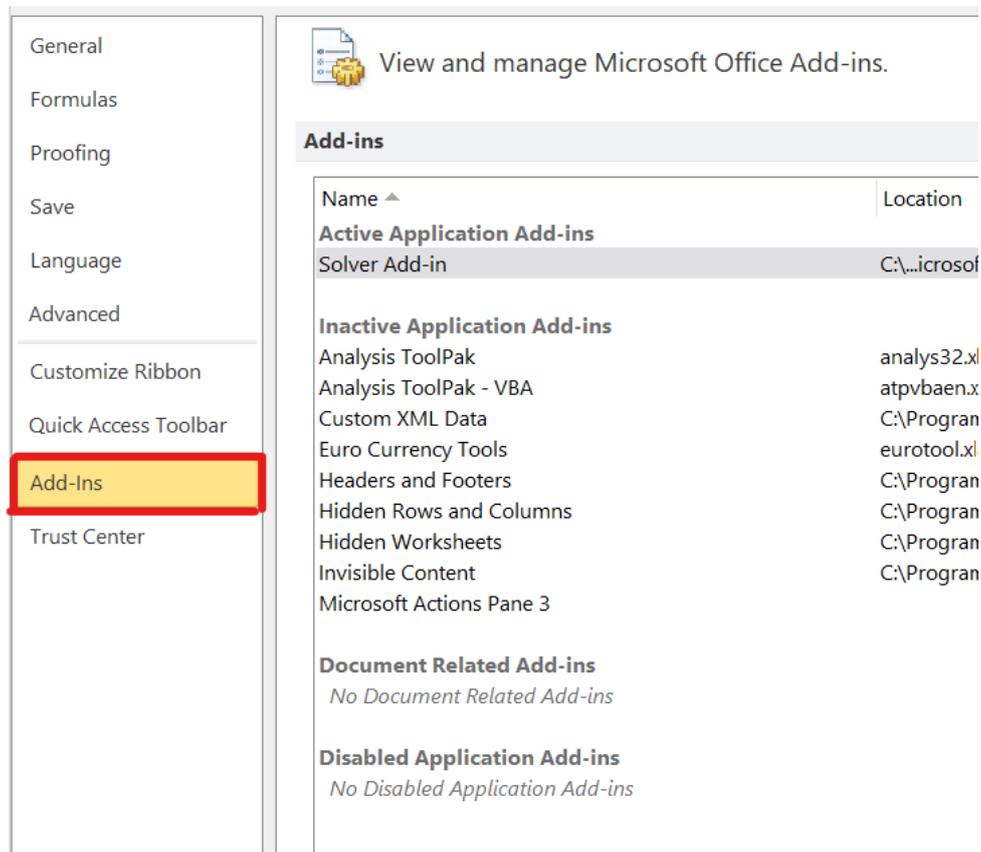


FIGURE 4.6 – Etape 2 pour ajouter solveur

Étape 5 : Au bas de la fenêtre , vous trouverez un menu déroulant intitulé "Gérer". Choisissez "Excel Add-ins" dans la liste et cliquez sur le bouton "Go".

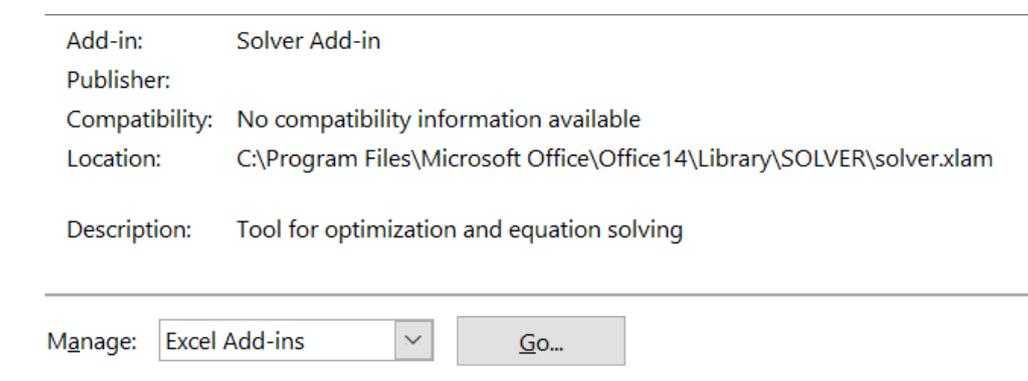


FIGURE 4.7 – Etape 3 pour ajouter solveur

Étape 6 : Dans la fenêtre , vous verrez une liste des compléments disponibles. Recherchez "Solver Add-in" et assurez-vous que la case à côté est cochée. Si elle n'est pas cochée, cliquez sur la case à cocher pour la sélectionner.

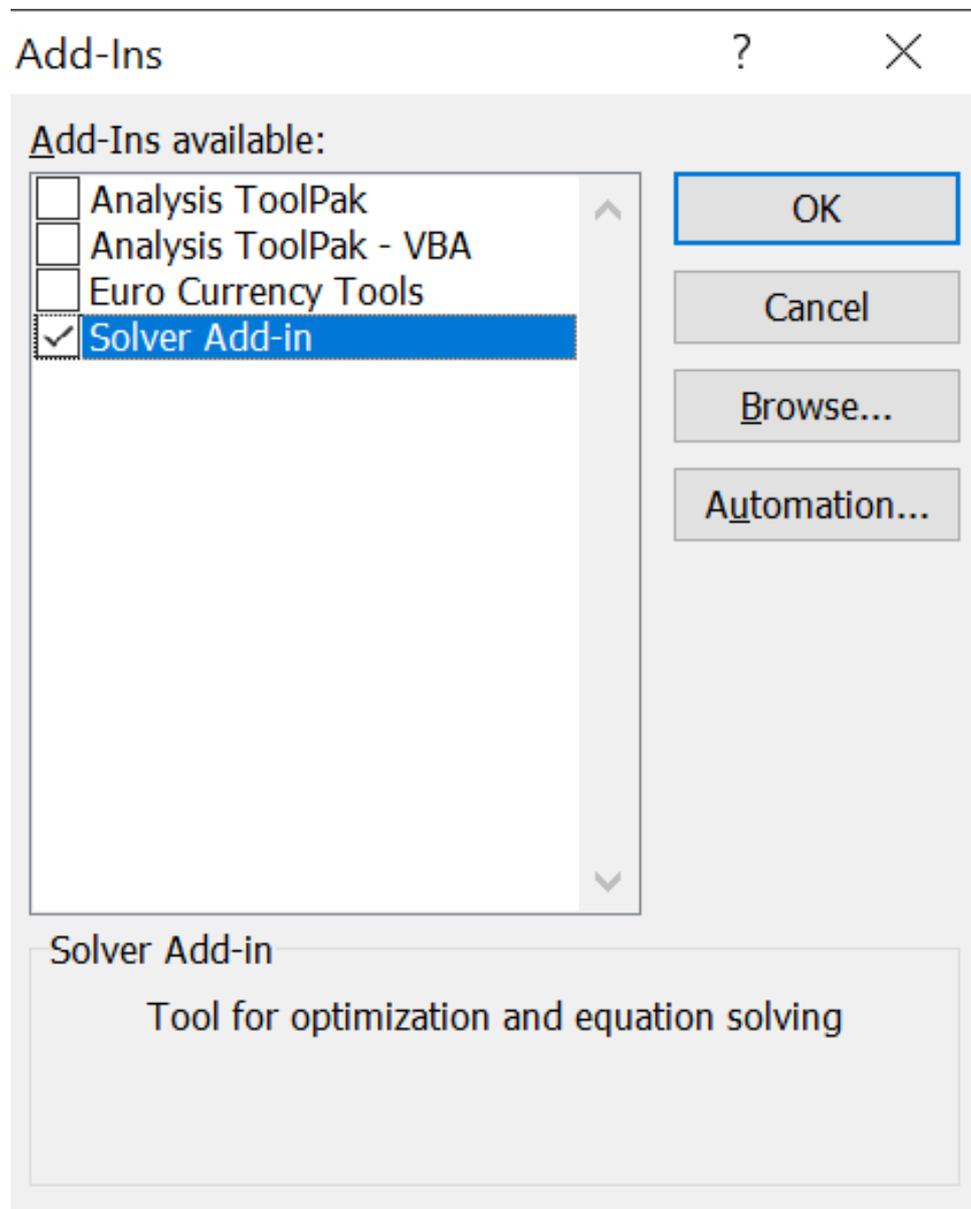


FIGURE 4.8 – Etape 4 pour ajouter solveur

Étape 7 : Cliquez sur le bouton "OK" pour fermer la fenêtre .

### 4.9.1 Intégration de modèle dans le solveur

Pour intégrer le modèle dans le solveur d'Excel, suivez les étapes suivantes.

**Etape 1.** déclaration de variable de decision .



FIGURE 4.9 – Déclaration de la variable de décision.

**Etape 2.** défintion des contraintes liée ou problèmmme.

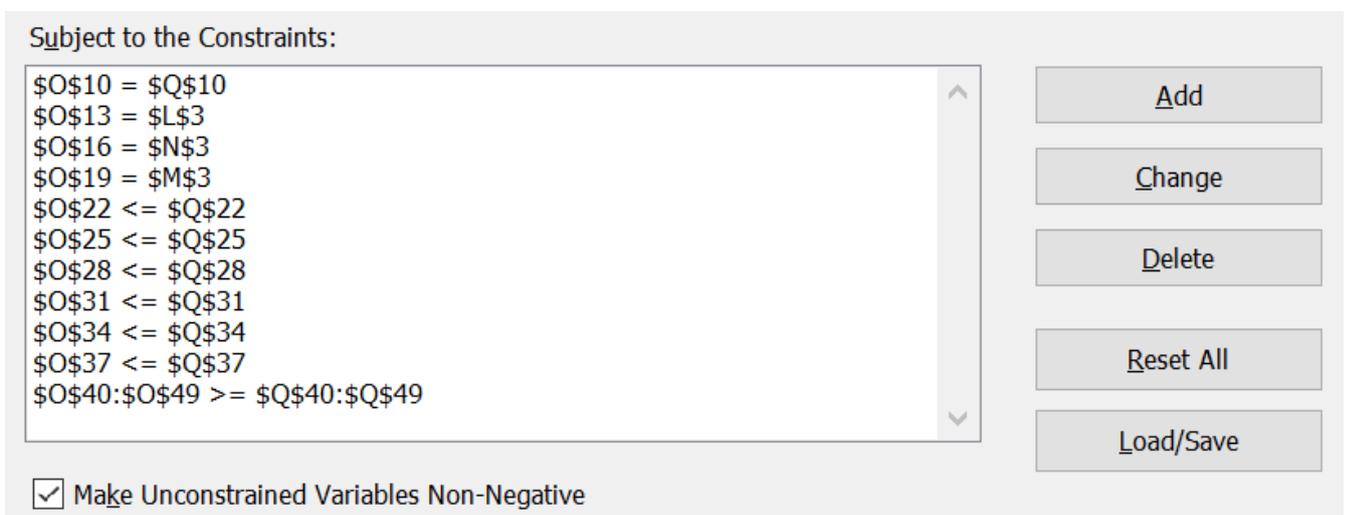


FIGURE 4.10 – Défintion des contraintes liée ou problèmmme.

**Etape 3.** Définition de la fonction objectif.

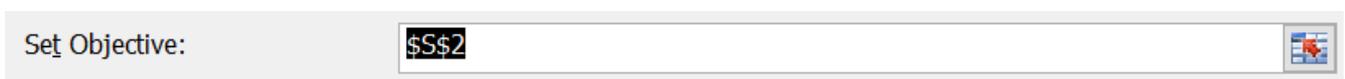


FIGURE 4.11 – Définition de la fonction objectif

**Etape 4.** Définition type d'optimisation .

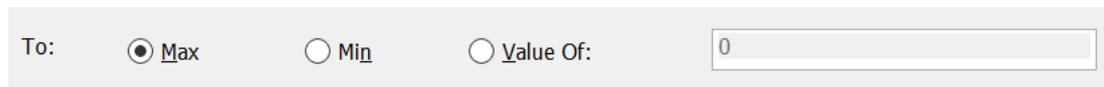


FIGURE 4.12 – type d'optimisation .

**Etape 5.** Choix de la méthode de résolution.

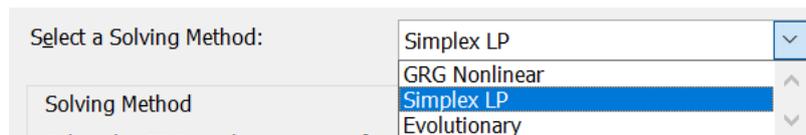


FIGURE 4.13 – Choix de méthode de résolution.

**Etape 6.** résoudre le problème .

cliquez sur le bouton "solve" pour résoudre le problème .

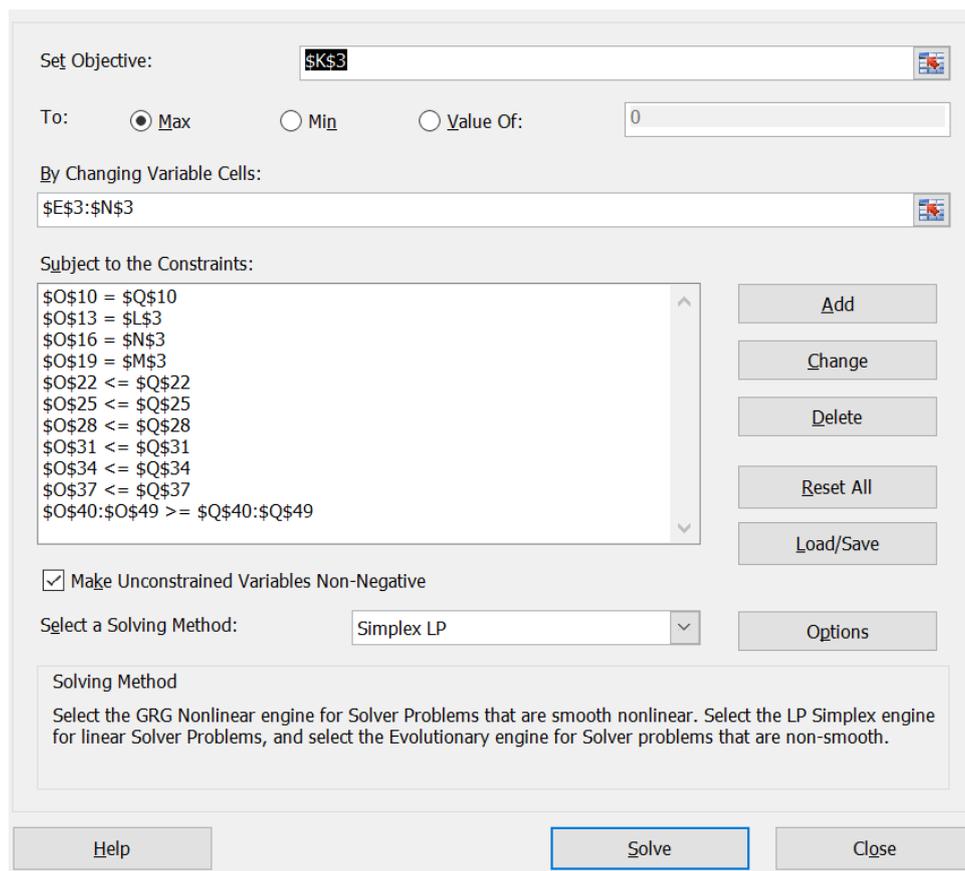


FIGURE 4.14 – Résolution du probleme

<b>Produit</b>	<b>Résultats(<math>m^3</math>)</b>
GPL	350,877
NS	3775,026
K1	0,0001
K2	4779,874
LGO	0,0001
FO	3600

TABLE 4.2 – Résultats de Excel solveur

La valeur de la fonction objectif trouvée par Excel solveur est  $12405.77 m^3$ .

La différence de résultats de la fonction objectif entre deux solveurs peut être revenir à la quantité de (GT).

## 4.10 Comparaison des résultats avec plan de production

<b>Produits</b>	<b>résultats de notre modèle (<math>m^3</math>)</b>	<b>plan de production(<math>m^3</math>)</b>
GPL	350.877193	342
NS	4870.508	4716
K1	0.001	1011
K2	4779.874014	879
LGO	2406.739	3388
FO	0.001	3562

TABLE 4.3 – Comparaison des résultats de gurobi solveur avec plan de production

<b>Produits</b>	<b>résultats de notre modèle (<math>m^3</math>)</b>	<b>plan de production(<math>m^3</math>)</b>
GPL	350.877193	342
NS	3775.026371	4716
K1	0.001	1011
K2	4779.874014	879
LGO	0.001	3388
FO	3600	3562

TABLE 4.4 – Comparaison des résultats de Excel solveur avec plan de production

On choisit les solutions de Excel solveur par ce qu'elle est augmentée la quantité de trois produits importantes pour les autres unités de raffinerie. Les quantités des produits fournies par le modèle augmentent, excepté pour le kérosène 1 (K1), LGO, NS. L'augmentation de ces trois produits semi-finis (NS, GPL, FO) est importante dans la raffinerie d'Alger, parce qu'ils sont représentés les matières premières de ces autres unités (NS pour MS block, GPL pour unité 300 et FO pour RFCC).

## 4.11 CONCLUSION

L'analyse des résultats de raffinage est essentielle pour garantir des opérations efficaces, rentables et respectueuses de l'environnement dans l'industrie pétrolière et gazière. Dans ce modèle, nous avons réussi à augmenter les quantités des produits (GPL, K2, FO) de l'unité 100, ainsi que (GPL, NS, FO) sont importants dans la raffinerie d'Alger. Les résultats de notre modèle montrent qu'en pratique, il est possible d'augmenter les quantités des produits en respectant la qualité et la quantité qu'on peut stocker.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

En conclusion, notre travail porte sur l'optimisation de la production de l'unité 100 (unité de distillation atmosphérique) de la raffinerie d'Alger. Nous avons développé un modèle mathématique qui permet de maximiser la production des produits finis et semi-finis tout en respectant les contraintes de qualité et de stockage ainsi que celle de bilans matières. Les contraintes de qualité sont imposées par les normes internationales et les contraintes de stockage sont limitées pour chaque produit.

Notre objectif principal est de trouver un modèle qui maximise les quantités de produits finis et semi-finis de l'unité 100. Nous avons défini les variables du modèle, telles que la charge de pétrole brut, la quantité de gaz torché, les quantités de différents produits tels que le naphta stabilisé, le kérosène, le gazoile léger et le fuel oil, ainsi que les quantités stockées pour certains produits.

Le modèle repose sur la programmation linéaire, une méthode d'optimisation mathématique. Nous avons formulé les contraintes du problème, y compris les contraintes de bilan matière, les contraintes de qualité et les contraintes de stockage. L'objectif est de maximiser la fonction objective qui représente la somme des quantités des produits finis et semi-finis.

En utilisant des données numériques spécifiques à notre étude, nous avons présenté le programme linéaire correspondant qui traduit le problème en termes mathématiques. Le nombre de variables et de contraintes a été déterminé, ce qui permet de choisir la méthode de résolution appropriée et d'estimer les ressources nécessaires.

En conclusion, on a réussi à résoudre ce modèle en utilisant des méthodes exactes à l'aide de Python et Solveur de Excel. Notre modèle mathématique basé sur la programmation linéaire offre une approche pour optimiser la production de l'unité 100 de la raffinerie d'Alger. Ce modèle peut être utilisé comme outil d'aide à la décision pour améliorer l'efficacité et la rentabilité de l'unité de distillation atmosphérique.

# Bibliographie

- [1] *Encyclopédie LAROUSSE*. LAROUSSE, Paris, 2007.
- [2] M. ALIK. Présentation raffinage de pétrole, juillet 2010.
- [3] Anonyme. Occupational safety and health administration (oshas), 1996.
- [4] Anonyme. Economie de l'aval de la chaîne pétrolière. IAP, 2015. Publication anonyme.
- [5] M. Bezoui. Résolution de problème d'optimisation linéaire avec python et le package pulp, 2023.
- [6] G. Dantzig. La programmation dans une structure linéaire. *Econometrica*, 19(4) :338–347, 1951.
- [7] G. Dantzig, A. Orden, and P. Wolfe. La méthode du simplexe généralisée pour maximiser une forme linéaire sous des contraintes linéaires d'inégalité. *Pacific Journal of Mathematics*, 5(2) :183–195, 1955.
- [8] R. S. Kraus. Encyclopédie de sécurité et de santé au travail chapitre 78 : Le raffinage du pétrole, 2016.
- [9] S. Lounnaci and H. Toumert. Optimisation des mélanges d'essences. Master's thesis, UMMTO, 2016.
- [10] Sonatrach. Activités opérationnelles de sonatrach, 2023. Publication interne de Sonatrach.