

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou
Faculté des Sciences
Département de Mathématiques

*Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention
d'un diplôme de Master en Recherche Opérationnelle*

Thème

Optimisation des mélanges d'essences

Cas Raffinerie d'Alger

Présenté par :

M^r. LOUNNACI Said

M^r. TOUMERT Hakim

Encadré par :

M^r. SADI Bachir (UMMTO)

M^{me}. DAIDE Dalila (SONATRCH)

Membres de jury :

Président :

M^r. KASDI Kamel

UMMTO.

Examineur :

M^r. AOUANE Mohouhand

UMMTO.

Tizi-Ouzou, 26 Juin 2016.

** Remerciements **

*Avant tout, nous remercions Dieu de nous avoir donné le courage et la
foie pour mener à bien ce travail, malgré tout les obstacles.*

*Nos sincères remerciements s'adressent également au membres de jury
pour avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Nous tenons également à remercier tout ceux qui ont contribué de près ou
de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

Merci beaucoup.

** Dédicaces **

Je dédie ce modeste travail :

*Aux deux personnes les plus nobles et les plus chères au monde :
MON PÈRE et MA MÈRE qui ont sacrifié les plus belles années de
leurs vies pour me voir un jour réussir, et qui m'ont soutenus jusqu'à
la fin.*

*À Mon FRÈRE et à mes SOEURS, qui n'ont jamais cessé de
m'encourager.*

*À notre PROMOTEUR et ENCADREUR qui ont été vraiment
un grand soutien.*

À Mes très chers amis et camarades.

À tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin.

ABDERRAHIM, HAMID, MAZIGHE, HICHEM, DA MOH et HAKIM .

LOUNNACI Said

Dédicaces

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur .

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'y est très chère, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma MÈRE.

À mon PÈRE, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.

Que dieu les gardes et les protège.

À ma sœur À mes frères.

À mes grands parents.

À mes amis et à tous ceux qui avec j'ai rencontré dans mon parcours d'étude.

À mon binôme : Said.

À tous ceux qui me sont chères. À tous ceux qui m'aiment. À tous ceux que j'aime.

À toute la promotion 2016.

À tous ceux qui j'ai eu le plaisir de partager mes années d'étude.

ABDERRAHIM, HAMID, MAZIGHE, HICHEM et SAID .

Je dédie ce travail.

T. Hakim.

Table des matières

Table des matières	i
Table des figures	iv
Introduction générale	1
1 Présentation de l'Entreprise	2
1.1 SONATRACH en bref [4, 12]	2
1.1.1 Organisation	3
1.2 L'activité liquéfaction, raffinage et pétrochimie(LRP)	6
1.2.1 Raffinerie d'Alger	7
1.2.2 Raffinerie de Skikda	7
1.2.3 Raffinerie d'Arzew	8
1.2.4 Raffinerie Hassi Messaoud	8
1.2.5 Raffinerie d'Adrar	8
2 Définitions et Généralités	9
2.1 Introduction	9
2.2 Pétrole brut	10
2.2.1 Propriétés du pétrole brut	10
2.3 Raffinage	12
2.3.1 Les procédés de fractionnement (séparation)	13
2.3.2 les procédés de transformation	15
2.3.3 les procédés de finition	16
2.3.4 Les procédés de protection de l'environnement	17
2.4 Les unités de mélanges	17
2.5 Les produits pétroliers	18
2.5.1 a) Les essences	18

2.5.2	Le gasoil	19
2.5.3	Kérosène	20
2.5.4	Le Naphta	20
2.5.5	Le Fuel	20
2.5.6	Lubrifiants	20
2.5.7	Bitume	20
2.5.8	Solvants	21
2.6	Conclusion	21
3	Méthode de résolution	22
3.1	Introduction	22
3.2	La programmation Linéaire [9, 11]	24
3.2.1	Formes d'un programmes linéaires	24
3.3	Choix de la méthode de Résolution	25
3.3.1	Méthode du Simplexe ordinaire	26
3.3.2	Le simplexe révisé [10]	27
3.4	Logiciels de programmation linéaire	32
3.4.1	Présentation de LINGO [8]	32
3.5	conclusion	33
4	Problématique	34
4.1	Introduction	34
4.2	Description du problème	34
4.3	Contraintes liées au problème	35
4.4	Modélisation mathématique	35
4.4.1	Paramètres du modèle	36
4.4.2	Programme linéaire correspondant	43
4.5	Taille du Problème	43
4.6	Conclusion	44
5	Présentation de l'application et Analyse des résultats	45
5.1	Introduction	45
5.2	Présentation de l'application	45
5.3	Les résultats observés	51
5.3.1	<u>L'horizon 2020</u> :	51
5.3.2	<u>L'horizon 2030</u>	53

Table des matières	iii
5.3.3 Conclusion	55
Conclusion générale	56
Bibliographie	57

Table des figures

1.1	Organisation de SNATRACH	5
1.2	Carte de raffineries en Algerie	6
2.1	Exemple d'une raffinerie	10
2.2	Shéma générale d'une raffinerie	13
2.3	Les principales coupes pétrolières avec leur intervalle de température d'ébullition	14
2.4	Les produits pétroliers	18
3.1	Ensembles convexe et ensembles non convexe	23
4.1	Procédé de raffinage du brut	41
5.1	Page d'accueil	46
5.2	Menu principale du logiciel	46
5.3	Fenêtre Bases	47
5.4	Fenêtre Bases avec la caractéristique Densité	48
5.5	Fenêtre Produits finis	48
5.6	Fenêtre Spécifications	49
5.7	Fenêtre Résolution	49
5.8	Fenêtre Résolution pour l'année 2020	50
5.9	Fenêtre A propos	50
5.10	Les quantités de bases en proportion des produit finis	55

Introduction générale

Dans un environnement marqué par la mondialisation, l'évolution, la concurrence, la complexité ainsi que les exigences du marché, les entreprises doivent faire preuve de dynamisme pour s'adapter rapidement aux nouvelles exigences et savoir saisir les opportunités.

Soucieuse d'améliorer la qualité des produits, d'optimiser le potentiel de production, et de répondre aux besoins du marché en carburants, la division raffinage de la société SONATRACH mène en continu plusieurs projets de modernisation et de développement pour s'engager dans une démarche globale d'optimisation des carburants dans le but de d'obéir aux normes internationales, et augmenter la marge des gains de l'entreprise.

Notre travail s'inscrit dans l'optique de l'optimisation des mélanges d'essences dans les raffineries algériennes (cas raffinerie d'Alger). Nous avons opté pour le plan suivant :

- En premier lieu, nous allons donner un aperçu général sur la société national SONATRACH, sa structure et son organisation ;
- En deuxième lieu, pour le bon avancement du projet nous allons définir les différents termes et notions utilisés dans l'industrie des hydrocarbures ;
- Les éléments fondamentaux de la programmation linéaire qui sont indispensables à l'élaboration d'une solution du problème étudié font objet du troisième chapitre ;
- Après être familiarisé avec les notions nécessaires, nous allons entamer la modélisation du problème et définir le type et le modèle mathématique du problème étudié en ayant recours aux techniques de modélisation et aux données concoctées au sein de l'entreprise ;
- Le cinquième chapitre est consacré à la présentation du programme réalisé ainsi que son implementation et à la discussion des résultats obtenus ;
- A la fin, nous terminerons par une conclusion et des perspectives.

CHAPITRE 1

Présentation de l'Entreprise

1.1 SONATRACH en bref [4, 12]

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 US. 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.

Adoptant une stratégie de diversification, 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.

Ses missions

- Le raffinage des hydrocarbures et dérivés et toutes les opérations qui lui sont liées.
- Le développement de toutes formes d'activités conjointes en Algérie et à l'étranger.
- Le respect des spécifications et la qualité des produits raffinés.

Ses objectifs stratégiques

- La réhabilitation des installations des raffineries pour un maintien en bon état de fonctionnement à moyen et long terme.

- La modernisation de l'instrumentation de l'ensemble des installations des raffineries pour un meilleur contrôle et fiabilité du fonctionnement.
- Le respect des normes évolutives des produits raffinés sur les marchés, national et international.

Produits de SONATRACH

Une gamme variée de produits raffinés aux normes actuelles nationales et internationales est produite à partir des raffineries de SONATRACH :

- Du butane et du propane
- Des essences normal, super, de l'essence sans plomb mise à la disposition du marché national et exportée
- Du naphta¹
- Du kérosène
- Du gasoil dont 50% de la production exportée à partir de la raffinerie de Skikda est à moins 350 ppm grâce à la maîtrise des flux de bruts alimentant la raffinerie
- Des fuels ²
- Des aromatiques : benzène, toluène³, xylènes⁴
- Des bitumes routiers
- Des lubrifiants

1.1.1 Organisation

La Direction Générale du Groupe Sonatrach est assurée par Monsieur *Amine MAZOUZI*, Président Directeur Général, depuis le 25 Mai 2015. Monsieur le Président Directeur Général a procédé le mercredi 18 novembre 2015, à la signature de la décision A-001 (R29), portant nouveau schéma d'organisation de la macrostructure de Sonatrach.

Cette action s'inscrit dans le cadre de l'évolution de l'environnement aussi bien interne qu'externe qui exige de l'entreprise d'adapter son schéma d'organisation et son mode de gestion pour faire face aux défis, notamment ceux inscrits dans son plan à moyen terme, à savoir l'augmentation du niveau de la production et des réserves en amont et la réalisation des projets de raffinage et de pétrochimie en aval.

¹ Liquide transparent, issu de la distillation du pétrole

² Huile lourde ou moyenne tirée de la distillation

³ Hydrocarbure liquide proche du benzène utilisé dans la fabrication des peintures

⁴ Hydrocarbure liquide extrait du goudron, utilisé dans la fabrication des solvants

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 assurer 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 quatre (04) Activités Opérationnelles et onze (11) Directions Fonctionnelles :

a) Les Activités Opérationnelles

1. L'Activité Exploration - Production (E&P) ;
2. L'Activité Liquéfaction, Raffinage et Pétrochimie (LRP) ;
3. L'Activité Transport par Canalisations (TRC) ;
4. L'Activité Commercialisation (COM).

b) Les Directions Fonctionnelles

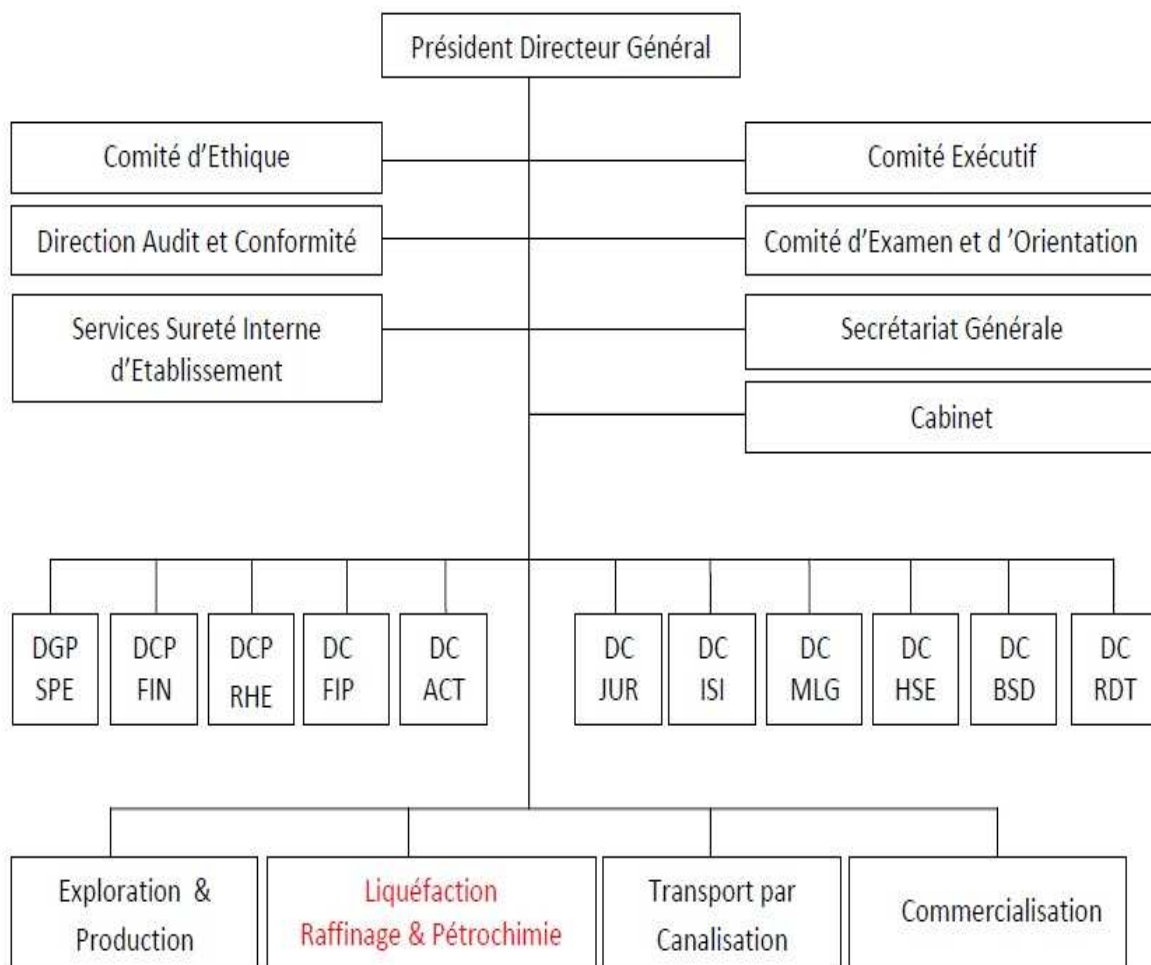
• **Direction Corporate**

1. Stratégie, Planification & Économie (SPE) ;
2. Finances (FIN) ;
3. Ressources Humaines (RHU).

• **Direction Centrale**

1. Filiales & participations (FIP) ;
2. Activités Centrales (ACT) ;
3. Juridique (JUR) ;
4. Informatique & Système d'Information (ISI) ;
5. Marchés et Logistique (MLG) :

- 6. Santé, sécurité & environnement (HSE) ;
- 7. Business Développement (BSD) : nouvelle direction chargée de détecter des opportunités de croissance, d'évaluer et de lancer des nouveaux projets dans les activités de base de l'entreprise ;
- 8. Recherche & Développement (RDT) : nouvelle direction chargée de promouvoir et de mettre en œuvre la recherche appliquée et de développer des technologies dans les métiers de base de l'entreprise.



DCP : Direction Corporate
 DP : Direction Centrale

FIG. 1.1 – Organisation de SNATRACH

1.2 L'activité liquéfaction, raffinage et pétrochimie(LRP)

La problématique étudiées dans ce mémoire est proposée par l'activité LRP, c'est au sein de cette structure qu' on a effectuer notre stage pratique, qui consiste à optimiser l'opération des mélanges des essences

L'activité Liquéfaction, Raffinage et Pétrochimie (LRP) couvre le développement et l'exploitation des complexes de liquéfaction de gaz naturel, de séparation de GPL, de raffinage et des gaz industriels.

Sonatrach dispose à travers l'activité (LRP) de cinq raffineries :

- Alger, avec une capacité de traitement de pétrole brut de 2,7 millions de tonnes /an ;
- Skikda, avec une capacité de traitement de pétrole brut de 16,5 millions de tonnes/an ;
- Arzew, avec une capacité de traitement de pétrole brut de 3,75 millions de tonnes/an ;
- Hassi Messaoud, avec une capacité de traitement de pétrole brut de 1,1 millions de tonnes/an ;
- Adrar, en partenariat, avec une capacité de traitement de pétrole brut de 600 000 tonnes/an.



FIG. 1.2 – Carte de raffineries en Algérie

1.2.1 Raffinerie d'Alger

La raffinerie d'Alger est un complexe de traitement de pétrole brut. Elle est implantée à Sidi Arzine (Baraki) à une vingtaine de kilomètres à l'est d'Alger. Sa superficie est de 182 hectares (Bâti et clôture 96 hectares). Elle a été mise en service en Février 1964 par un groupement de compagnies étrangères. La raffinerie d'Alger, par abréviation "RA1G", la totalité des actions sont détenues par le groupe SONATRACH. Elle traite le pétrole brut provenant de HASSI MESSAOUD, pour satisfaire la demande sans cesse croissante du centre du pays en carburants (Essence, Kérosène et Gasoil) et exporter d'autres produits tels que le naphta et le fuel . Pour ce faire, la raffinerie d'Alger dispose des installations suivantes :

- Une unité de distillation atmosphérique TOPING
- Une unité de reforming catalytique PLATFORMING
- Une unité de séparation du gaz liquide GAS PLANT
- Une centrale thermoélectrique : pour les besoins énergétique
- Un parc de stockage : composé de 37 bacs
- Une Pomperie d'expédition.

Actuellement, la capacité de traitement au niveau de la raffinerie RA1G est de 2.700.000 tonnes par an. L'effectif de la raffinerie d'Alger au 31/10/2007, est de 573 agents permanents et 48 agents temporaires Par ailleurs, une opération de réhabilitation de l'outil de production a été entamée. Elle permettra d'exploiter la raffinerie en toute sécurité et mettre sur le marché des produits répondant aux normes internationales.

1.2.2 Raffinerie de Skikda

La raffinerie traite du pétrole brut provenant de Hassi Messaoud et le brut réduit importé pour satisfaire la demande du marché national et du marché extérieur. Le démarrage de la construction fut le 02 Janvier 1976, et la production en Mars 1980.

Elle est la plus importante dans le pays, d'une capacité de 5 000 000 t/an de brut réduit importé.

Les principales installations de cette raffinerie sont :

- Deux unités de distillation atmosphérique de 7.5 millions de tonnes chacune
- Deux unités de reforming catalytique
- Une unité d'extraction de benzène et toluène
- Une unité de séparation paraxylène
- Une unité de production de bitumes routiers et oxydes

- Installation unitaire pour la production des besoins énergétiques (vapeur, eau, air, électricité ...)
- Une pomperie d'expédition de produit par pipes aux deux ports de Skikda et aux différents dépôts de distribution.

1.2.3 Raffinerie d'Arzew

La raffinerie d'Arzew a été réalisée dans le cadre du premier plan quinquennal entre 1970 et 1973. Troisième raffinerie du pays après celles d'Alger et de Hassi Messaoud, elle a été conçue pour traiter :

- Le pétrole brut de Hassi Messaoud
- Le brut réduit importé pour la production des bitumes, et cela pour satisfaire des besoins de consommation en carburants, lubrifiants et bitumes du marché national et exporter les produits excédentaires (naphta, kérosène, gasoil).

1.2.4 Raffinerie Hassi Messaoud

Hassi Messaoud 1

Cette unité a démarré en 1962 avec une capacité de 200.000 t/an; elle traite le brut stabilisé de Hassi Messaoud pour obtenir du butane, kérosène et du gasoil pour les besoins locaux. Les excédents de produits sont réinjectés dans le pétrole brut et expédiés au nord du pays.

Hassi Messaoud 2

Elle a démarré en 1980 et elle a été conçue pour traiter 1.07 Mt/an du brut de Hassi Messaoud. Elle est alimentée à partir du centre de production de SONATRACH. Elle produit des essences, du kérosène, et du gasoil pour les besoins de la consommation du sud du pays.

1.2.5 Raffinerie d'Adrar

Cette raffinerie est opérationnelle depuis le mois de mai 2007 et dispose d'une capacité de production de 600 000 tonnes par an. Exploitée par la société China National Petroleum Corporation, une entreprise publique appartenant à l'État chinois.

CHAPITRE 2

Définitions et Généralités

2.1 Introduction

Le raffinage du pétrole désigne l'ensemble des traitements et transformations visant à tirer du pétrole le maximum de produits à haute valeur commerciale. Selon l'objectif visé, en général, ces procédés sont réunis dans une raffinerie. La raffinerie est l'endroit où l'on traite le pétrole pour extraire les fractions commercialisables.

Le pétrole, mélange de différents produits hydrocarbonés, doit subir une série de traitements divers pour être utilisable dans les moteurs à combustion et dans les différentes branches de l'industrie. Très souvent, la qualité d'un brut dépend largement de son origine. Selon son origine, sa couleur, sa viscosité, sa teneur en soufre, son point d'écoulement, ou sa teneur en minéraux. Ainsi, les raffineries tiennent compte de ces facteurs.

Une raffinerie doit être conçue pour traiter une gamme assez large de bruts. Bien sûr, il existe des raffineries conçues pour traiter uniquement un seul brut, mais ce sont des cas particuliers où la ressource estimée en brut est assez importante. Il existe des raffineries simples ou complexes. Les raffineries simples sont constituées seulement de quelques unités de traitement tandis que les raffineries complexes en possèdent bien plus.



FIG. 2.1 – Exemple d'une raffinerie

Le pétrole, une fois arrivé à la raffinerie, est stocké dans des bacs de grande taille. En général, on stocke le pétrole à basse teneur en soufre (BTS) séparé de celui à haute teneur en soufre (HTS). Il en est de même dans le traitement. Selon la demande du marché, on traite d'abord dans un cycle avec du pétrole BTS avant de passer dans un cycle HTS afin d'éviter la contamination des produits BTS par ceux du HTS. Si c'est le cas inverse, les produits issus du traitement pendant quelques heures, s'il y a lieu, sont dirigés vers des bacs de produits HTS pour être retraités.

Nous nous sommes référés à [4, 5, 6, 7, 12] pour toutes les définitions qui suivent.

2.2 Pétrole brut

Le pétrole brut provient directement de l'exploitation d'un puits de pétrole, à l'issue des traitements de dessalage, de décantation de l'eau, et éventuellement de séparation de la phase gazeuse à pression et température ambiantes. Il se mesure en barils ou en m^3 .

On distingue trois grandes références commerciales de pétrole brut au niveau mondial :

- Le Brent, exploité en mer du Nord
- le WTI (West Texas Intermediate), exploité aux États-Unis
- le Dubaï Light pour l'Asie

2.2.1 Propriétés du pétrole brut

La masse volumique, la densité et le degré *API*

- La masse volumique d'une substance (*Density* en anglais) est le rapport de la masse sur le volume de la substance à une température déterminé.
- La densité d (*specific gravity* en anglais) est le rapport de la masse volumique ρ de la substance sur la masse volumique d'un fluide de référence (l'eau pour les liquides et les

- solides) ρ_{ref} dans des conditions déterminés de T (Température) et de P (Pression).
- Le degré API (du nom de "*American Petroleum Institute*") est un autre moyen pour exprimer la densité d'un brut. Plus le pétrole est lourd plus son degré API est faible.

$$API = \left(\frac{141.5}{d} \right) - 131.5 \quad (2.1)$$

Avec d la densité du pétrole brut par rapport à l'eau mesuré à 15,5°C.

Teneur en sel (*salt content*)

La teneur en sel est exprimée en milligrammes de chlorure de sodium $NaCl$ par litre de pétrole brut ou en (pounds/baril) de brut, cette teneur représente la quantité de sel dissoute dans l'eau présente dans le brut. Une teneur élevée de sel dans le brut provoque de graves problèmes de corrosion. Généralement une teneur de $NaCl$ supérieur à 10lb/1000 baril nécessite un dessalage.

Teneur en soufre (*Sulfur content*)

D'une manière générale, la teneur en soufre totale d'un brut est comprise entre 0.05 et 5 % en poids, rapports qui s'accordent avec la teneur en soufre des débris organiques qui sont à l'origine des pétroles bruts.

La détermination de la teneur en soufre du pétrole brut est importante car cette teneur est utilisée pour la détermination du prix du brut.

Point d'écoulement (*pour point*)

Le point d'écoulement pour un brut est la température la plus basse à laquelle le brut s'écoule (reste fluide) dans les conditions de test. Le but de ce test est d'indiquer la quantité des longues chaînes paraffiniques (la cire de pétrole ou petroleum Wax) contenues dans le brut.

la connaissance du point d'écoulement est importante pour la détermination des conditions de pompage du brut en hiver.

2.3 Raffinage

Le raffinage du pétrole est un procédé industriel qui permet de transformer le pétrole brut en différents produits finis tels que l'essence, le fioul lourd ou le naphta. Le pétrole brut est un mélange hétérogène d'hydrocarbures divers (molécules composées d'atomes de carbone et d'hydrogène), inutilisable en l'état. Ses composants doivent être séparés afin d'obtenir les produits finaux exploitables directement. On en distingue en général deux grands types :

- les produits énergétiques, 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.

Pour obtenir ces produits, le raffinage fait appel à une grande variété d'opérations unitaires qui sont réunies dans un réseau de procédés industriels. Entre les procédés de raffinage, il est possible de distinguer quatre grandes catégories :

- Les procédés de fractionnement (séparation)
- Les procédés de transformation
- Les procédés de traitement (finition)
- Les procédés annexes (protection de l'environnement)

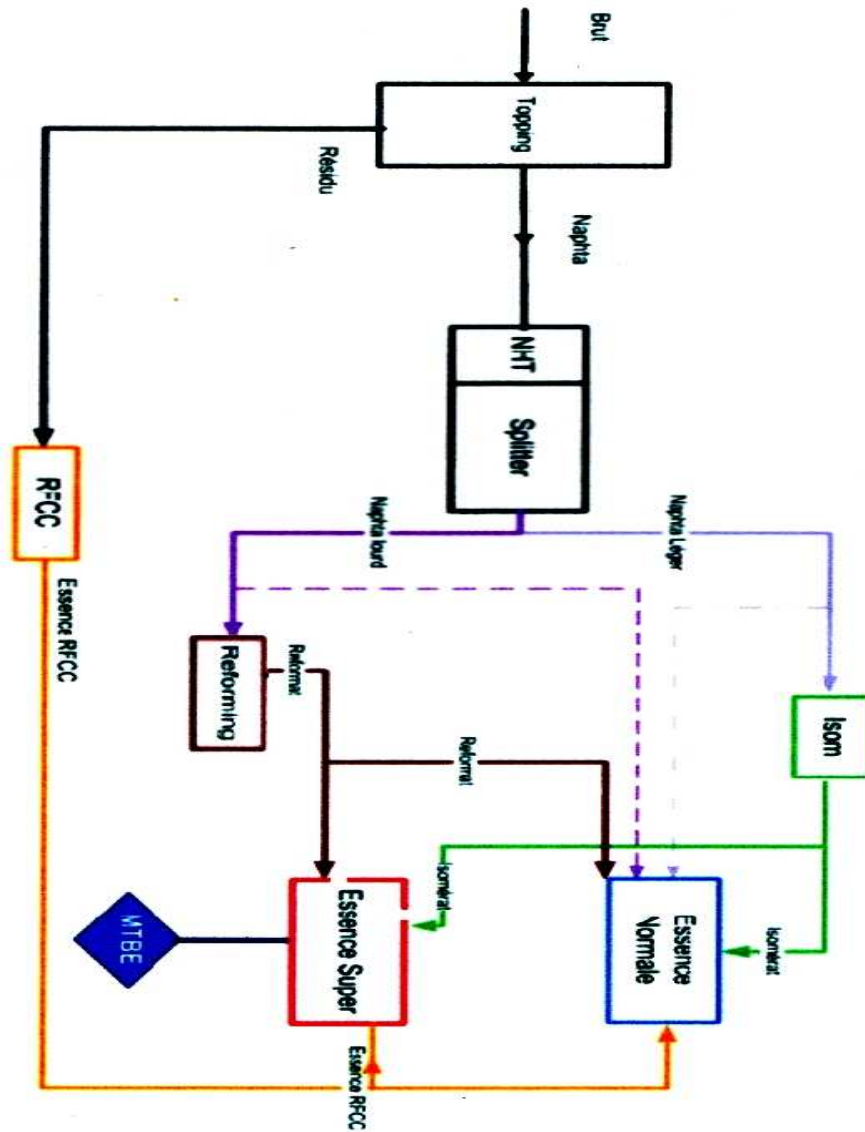


FIG. 2.2 – Shéma générale d'une raffinerie

2.3.1 Les procédés de fractionnement (séparation)

La première étape est celle de la séparation des molécules par distillation atmosphérique (c'est-à-dire à la pression atmosphérique normale), en fonction de leurs poids moléculaires.

Ce procédé consiste à chauffer à 350/400 °C pour en provoquer l'évaporation. Le chauffage s'effectue à la base d'une tour de distillation de 60 mètres de haut, appelée aussi topping. Les vapeurs de brut remontent dans la tour tandis que les molécules les plus lourdes, ou résidus lourds, restent à la base sans s'évaporer. À mesure que les vapeurs

s'élèvent, les molécules se condensent les unes après les autres en liquides, jusqu'aux gaz qui atteignent seuls le haut de la tour, où la température n'est plus que de 150 °C. À différents niveaux de la tour se trouvent des plateaux qui permettent de récupérer ces liquides de plus en plus légers. Chaque plateau correspond à une fraction de distillation, appelée aussi coupe pétrolière, depuis les bitumes (très visqueux) jusqu'aux gaz.

Les résidus lourds issus de cette distillation renferment encore beaucoup de produits de densité moyenne. On les soumet, dans une autre colonne, à une seconde distillation qui permet de récupérer plus de produits moyens (fiouls lourds et).

a) Distillation atmosphérique du pétrole brut

La distillation atmosphérique ou distillation primaire constitue la première et la principale étape du raffinage. Précédée d'une opération de dessalage (lavage à l'eau et à la soude) pour enlever les minéraux, cette opération permet de fractionner le pétrole brut en différentes coupes pétrolières, traditionnellement nommées coupes *Straight Run (SR)*. En tête de colonne, il est récupéré la coupe gaz puis les coupes essence, kérosène et gazole sont obtenues sur les plateaux intermédiaires de la colonne. Ces coupes seront ensuite soumises à des procédés d'amélioration de propriétés et/ou à des procédés de finition pour obtenir les produits pétroliers à haute valeur commerciale. La fraction non distillée du brut, appelé aussi résidu atmosphérique (*RA*), est soit utilisée directement comme fuel industriel, soit envoyée à la distillation sous vide.

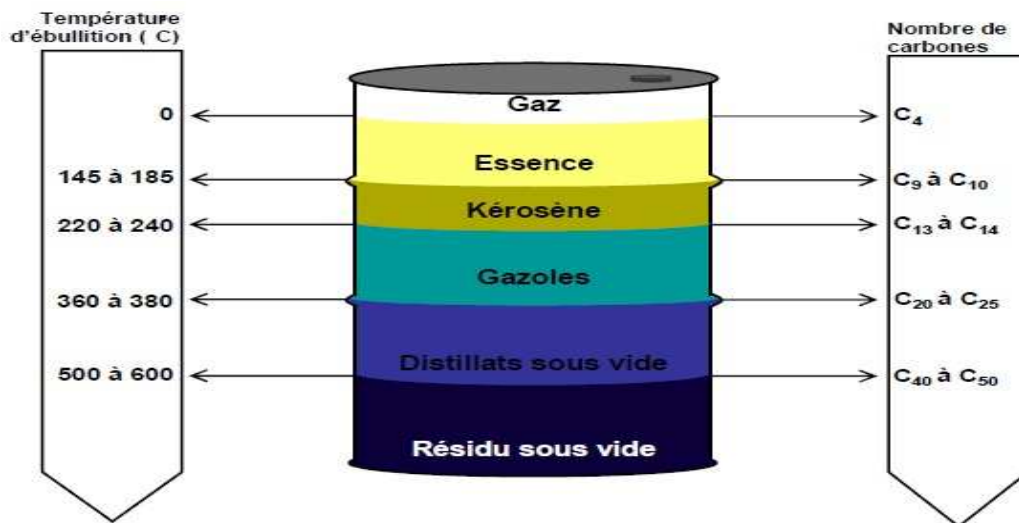


FIG. 2.3 – Les principales coupes pétrolières avec leur intervalle de température d'ébullition

b) Distillation sous vide

La distillation sous vide est une étape complémentaire de la distillation primaire. En effet, le résidu atmosphérique contient les molécules avec un point d'ébullition supérieur à 340-380°C. Au-delà de cette gamme de températures, les molécules commencent à subir des réactions de craquage thermique avant de s'évaporer. C'est pourquoi, la distillation du résidu atmosphérique est effectuée sous pression réduite.

c) Le désasphaltage

Ce procédé permet d'épuiser le résidu sous vide des derniers hydrocarbures encore facilement transformables.

2.3.2 les procédés de transformation

Ce sont les procédés majeurs du raffinage et de la pétrochimie, ils permettent de gérer des molécules nouvelles, aux propriétés adaptées à l'usage du produit, soit par arrangement moléculaire, soit par conversion des fractions légères.

Dans cette famille, nous distinguons deux grandes catégories :

- Les procédés d'amélioration de propriétés,
- Les procédés de conversion.

a) Les procédés d'amélioration de propriétés

- * **Reformage catalytique** : Le Reformage catalytique constitue le trait dominant du développement de l'industrie du raffinage. Il sert à produire des bases de carburant à haut indice d'octane ; cette amélioration de l'indice d'octane des coupes de naphta constitué principalement des essences de distillation atmosphérique résulte essentiellement d'une forte augmentation de la teneur en aromatique appelée réformat. En plus du reformat, le Reformage catalytique permet de dissocier les modules dihydrogène des molécules de carbone et de produire de l'hydrogène sous faible pression.
- * **Isomérisation** : cette réaction catalytique permet, en partant de n-paraffines de faible indice d'octane issu du reformage catalytique ou de distillation directe du pétrole brut, d'obtenir des isoparaffines présentant un indice d'octane beaucoup plus élevé.
- * **Alkylation** : En vue de la maximisation de la production des essences automobiles, ce procédé complémentaire au craquage catalytique ou parfois au vapocraquage fait intervenir des coréactifs.
L'opération se fait par ajout d'oléfines légères, généralement des butènes, à de l'iso

butène, ce qui permet de transformer les surplus de GPL produit par l'unité de craquage catalytique en Alkylat riche en iso parffines C8 caractérisé par un indice d'octane élevé.

b) Les procédés de conversion

* **Le craquage catalytique fluide (FCC)** : Le craquage catalytique est le procédé le plus important et le plus largement utilisé pour la production des essences. L'intérêt du FCC est, qu'il permet d'obtenir les meilleurs rendements en essences de bonne qualité (indice d'octane compris entre 91 et 94).

* **L'hydrocraquage (HDC)** : l'hydrocraquage est l'unité de raffinage la plus versatile qui soit. Il permet de faire passer la production d'une raffinerie d'un rendement maximum en essence à un rendement maximum en distillats moyens (Kérosène et gazole), et vice-versa. L'essence produite par cette unité est de bonne qualité et les distillats d'excellente qualité.

L'hydrocraquage diffère des autres procédés de craquage par le fait que le craquage se fait en présence d'hydrogène. Ceci permet l'obtention de produits légers de bonne qualité.

* **La viscoréduction** : contrairement aux deux procédés cités auparavant, dont le principe repose sur un traitement catalytique des distillats, la viscoréduction est un traitement thermique du résidu sous vide. Le but de ce procédé est de produire un maximum de coupes gazole et essence sur résidu atmosphériques, tandis que sur résidu sous vide, le but est de réduire au maximum la viscosité de la charge afin de minimiser l'addition du diluant léger en vue de la production d'un fuel à usage industriel.

* **La cokéfaction** : La cokéfaction est une forme sévère de craquage thermique qui permet de convertir les fuels lourds en carburants automobiles(essence et gazole) et autre produits légers. Ce procédé produit également du coke de pétrole, c'est à dire du carbone sous forme solide avec des quantités variables d'impuretés. Celui-ci peut être utilisé comme combustible.

2.3.3 les procédés de finition

Ces procédés permettent d'éliminer les composés indésirables.

* **Les hydrotraitements** : C'est l'ensemble des procédés destinés à traiter par l'hydrogène, en présence d'un catalyseur, un certain nombre de fractions pétrolières. l'objectif essentiel étant l'élimination des impuretés (composé sulfurés, oxygénés ou azotés,

métaux) soit dans les charges des diverses unités renfermant des catalyseurs sensibles au reformage et au craquage, soit dans les produits finis soumis à des spécifications strictes de la qualité (teneur en soufre, stabilité au stockage...).

* **Les procédés d'adoucisement** : Le but de cette opération est d'obtenir une réduction de la teneur en soufre des fractions légères.

Les fractions concernées sont les produits légers de la distillation atmosphérique : GPL, Kérosène, ou les produits légers des craquages thermiques et catalytiques (viscoréduction, cokéfaction, FCC).

2.3.4 Les procédés de protection de l'environnement

* **Le Traitement des gaz acides** : Les gaz acides sont constitués principalement d'hydrogène sulfuré H_2S ils proviennent essentiellement des purges des unités d'hydrotraitement. de plus faibles quantités ils sont également produits dans les unités de cracage thermique et du craquage catalytique, l'objectif du traitement des gaz acides est la désacidification des gaz naturels qui sert à enlever le H_2S et le CO_2 des gaz naturels mais aussi les composé organiques soufrés tels que COS, RSH...

* **Le Traitement des eaux de rejet** : Les eaux polluées proviennent des unités de distillation primaire, des unités de craquage thermique et du craquage catalytique. Elles contiennent principalement des sels. Le traitement de ces eaux consiste à éliminer les matières en suspension dans l'eau (éléments solides ou liquides, plus grossier susceptible de gêner ou d'endommager les équipements).

Remarque 2.3.1. Il existe d'autres procédés on a cité les plus reperdus dans l'industrie des hydrocarbures.

2.4 Les unités de mélanges

Les produits intermédiaires issus des unités de raffinage sont rarement des produits commerciaux (finis) ils ne peuvent être vendus tels quels. Pour être commercialisables, ceux-ci sont mélangés avec des proportions variables selon les spécifications techniques des produits finis. Ces spécifications techniques sont internationales et obéissent à des définitions précises basées sur les normes.

En raffinerie, pour faire des mélange, on utilise des appareils doseurs avec contrôle automatique. Une fois le mélange est fait, on procède à une analyse au laboratoire afin d'approcher le plus possible des spécifications attendues. Pour des raisons économiques, ces spécifications sont respectées avec des propriétés légèrement inférieures aux normes.

2.5 Les produits pétroliers

Les produits pétroliers sont des dérivés utilisables du pétrole brut issus de son raffinage. Contrairement aux composés pétrochimiques, qui sont des composés chimiques de base, les produits pétroliers sont des mélanges complexes. La majorité du pétrole est converti en produits pétroliers dont plusieurs types de carburants.

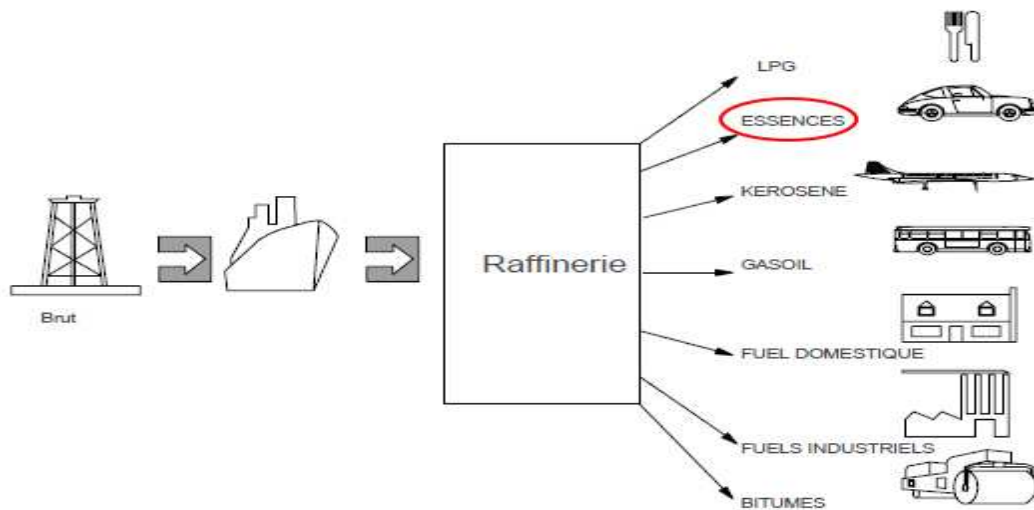


FIG. 2.4 – Les produits pétroliers

2.5.1 a) Les essences

L'essence désigne les carburants, les combustibles liquides et volatiles utilisés dans les moteurs à allumage par étincelle. Ils sont formés en mélangeant un certain nombre de fractions pétrolières (bases) issues des procédés de raffinage avec des quantités variantes. Ils sont caractérisés par :

1) Indice d'octane

l'indice d'octane est une caractéristique essentielle qui détermine la qualité de l'essence. Il caractérise ces propriétés antidétonantes provoquées par un allumage prématuré ce qui assure une haute performance du moteur avec une puissance accrue par suite une combustion en douceur du carburant.

2) La densité

la connaissance de la densité est très essentielle pour effectuer des bilans massiques et pour calculer la puissances des pompes, elle caractérise la consommation et la puissance de l'essence dans le moteur.

3) Tension de la Vapeur Ried (TVR)

Elle caractérise la volatilité de l'essence, c'est à dire sa teneur en éléments légers susceptibles de faciliter le démarrage à froid. Autre que la volatilité, la TVR renseigne sur les problèmes de pertes liés à la volatilité et aux coûts de stockage et de transport.

4) Teneur en soufre

Le soufre provoque la corrosion des réservoirs et réduit la durées de vie des catalyseurs et leur efficacité. La réduction de la teneur en soufre permet d'abaisser les émissions globales de gaz carbonique CO_2 et de gaz à effet de serre nocifs à l'environnement.

D'après les caractéristiques citées ci-dessus, on peut distinguer deux types d'essences :
Essence super : utilisée pour l'alimentation des moteurs automobiles, et caractérisée par un indice d'octane élevé en l'absence du plomb.

Essence normale : utilisée également pour les moteur automobiles mais de qualité inférieure à celle de l'essence super.

b) Les bases

Ce sont des produit pétroliers semi finis issues des procédés de raffinage. Ses bases sont mélangées avec des proportions variables pour obtenir des produit finis (essence super et normale). Notons aussi que chaque base possède ces propres caractéristiques (TVR, Indice d'octane et densité).

Dans notre étude on dispose de onze bases (Butane, Isopentane, Platformat,.....ets).

2.5.2 Le gasoil

Ce carburant est destiné à l'alimentation des moteurs diesel routiers et non routiers tels que les véhicules, les engins de travaux publics, les tracteurs agricoles, les bateaux de pêche ...etc. Il est aussi utilisé pour le chauffage domestique.

2.5.3 Kérosène

Ce carburant est destiné à allumer les brûleurs de turbo réacteurs et propulseurs d'avion et les engins militaires terrestres. Les spécifications concernant ce produit sont :

1. La résistance au froid : le point de congélation doit être inférieur à -50°C ,
2. La densité : elle conditionne le pouvoir calorifique,
3. Une basse teneur en soufre pour limiter la corrosion,
4. La teneur en aromatique est élevée.

2.5.4 Le Naphta

Issu de la distillation atmosphérique du pétrole brut principalement, c'est une coupe semblable aux essences servant de base de mélange aux carburants automobiles.

Le Naphta est la matière privilégiée de l'industrie pétrochimique. Il n'est pas utilisé pour la consommation finale, c'est un intermédiaire industriel.

2.5.5 Le Fuel

Il existe le fuel domestique et les fuel lourds.

- Le fuel domestique : possède des caractéristiques très voisines de celle de gasoil, il est utilisé surtout pour le chauffage des locaux et comme combustible pour les engins à moteur lent (engins agricoles...).
- Le fuel lourd : est un combustible visqueux, utilisé surtout pour la génération électrique et également comme carburant pour les moteurs des gros navires (pétroliers).

2.5.6 Lubrifiants

Toute pièce en mouvement doit être lubrifiée. Un lubrifiant est une matière onctueuse, liquide ou solide, qui a la propriété d'atténuer le frottement et l'usure des pièces de lubrifiants qui répondent à des utilisations particulières : huile pour les moteurs, huile pour les transmissions hydrauliques.

2.5.7 Bitume

C'est le produit pétrolier le plus lourd, dont 90% de la production sont destinés à la fabrication des revêtements routiers, le reste est destiné à des usages industriels et participe à la réalisation des membranes d'étanchéité pour les toitures et les bassins, des piles et des

cables électriques, au confinement des déchets dont ceux radioactifs, des isolants phoniques, des encres, des peintures et vernis...

2.5.8 Solvants

Ce sont des produits provenant de coupes pétrolières relativement légères. Leurs domaines d'utilisation sont l'agriculture et l'industrie de peinture et de plastique.

Remarque 2.5.1. Dans le cadre de notre étude, on s'intéresse uniquement aux essences.

2.6 Conclusion

Ce chapitre introduit des concepts généraux sur le pétrole brut et son raffinage afin d'avoir les notions nécessaires pour mieux comprendre le sujet de notre étude. Nous avons introduit le pétrole brut et ses caractéristiques, les procédés de raffinage et les produits pétroliers.

CHAPITRE 3

Méthode de résolution

3.1 Introduction

Bien qu'on puisse modéliser des problèmes d'optimisation et utiliser des logiciels de programmation linéaire sans connaître la théorie qui se cache derrière, des notions sont utiles pour démystifier et mieux comprendre le sujet. Ce chapitre présente donc des bases de programmation linéaire suffisantes pour mieux cerner le problème étudié.

Les méthodes de résolution des modèles mathématiques sont nombreuses. Le choix d'une méthode parmi d'autres est relatif à la structure du modèle mathématique et la famille à laquelle il appartient. Cependant, il est préférable pour les problèmes de petite taille, que la résolution soit entreprise par les méthodes exactes par le fait qu'elles permettent d'obtenir la solution optimale pour le problème donné.

L'analyse du modèle Mathématique du problème posé montre qu'on est en présence d'un problème linéaire (programme linéaire) qui est en fonction de variables continues, à des contraintes linéaires et une fonction objectif également linéaire.

- **Ensemble convexe**

Définition 3.1.1. [2] Un ensemble P est dit convexe s'il existe $\lambda \in [0, 1]$ $x, y \in P$ tel que :

$$\lambda x + (1 - \lambda)y \in P. \tag{3.1}$$

Cette définition signifie qu'un ensemble P est convexe si le segment joignant deux de ses points quelconques est contenue dans l'ensemble P .

Exemple 3.1.1. illustration des formes convexes et formes non convexes

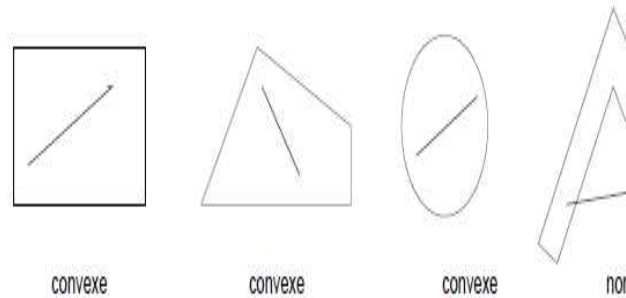


FIG. 3.1 – Ensembles convexe et ensembles non convexe

- **Point extrême**

Définition 3.1.2. [2] Un point x_0 d'un ensemble convexe S est un point extrême de S s'il n'existe pas deux points $x_1, x_2 \in S$ t.q.

$$x = \lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2. \quad (3.2)$$

- **Hyperplan**

Définition 3.1.3. [2] Soit $a \neq 0 \in \mathbb{R}^n$ et $c \in \mathbb{R}$. L'ensemble défini par :

$$H = \{x \in \mathbb{R}^n : a^t x = c\} \quad (3.3)$$

est un hyperplan de \mathbb{R}^n .

H est une variété linéaire de dimension $n - 1$ de \mathbb{R}^n . Un hyperplan est la frontière du demi-plan correspondant et le vecteur a perpendiculaire à l'hyperplan.

- **Enveloppe convexe**

Définition 3.1.4. [2] Soit $S \subset V$, l'enveloppe convexe de S , notée $co(S)$, est l'ensemble défini comme l'intersection de tous les ensembles convexes contenant S . L'enveloppe convexe est le plus petit ensemble convexe de V contenant S .

$$co(S) = \left\{ \sum_i \lambda_i x_i : x_i \in S, \lambda_i \geq 0, \sum_i \lambda_i = 1 \right\} \quad (3.4)$$

3.2 La programmation Linéaire [9, 11]

Un problème linéaire (*PL*) est considéré comme étant un cas particulier de la programmation mathématique (*PM*). Un (*PL*) est un problème d'optimisation consistant à maximiser ou minimiser une fonction objectif linéaire à n variables de décision, supposées non négatives, soumis à un ensemble de contraintes exprimées sous forme d'équations ou d'inéquations linéaires.

3.2.1 Formes d'un programmes linéaires

Un programme linéaire peut être représenté sous l'une des trois formes suivantes :

1. la forme est dite *canonique* lorsque le système des m contraintes est composé uniquement d'inéquations ;
2. la forme est dite *standard* si le système des contraintes est un système d'équations (les contraintes sont de type =) ;
3. la forme est dite *mixte* si les trois types de contraintes ($\leq, =$ et \geq) sont présents dans le programme.

$$\left\{ \begin{array}{l} \max (\min) Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i \in \mathbb{I} \subseteq \{1, \dots, m\} \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_k, \quad k \in \mathbb{K} \subseteq \{1, \dots, m\} \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_r, \quad r \in \mathbb{R} \subseteq \{1, \dots, m\} \\ x_j \in \mathbb{R}, \quad j = \overline{1, m} \end{array} \right. \quad (3.5)$$

Les ensembles \mathbb{I} , \mathbb{K} et \mathbb{R} sont disjoints ; ie, $\mathbb{I} \cup \mathbb{R} \cup \mathbb{K} = \{1, \dots, m\}$

- 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 PL est la suivante :

$$S.C \begin{cases} Z = c^T x \rightarrow \max (\min) \\ Ax \leq b, \\ x \geq 0, \end{cases} \quad (3.6)$$

$c = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix}$ est le vecteur des coefficients dit vecteur des coûts de la fonction objectif Z et c^T est le vecteur transposé de c .

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

$A = \begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & \dots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & \dots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m,1} & a_{m,2} & \dots & \dots & a_{m,n} \end{pmatrix}$ matrice représentant les coefficients des équations ou inéquations des contraintes dites matrices des contraintes

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

3.3 Choix de la méthode de Résolution

Le choix de la méthode de résolution adéquate à notre modèle de problème n'a pas été difficile, du fait qu'il se présente comme programme linéaire en variables continues, et avec considération du facteur temps d'exécution, nous avons opté pour la méthode du simplexe.

3.3.1 Méthode du Simplexe ordinaire

Les méthodes de résolution exactes sont nombreuses et se caractérisent par le fait qu'elles permettent d'obtenir une ou plusieurs solutions dont l'optimalité est garantie. Parmi ces méthodes, il y a l'algorithme du simplexe qui permet d'obtenir la solution optimale d'un problème en parcourant la fermeture ou l'enveloppe convexe ¹ de l'ensemble de recherche (ensemble des solutions admissibles) et ce, en passant de sommet en sommet. Malgré une complexité mathématique, dans le pire des cas non polynomiale, il permet de résoudre la plupart des problèmes en un temps raisonnable. Simplexe parcourt l'enveloppe convexe d'un point extrême initial en empruntant le plus court chemin vers la solution optimale.

soit le PL suivant :

$$PL \begin{cases} Max Z = cx \dots(1) \\ Ax \leq b \dots(2) \\ x \geq 0 \dots(3) \end{cases} \quad (3.7)$$

- $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^n$ est dite une solution du PL si elle vérifie (2).
- $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^n$ est dite une solution réalisable si elle vérifie (2) et (3).
- on appelle **base** du système, tout ensemble de (m) vecteurs linéairement indépendants.
- on appelle **variables de base** toutes les (m) premières variables associées aux vecteurs de base notées x_B , les autres variables restantes ($n - m$) sont appelées **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.

$A_B : (a_j) / j \in B$ $A_N : (a_j) / j \in N$

$C_B : (c_j) / j \in B$ $C_N : (c_j) / j \in N$

Le (PL) peut alors s'écrire :

$$PL \begin{cases} Max Z = c_B x_B + c_N x_N \\ A_B x_B + A_N x_N = b \\ x \geq 0 \end{cases} \quad (3.8)$$

¹tous point de l'ensemble convexe peut être écrit en fonction de deux autre points de cet ensemble

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

- La solution $x = (x_B, 0)$ est appelée solution de base du (PL) et elle est dite réalisable si $x_B \geq 0$.
- Une solution de base est dite optimale si elle maximise la fonction objectif.

L'algorithme du simplexe ordinaire

Le point de départ de cet algorithme est l'existence d'une solution de base réalisable : soit $x = (x_B, x_N) = (x_B, 0)$ et A_B^{-1} l'inverse de A_B .

les différentes étapes du simplexe sont schématisées comme suit :

Étape(1) : $U^T = C_B^T A_B^{-1}$

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

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 finie, terminé.

3° Si le critère d'optimalité n'est pas vérifiée, trouver $j_0 \in J_N$ tel que $E_{j_0} = \min\{E_j, j \in J_N\}$ et calculer les composantes du vecteur $X_{j_B} = A_B^{-1} a_{j_0}$ et aller à l'étape 4.

Étape(4) : Calculer $\Theta^0 = \Theta_{j_1} = \min\{\frac{x_j}{a_{j_0}}, j \in J_B\} = \frac{x_i}{a_{j_0}}$, aller à l'étape 5.

Étape (5) : Calculer $(\bar{x}_{j_B}, \bar{x}_{j_N})$ tel que $\bar{x}_{j_B} - \Theta^0 x_{j_B}$

$\bar{x}_j = 0 \quad j \in J_N / j_0, x_{j_0} = \Theta^0$, aller à l'étape 6.

Étape (6) : On pose $j_B = j_B / \{j_0\} \cup \{j_1\}$

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

Calculer A_B^{-1} et aller à l'**Étape (1)**.

3.3.2 Le simplexe révisé [10]

La méthode du simplexe ordinaire est lourde à mettre en oeuvre pour les programmes de grande taille, à cause de l'importance de la mémoire nécessaire sur les machines utilisées. Or, il se trouve que les colonnes du tableau du simplexe ne sont pas toutes nécessaires pour passer d'une solution de base à une autre, mais seulement une partie d'entre elles. Pourquoi

alors utiliser tout le tableau du simplexe et occuper ainsi inutilement de l'espace mémoire et alourdir les calculs ?

Le simplexe révisé se base sur ce principe et décompose la matrice des variables en deux blocs : la matrice des variables de base notées x_B et des variables hors base x_N . Analysons de plus près la méthode.

Considérons le programme (P) suivant :

$$(P) \begin{cases} \text{Minimum } Z = c x \\ A x = b \\ x \geq 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

Avec :

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & \dots & a_{mj} & a_{mn} \end{pmatrix}$$

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \quad b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix} \quad c = (c_1, c_2, \dots, c_j, \dots, c_n)$$

Désignons par P_1, P_2, \dots, P_n les vecteurs-colonne de la matrice A . Ainsi, le vecteur-colonne P_j s'écrit :

$$P_j = \begin{pmatrix} a_{1j} \\ a_{2j} \\ \vdots \\ \vdots \\ a_{mj} \end{pmatrix}$$

Supposons que la solution de base réalisable soit représentée par les m premières variables X_j , c'est-à-dire :

$$B = (P_1, P_2, \dots, P_m) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & \dots & a_{mj} & a_{mm} \end{pmatrix}$$

Soit :

$$B^{-1} = \begin{pmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & \dots & \beta_{1j} & \dots & \beta_{m1} \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \dots & \beta_{2j} & \dots & \beta_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \beta_{m1} & \beta_{m2} & \dots & \dots & \beta_{mj} & \beta_{mm} \end{pmatrix}$$

Décomposons le vecteur x en $\begin{pmatrix} x_B \\ x_N \end{pmatrix}$ où x_B correspond aux variables de base et x_N aux variables hors base, c'est-à-dire :

$$x_B = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix} \quad x_N = \begin{pmatrix} x_{m+1} \\ x_{m+2} \\ \vdots \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$$

La solution de base s'exprime donc par :

$$x_B = B^{-1}b = \begin{pmatrix} \beta_{11}b_1 + \beta_{12}b_2 + \dots + \beta_{1m}b_m \\ \beta_{21}b_1 + \beta_{22}b_2 + \dots + \beta_{2m}b_m \\ \vdots + \vdots + \vdots + \vdots \\ \beta_{m1}b_1 + \beta_{m2}b_2 + \dots + \beta_{mm}b_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{b}_1 \\ \bar{b}_2 \\ \vdots \\ \bar{b}_m \end{pmatrix}, \quad x_N = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$$

Décomposons également le vecteur ligne c des coefficients de la fonction objectif en (c_B, c_N) , avec c_B vecteur-ligne des coefficients dans la fonction objectif des variables de base et c_N pour les variables hors base.

La fonction objectif Z s'écrit alors :

$$Z = cx = c_B x_B = c_1 \bar{b}_1 + c_2 \bar{b}_2 + \dots + c_m \bar{b}_m$$

Pour déterminer si cette solution de base est optimale, le simplexe révisé calcule les *multiplicateurs du simplexe*² suivants :

$$\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_m) = c_B B^{-1}$$

²Traduction du terme anglais "the simplex multipliers"

La variable x_2 ayant le ratio précédent minimal, quittera alors la base et sera remplacée par x_n et le pivot correspondant est donc l'élément a_{2n} (intersection de la ligne-clef et de la colonne-clef).

On calculera alors les nouveaux seconds membres :

$$\bar{b}^* = \begin{pmatrix} \bar{b}_1^* \\ \bar{b}_2^* \\ \vdots \\ \bar{b}_m^* \end{pmatrix}$$

Et l'inverse de la nouvelle matrice de base est :

$$(B^*)^{-1} = \begin{pmatrix} \beta_{11}^* & \beta_{12}^* & \cdots & \beta_{1j}^* & \cdots & \beta_{m1}^* \\ \beta_{21}^* & \beta_{22}^* & \cdots & \beta_{2j}^* & \cdots & \beta_{2n}^* \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \beta_{m1}^* & \beta_{m2}^* & \cdots & \cdots & \beta_{mj}^* & \beta_{mm}^* \end{pmatrix}$$

Les éléments de \bar{b}^* et $(B^*)^{-1}$ s'obtiennent par les relations suivantes :

$$\begin{aligned} b_2^* &= \frac{\bar{b}_2}{\bar{a}_{2n}} \\ b_i^* &= \bar{b}_i - \left(\frac{\bar{a}_{in} \bar{b}_2}{\bar{a}_{2n}} \right) && \text{pour } i = 1, 3, \dots, m \\ \beta_{2j}^* &= \frac{\beta_{2j}}{\bar{a}_{2n}} && \text{pour } j = 1, 2, \dots, m \\ \beta_{ij}^* &= \beta_{ij} - \left(\frac{\bar{a}_{in} \beta_{2j}}{\bar{a}_{2n}} \right) && \text{pour } j = 1, 2, \dots, m \text{ et } i = 1, 3, \dots, m \end{aligned}$$

La nouvelle solution de base réalisable est :

$$x_1 = b_1^*, x_n = b_2^*, \dots, x_m = b_m^*, x_2 = x_{m+1} = \dots = x_{n-1} = 0.$$

Sur la base de la nouvelle matrice de base inverse $(B^*)^{-1}$, on calculera les nouveaux multiplicateurs du simplexe et les nouveaux Δ_j pour vérifier si le critère d'optimalité énoncé précédemment est vérifié ou pas : si c'est le cas, la procédure d'optimisation est terminée, sinon elle se poursuivra.

3.4 Logiciels de programmation linéaire

Il existe de nos jours, une multitude de solveurs de résolution des programmes linéaires. Ils sont généralement fournis sous forme de programmes sources. En effet les logiciels tels que LINGO, CPLEX, BOMPD, KORBX ou MAPLE sont des programmes d'optimisation conçu pour résoudre les modèles d'optimisation linéaires, non linéaires, en nombres entiers....

Parmi ces logiciels nous utiliserons le langage « **LINGO** » pour résoudre notre problème.

3.4.1 Présentation de LINGO [8]

LINGO est un outil complet conçu pour rendre la formulation et la résolution linéaire, non - linéaire (convexe et non convexe), Quadratique, Semi-Défini, Stochastique et modèles en nombre entiers plus rapide, plus facile et plus efficace.

LINGO offre un ensemble d'environnements complètement intégrés qui comprend un langage puissant pour exprimer des modèles d'optimisation, un environnement complet pour la construction et l' édition de problèmes mathématique, et un ensemble de solveurs rapides intégrés.

Principaux avantages :

✓ Une formulation simple

LINGO aide à réduire le temps de développement. Il permet de formuler des programmes linéaires, non linéaires et les programme en nombre entiers rapidement sous une forme très lisible. Le langage de modélisation de LINGO permet d'exprimer des modèles d'une manière intuitive simple à l'aide de variables indicées sommations comme vous le feriez avec un crayon et du papier. Les modèles sont plus faciles à construire, plus facile à comprendre, et par conséquent, plus facile à entretenir. LINGO peut exploiter plusieurs cœurs de processeurs pour accélérer la génération de modèle.

✓ Options de données pratiques

LINGO permet de construire des modèles qui tirent des informations directement à partir de bases de données et des feuilles de calcul. De même, LINGO peut envoyer les données a un tableur ou un fichier text ce qui rend plus facile pour la génération des rapports dans l'application de votre choix.

✓ **Solveurs puissants**

LINGO est disponible avec un ensemble complet de solveurs intégrés pour les problèmes linéaires, non linéaires (convexe et non convexe), Quadratique, Stochastique et problèmes en nombre entier. Comme on peut ne pas spécifier ou charger un Solveur séparé, parce que LINGO lit formulation et sélectionne celui qui convient automatiquement.

✓ **Interactive avec des Applications**

Permet d'appeler LINGO directement à partir d'une application écrite. Pour le développement de modèles de manière interactive, LINGO fournit un environnement complet de modélisation pour construire, résoudre et analyser les modèles mathématiques. Pour la construction de solutions clés en main, LINGO est livré avec DLL appellable et les interfaces OLE qui peuvent être appelées à partir d'applications écrites par des utilisateurs. LINGO peut aussi être appelé directement à partir d'une application macro ou base de données Excel.

3.5 conclusion

Cette partie a été consacrée aux méthodes de résolution adoptées pour résoudre notre problème. Dans le chapitre suivant nous allons passer à la présentation de l'application réalisée ainsi que la discussions des résultats obtenus.

CHAPITRE 4

Problématique

4.1 Introduction

Le raffinage en Algérie est contraint de s'adapter à deux grandes préoccupations :

- La première étant l'évolution croissante de la qualité exigée par les normes internationales. En effet la fabrication des essences est de plus en plus complexe, les différentes unités existantes dans les raffineries ne produisent pas d'essences conforme aux normes exigées par le marché. Ces normes entraînent une amélioration des spécifications des carburants comme la limitation en teneur en soufre, aromatique, l'élimination du plomb, . . . etc.
- La deuxième est la satisfaction de la demande croissante en carburant du marché national. En effet les raffineries algériennes n'arrivent pas à satisfaire la demande nationale.

Par conséquent la divisions raffinage a intérêt à trouver compromis afin d'améliorer la qualité de l'essence et augmenter la quantité produite, afin de rependre aux exigences du marché.

4.2 Description du problème

Notre étude concerne le développement à court et long terme (2020-2030) de l'industrie du raffinage et notre travail consiste à :

Maximiser le profil généré par la vente des essences, toute en produisant des essences conformes aux normes internationales et en satisfaisant la demande du marché national, et cela consiste à trouver la meilleur composition (qualité, coût de production) des essences Super et Normale et de déterminer la juste quantité de pétrole brut à traiter afin d'avoir

les quantités des bases nécessaires à cette meilleur composition.

En effet une essence (Super ou Normale) s'obtienne en mélangeant différentes quantités de bases (isopentane , NAP A, butane, Isomérat, ...etc) qui ont chacune des caractéristiques de qualité plus au moins proche des normes exigés sur les essences, le mélange se fait avec des quantités de base bien variantes que le modèle mathématique du problème vas déterminées.

4.3 Contraintes liées au problème

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

- La satisfaction de la demande du marché national en carburant (essence normale et super) ;
- Le respect des spécifications des produits finis imposées par les normes internationales ;
- Le procédé de raffinage.

Objectifs ciblés

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

- Élaborer un programme pour réaliser le mélange des essences en maximisant la quantité produite (le profil) et en respectant les nouvelles spécifications imposées sur la qualité des essences.
- Ce programme doit aussi déterminer la quantité de pétrole brute à traiter afin d'assurer les quantités de bases nécessaires en respectant le procédé de raffinage.

4.4 Modélisation mathématique

La modélisation est l'ensemble d'outils mathématiques permettant de synthétiser, d'interpréter et de structurer les données d'un phénomène réel, tout en assurant la mise en évidence des objets présents dans la réalité ainsi que les relations qui les relient. Elle permet une vision globale et claire de tous les acteurs intervenants dans le système étudié.

4.4.1 Paramètres du modèle

Déclaration des variables

Les variables $X_{i,k}$: la quantité de la base i à introduire dans le mélangeur pour produire k .

- On désigne par l'indice k le type d'essence :

Nom du produit	L'indice k
Essence Normale	1
Essence Super	2

- On désigne par l'indice i les bases nécessaires à la composition d'essence :

La base	L'indice i
Butane	1
Isopentane	2
Platformat	3
Toluène brut	4
Aromatiques lourds	5
NAP A	6
NAP B	7
Réformat léger	8
Réformat lourd	9
MTBE	10
Isomérat	11

La fonction objectif

- On désigne par :
 - D_k : La demande prévisionnelle du marché en produit k . Cette demande est donnée par l'entreprise SONATRACH par le tableau suivant :

Essence / Année	2020	2030
Essence normale	1 200 000 tonne	1 700 000 tonne
Essence super	4 800 000 tonne	7 400 000 tonne

- P_k : Le Prix de vente du produit k . Ces prix sont fixés par SONATRACH comme suit :

L'Essence	Prix (\$/tonne)
Essence Normale	350,00
Essence Super	400,00

- C_i : Le coût de production de la base i . Pour des raisons de confidentialité l'entreprise SONATRACH nous a donné des coûts approximatifs donnés selon le tableau suivant :

La base	Le coût de production (\$ / tonne)
Butane	112
Isopentane	84
Platformat	109
Toluène brut	96
Aromatiques lourds	82
NAP A	84
NAP B	104
Réformat léger	80
Réformat lourd	92
MTBE	200
Isomérat	116

Profit = prix total de vente - coût de production

Prix total de vente : $\sum_k \sum_i P_k X_{ik}$.

Coût total de production : $\sum_k \sum_i C_i X_{ik}$.

La fonction objectif sera alors :

$$Max (Z) = \left(\sum_k \sum_i P_k X_{i,k} \right) - \left(\sum_k \sum_i C_i X_{i,k} \right). \tag{4.1}$$

Formulation des contraintes du problème

1. **Satisfaction de la demande en essence** : Cette contrainte traduit le fait que la somme des quantités des produits intermédiaires utilisés pour la constitution d' un produit fini doit permettre de répondre à la demande de ce produit.

$$\sum_i X_{i,k} \geq D_k. \quad (4.2)$$

2. **La qualité des produits finis** : Elle exprime l'obligation de respecter pour chaque produit fini les spécifications imposées.

Caractéristiques des bases et des produits : Chaque base et chaque produit possède un ensemble de caractéristiques, et c'est selon ces caractéristiques qu' on détermine la qualité des produits (essence normale et super).

a) Caractéristiques des bases

- den_i : Densité de la base i
- tvr_i : La teneur en vapeur de la base i
- oct_i : L'indice d'octane de la base i

Bases	Densité	TVR	Indice d'octane
Butane	0,5794	4,12	96
Isopentane	0,615	1,743	91
Platformat	0,7985	0,236	98
Toluène brut	0,8456	0,01	110
Aromatiques lourds	8822	0,01	110
Naphta a	0,668	0,801	68
Naphta b	0,726	0,215	76
Réformat léger	0,7213	0,172	76
Réformat lourd	0,8725	0,01	110
MTBE	0,74	0,624	117
Isomérat	0,638	1,017	89

TAB. 4.1 – Caractéristiques pour chaque bases

b) Caractéristiques des produits

- $DMax_k$: Densité tolérée du produit k
- $DMin_k$: Densité exigée du produit k

- $TMax_k$: La teneur en vapeur tolérée du produit k
- $OMax_k$: L'indice d'octane du produit k

Normes	Essence Normale	Essence Super
TVR	0,4528 Max	0,5091 Max
Indice d'octane	92	96
Densité	0,765 Max-0,710 min	0.780 Max- 0.725 min

TAB. 4.2 – Normes exigées pour chaque essences

La qualité de l'essence s'obtient avec la formule suivante :

$$S_k = \frac{\sum_i q_i X_{i,k}}{\sum_i X_{i,k}} \quad (4.3)$$

avec :

- S_k : Caractéristique du produit (essence normale/super) obtenu, avec $S_k \in \{DMax_k, DMin_k, TMax_k, OMax_k\}$.
- q_i : Caractéristique de chaque base i . avec $q_i \in \{den_i, tvr_i, oct_i\}$

Les contraintes reliés à la qualité des essences se formulent comme suit :

- Pour Densité tolérée $DMax_k$ du produit k , on aura alors :

$$\frac{\sum_i den_i X_{i,k}}{\sum_i X_{i,k}} \leq DMax_k \quad (4.4)$$

On multiplie par $\sum_i X_{i,k}$ on aura :

$$\sum_i den_i X_{i,k} \leq DMax_k \sum_i X_{i,k} \quad (4.5)$$

C'est equivalent à :

$$\sum_i den_i X_{i,k} - DMax_k \sum_i X_{i,k} \leq 0 \quad (4.6)$$

$$\sum_i den_i X_{i,k} - \sum_i DMax_k X_{i,k} \leq 0 \quad (4.7)$$

$$\sum_i (den_i X_{i,k} - DMax_k X_{i,k}) \leq 0 \quad (4.8)$$

On prend $X_{i,k}$ comme facteur en commun et on obtient :

$$\sum_i (den_i - DMax_k) X_{i,k} \leq 0 \quad (4.9)$$

On procède de la même façon pour les autres contraintes on obtient alors les contraintes reliés à la qualité des essences comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_i (den_i - DMin_k) X_{i,k} \geq 0, \\ \sum_i (den_i - DMax_k) X_{i,k} \leq 0, \\ \sum_i (tvr_i - TMax_k) X_{i,k} \leq 0 \\ \sum_i (oct_i - OMax_k) X_{i,k} = 0 \end{array} \right. \quad i = \overline{1, 11}, k = \overline{1, 2} \quad (4.10)$$

3. **Contraintes du procédé de raffinage** : La production de la raffinerie étant contrainte pratiquement par des disponibilités limitées en facteurs de production, il s'agit de traduire mathématiquement le fait que la quantité totale d'un bien intermédiaire (base) i requise pour réaliser les productions (essences normale et super) ne doit pas dépasser la quantité produite, et cela à l'aide du schéma de raffinage.

On doit aussi consommer totalement les deux bases Toluène brut et Aromatique lourd vus qu'elles ne sont pas utilisées dans d'autres procédés.

Ce qui vas nous permettre de déterminer la quantité de pétrole brut à traiter afin d'obtenir les quantités de base nécessaires aux mélanges.

Ces contraintes sont obtenues à l'aide du schéma du raffinage, qui représente les différentes quantités produites pour chaque base.

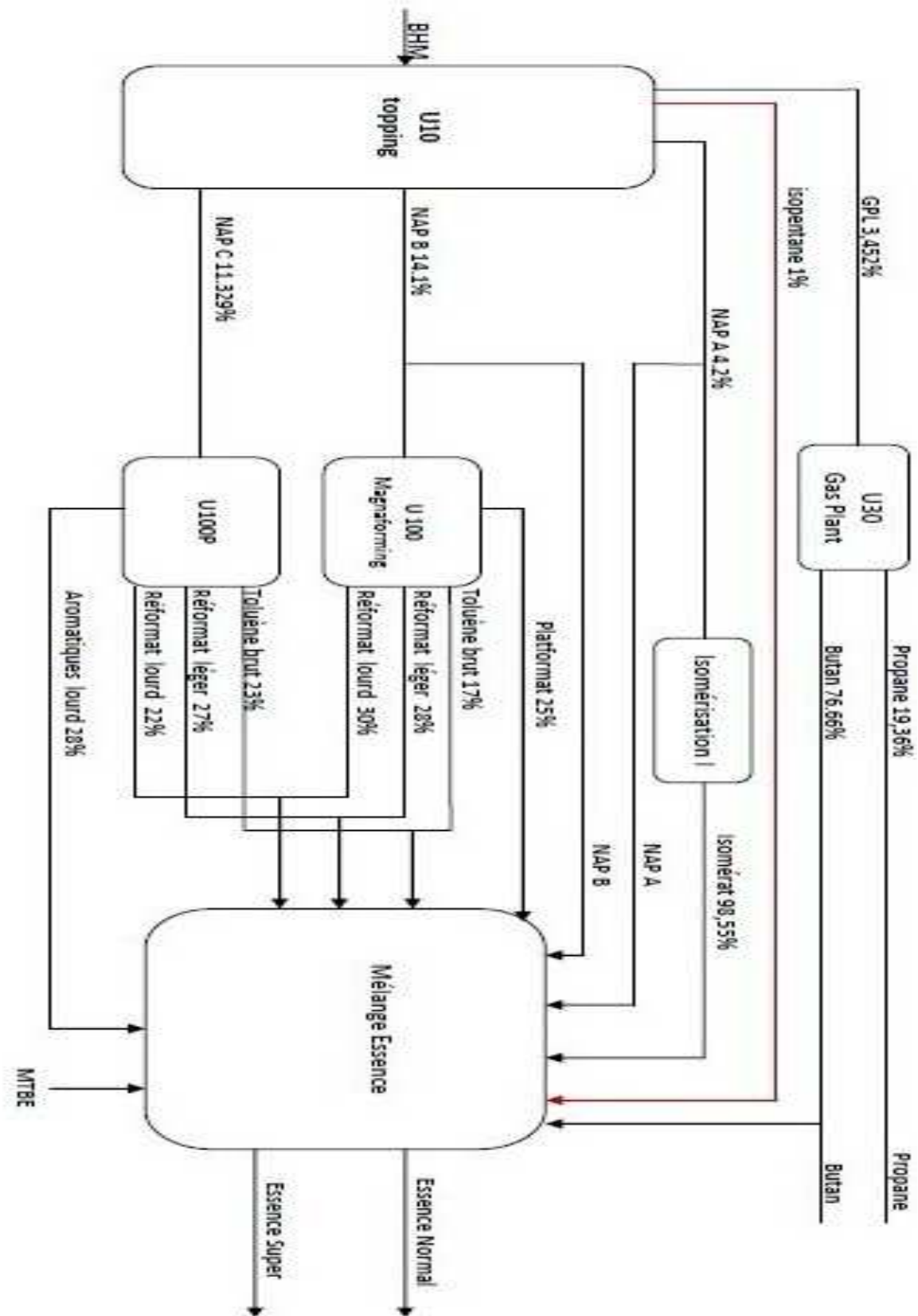


FIG. 4.1 – Procédé de raffinage du brut

Pour la base $i = 1$ qui est le butane, la quantité nécessaire au mélange est représentée par $\sum_k X_{1,k}$. D'après le schéma de raffinage la quantité qu'on peut produire en butane est de 76.66% du GPL et cela après son passage à l'unité GAS PLANT $U30$, le GPL est obtenu à 3.452% du brut.

On aura alors la contrainte liée à la quantité du butane produite :

$$\sum_k X_{1,k} \leq 0.7666 * (0.03452 * brut) \quad (4.11)$$

On obtient alors les contraintes liées aux quantités produites :

$$\begin{aligned} \sum_k X_{1,k} &\leq 0.7666 * (0.03452 * brut) \\ \sum_k X_{2,k} &\leq 0.01 * brut \\ \sum_k X_{3,k} &\leq 0.25 * (brut * 0.141 - \sum_k X_{7,k}) \\ \sum_k X_{4,k} &= 0.17 * (brut * 0.141 - \sum_k X_{7,k}) + 0.23 * (0.11329 * brut) \\ \sum_k X_{5,k} &= 0.28 * (0.11329 * brut) \\ \sum_k X_{8,k} &\leq 0.28 * (brut * 0.141 - \sum_k X_{7,k}) + 0.27 * (0.11329 * brut) \\ \sum_k X_{9,k} &\leq 0.3 * (brut * 0.141 - \sum_k X_{7,k}) + 0.22 * (0.11329 * brut) \\ \sum_k X_{11,k} &\leq 0.9855 * (brut * 0.042 - \sum_k X_{6,k}) \end{aligned}$$

4.4.2 Programme linéaire correspondant

$$\begin{aligned}
 Max (Z) &= \left(\sum_k \sum_i P_k X_{i,k} \right) - \left(\sum_k \sum_i C_i X_{i,k} \right) \\
 \left. \begin{aligned}
 &\sum_i X_{i,k} \geq D_k, && \forall k \\
 &\sum_i (den_i - DMin_k) X_{i,k} \geq 0, && \forall k, \\
 &\sum_i (den_i - DMax_k) X_{i,k} \leq 0, \\
 &\sum_i (tvr_i - TMax_k) X_{i,k} \leq 0 \\
 &\sum_i (oct_i - OMax_k) X_{i,k} = 0 \\
 &\sum_k X_{1,k} \leq 0.7666 * (0.03452 * brut) \\
 &\sum_k X_{2,k} \leq 0.01 * brut \\
 &\sum_k X_{3,k} - 0.25 * (brut * 0.141 - \sum_k X_{7,k}) \leq 0 \\
 &\sum_k X_{4,k} - 0.17 * (brut * 0.141 - \sum_k X_{7,k}) - 0.23 * (0.11329 * brut) = 0 \\
 &\sum_k X_{5,k} - 0.28 * (0.11329 * brut) = 0 \\
 &\sum_k X_{8,k} - 0.28 * (brut * 0.141 - \sum_k X_{7,k}) - 0.27 * (0.11329 * brut) \leq 0 \\
 &\sum_k X_{9,k} - 0.3 * (brut * 0.141 - \sum_k X_{7,k}) - 0.22 * (0.11329 * brut) \leq 0 \\
 &\sum_k X_{11,k} - 0.9855 * (brut * 0.042 - \sum_k X_{6,k}) \leq 0 \\
 &X_{i,k} \geq 0 \\
 &brut \geq 0
 \end{aligned} \right\} sc/ \tag{4.12}
 \end{aligned}$$

4.5 Taille du Problème

La taille d'un problème peut 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 de ce problème ainsi que le nombre de variables.

Posons :

- NB_k = Nombre de produits = 2.
- NB_i = Nombre de bases = 11.

1. Nombre de variables :

- Nombre de variables $X_{i,k}$:
 $|X_{i,k}| = NB_i * NB_k = 22.$
- Nombre de variables *brut*
 $|brut| = 1.$

Nous aurons au total un nombre de variables égal à : 23.

2. Nombre de contraintes :

- Nombre de contraintes relatives à la satisfaction de la demande :
 $NB_k = 2.$
- Nombre de contraintes relatives à la qualité des produits finis :
 $2 * NB_k + NB_k + NB_k = 8.$
- Nombre de contraintes relatives à la consommation total de Toluène brut produit :
 1 contrainte
- Nombre de contraintes relatives à la consommation total de l'Aromatique lourd produit : 1 contrainte.
- Nombre de contraintes relatives au fonctionnement de la raffinerie :
 6 contraintes.
- Nombre de contraintes qui obligent les quantités à être positives :
 $NB_i * NB_k + brut = 23.$

Le nombre de contraintes est : $2 + 8 + 1 + 1 + 6 + 23 = 41.$

4.6 Conclusion

Cette étude nous a permis d'élaborer un modèle mathématique linéaire à variables continues pour le développement de l'industrie du raffinage, ainsi optimiser l'opération de mélange des essences au niveau la raffinerie d'Alger en tenant compte des différentes contraintes a savoir qualité, la demande en essences et les contraintes reliées au fonctionnement de la raffinerie. La suite de notre travail consistera à appliquer les méthodes de la programmation linéaire à notre modèle afin de trouver la solution optimale mais aussi à établir un programme qui nous permettra de déterminer les quantités de bases nécessaires aux mélanges et déterminer la quantité de brut a traiter à court et long terme.

CHAPITRE 5

Présentation de l'application et Analyse des résultats

5.1 Introduction

Nous aboutissons maintenant à l'étape finale à savoir l'élaboration d'une application aussi pratique que possible, avec un aspect pratique muni d'une interface claire et accessible, facilitant ainsi son utilisation.

Cette application est intitulée **BLENDING DES ESSENCES** elle est réalisée sous l'environnement **JAVA**, elle permet de visualiser les différentes données utilisées, relatifs aux bases (Isomérat, Butane, NAP A) ainsi qu'aux produits finis (essence normale et super), elle permet aussi d'effectuer la résolution du problème en faisant appel au programme de résolution grace a la commande '*commande = "cmd.exe"*', l'algorithme de résolution est réalisé à l'aide du logiciel de programmation linéaire **LINGO** décrit dans le chapitre 3.

5.2 Présentation de l'application

Cette section comportera un descriptif de l'application ainsi que des explications bien détaillées afin de faciliter son utilisation.

Pour mieux se familiariser avec notre application, nous avons jugé utile de décrire dans ce qui suit les principales fonctionnalités et les données exploitées dans notre étude.

Au démarrage de l'application une page d'accueil s'affiche comme suit :



FIG. 5.1 – Page d'accueil

Le bouton **Entrer** permet de passer à la page suivante.

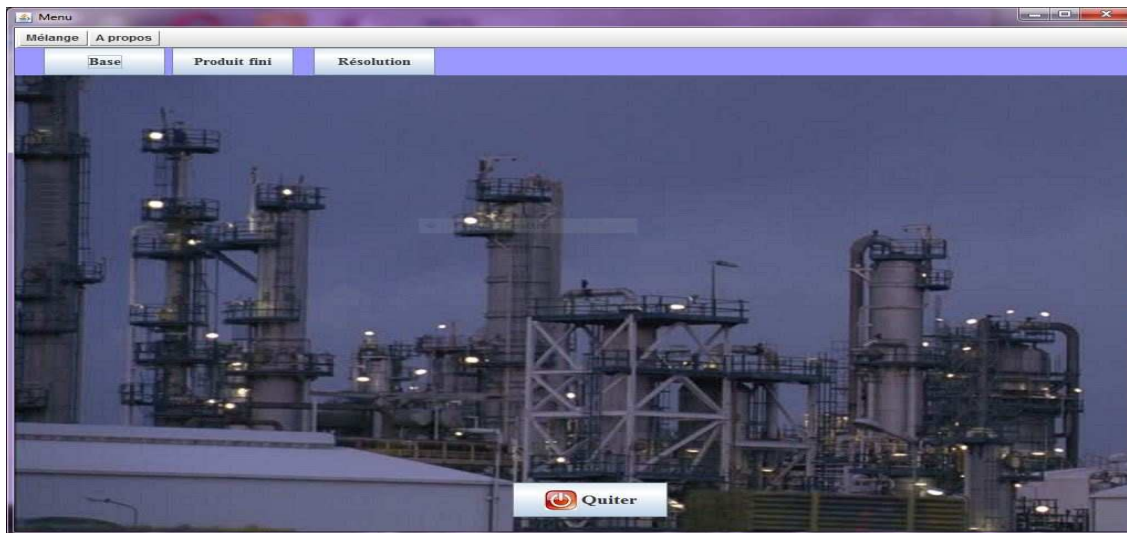


FIG. 5.2 – Menu principale du logiciel

Après avoir appuyé sur le bouton **Enter** l'utilisateur passe au menu principale qui lui donnera un accès à toutes les autres pages. Dans la barre menu on distingue deux menus principaux : Mélange, A propos. En appuyant sur Mélanges on aura trois sous-menus : Bases, Produits finis et Résolution.

- **Bases** : En appuyant sur Bases la fenêtre suivante s'affiche :

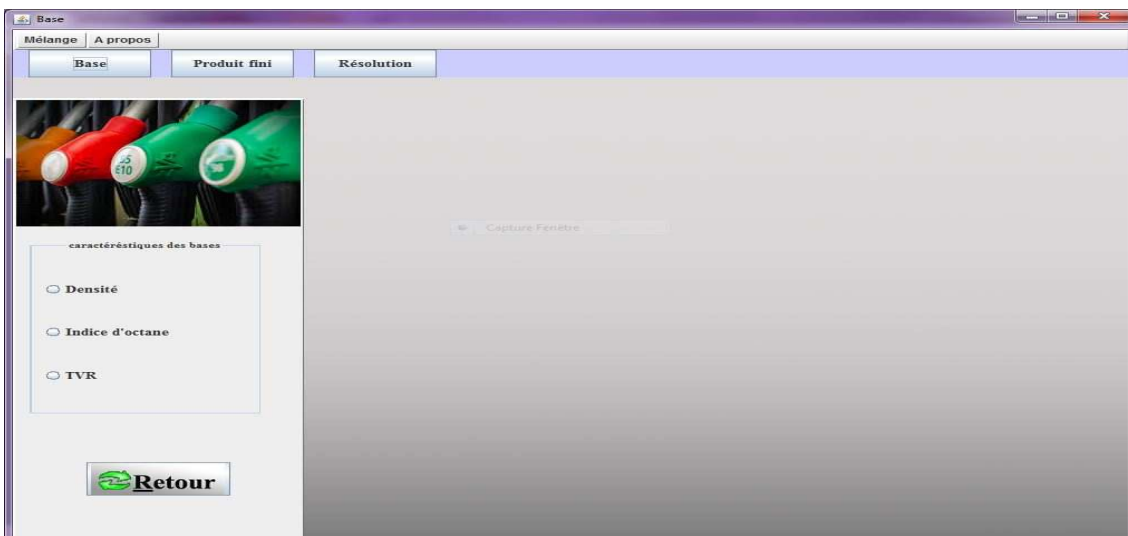


FIG. 5.3 – Fenêtre Bases

L'utilisateur trouvera toutes les informations concernant les caractéristiques des bases, et cela en cochant sur la caractéristique recherchée telle que Densité, Indice d'octane, TVR.

Choisissons à titre d'exemple Densité, en cochant Densité, un tableau s'affiche. Ce dernier contient la densité de chaque base utilisée.



FIG. 5.4 – Fenêtre Bases avec la caractéristique Densité

- **Produits finis** : en appuyant sur le bouton Produits finis, la fenêtre contenant les informations sur les essences normale et super s'affiche :

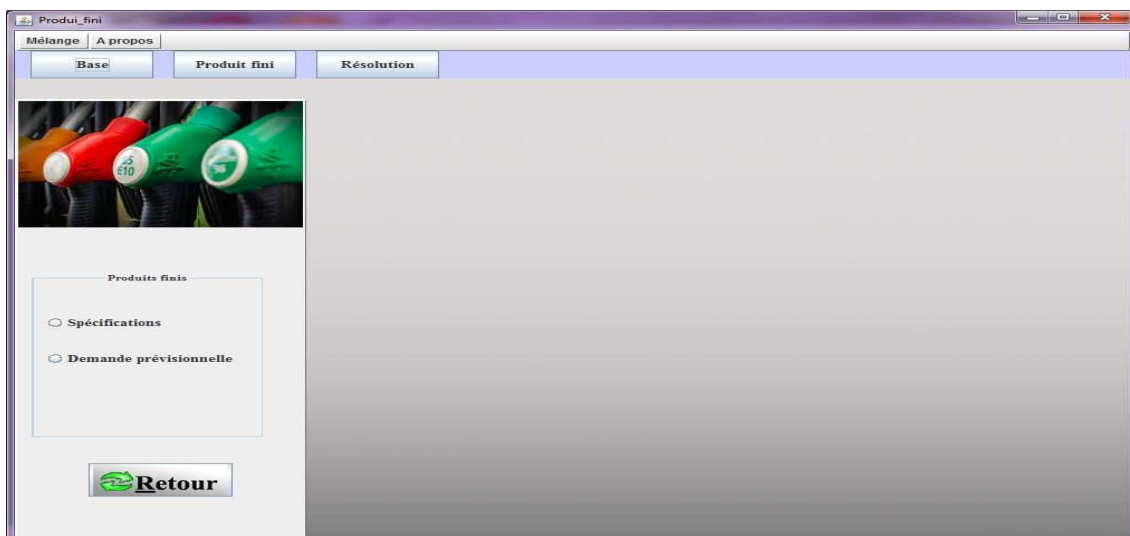


FIG. 5.5 – Fenêtre Produits finis

A ce niveau, on pourra consulter les spécifications de chaque produit ainsi que la demande prévisionnelle pour chaque un d'eux pour les années 2020 et 2030.

En cochant sur spécification on aura :

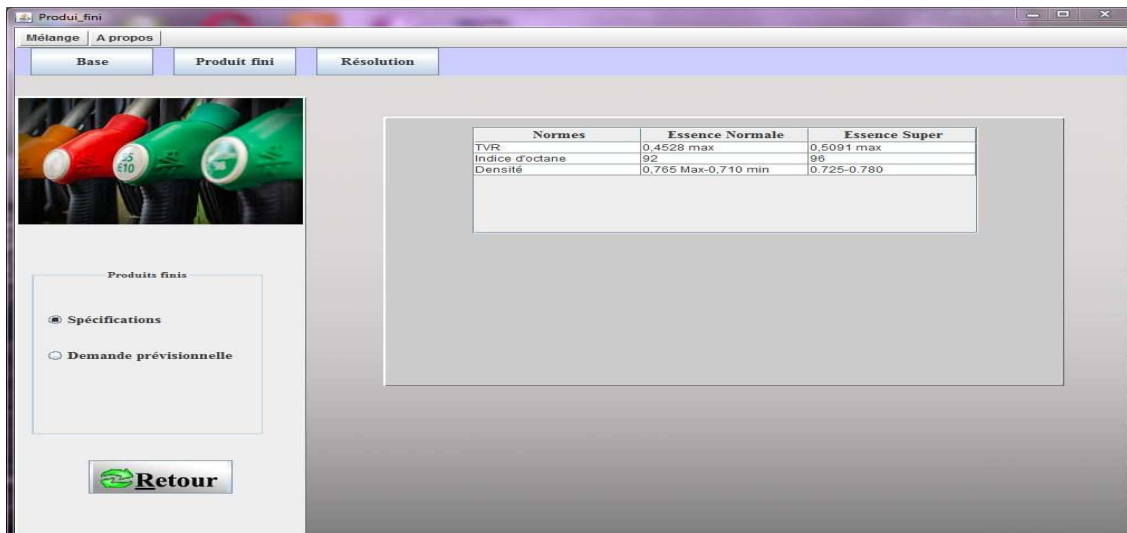


FIG. 5.6 – Fenêtre Spécifications

- **Résolution** : le choix de cette option permet à l'utilisateur de résoudre le problème en faisant appel à l'algorithme réalisé avec le solveur LINGO.

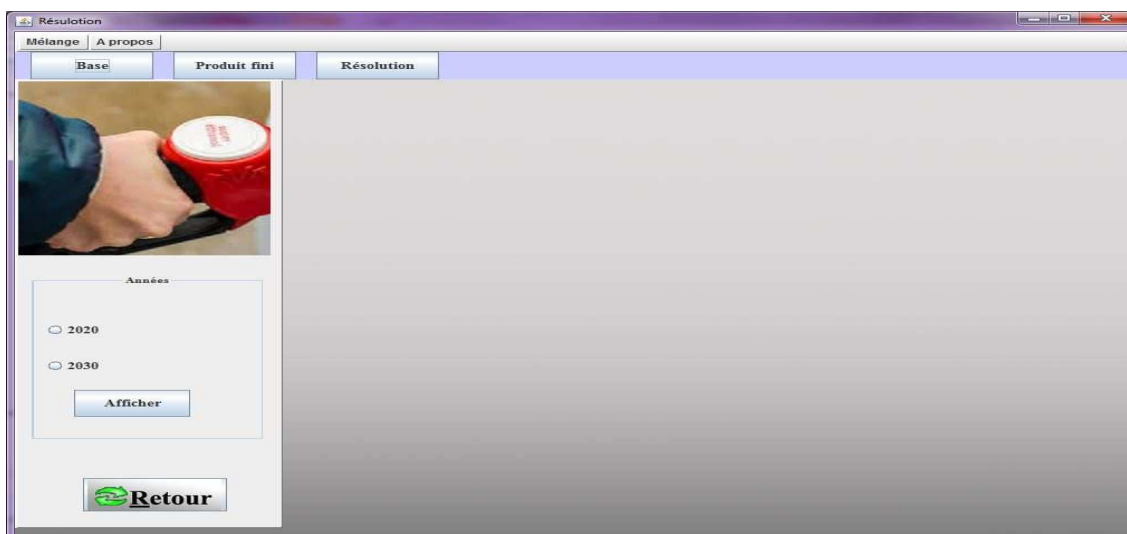


FIG. 5.7 – Fenêtre Résolution

On choisit ensuite l'année souhaitée en la cochant.

A titre d'exemple on choisit l'année 2020, la fenêtre suivante apparaît :

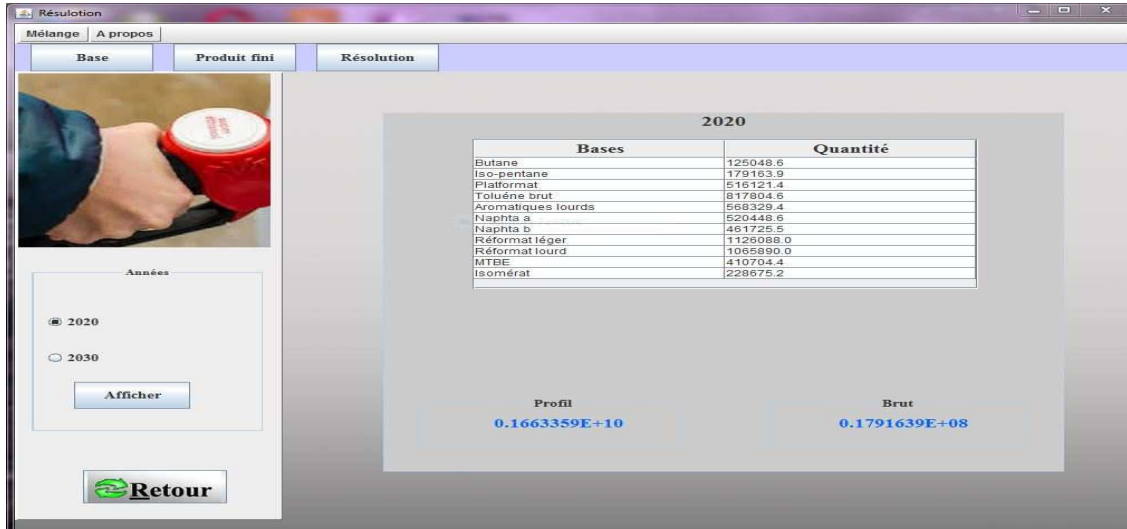


FIG. 5.8 – Fenêtre Résolution pour l'année 2020

Cette fenêtre contient :

- Un tableau qui détermine les quantités de bases (butane, Isomérat,...etc) nécessaires pour satisfaire la demande en essence normale et super pour l'année 2020
- La quantité de pétrole brut à traiter afin d'avoir les quantités de bases nécessaires
- Le profit relatif à la production des essences pour l'année 2020
- **A propos** : la fenêtre A propos contient une petite description sur l'application .

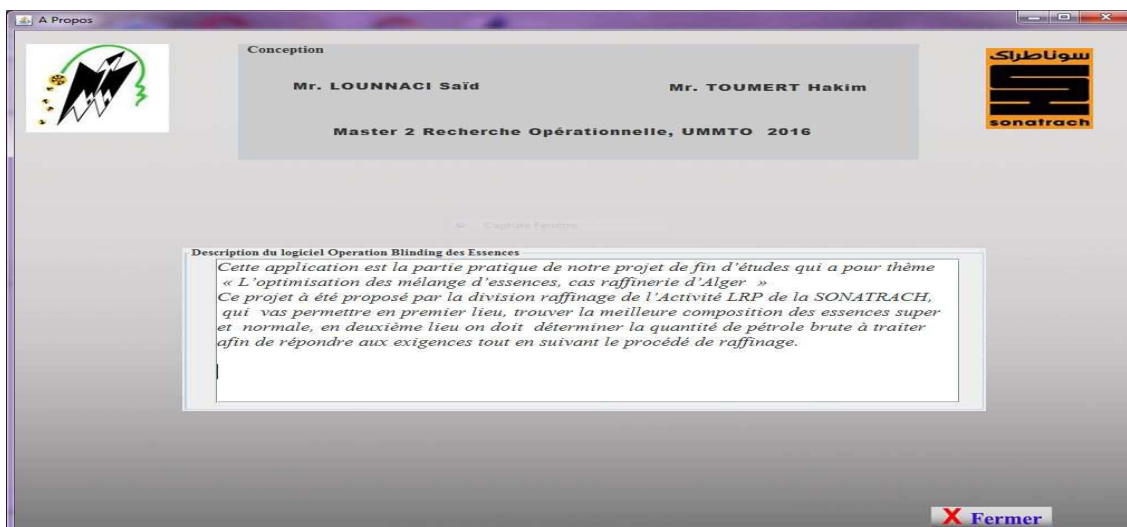


FIG. 5.9 – Fenêtre A propos

5.3 Les résultats observés

Après avoir introduit tout les données ainsi que les paramètres nécessaires dans le modèle mathématique, la résolution de ce dernier nous a permis d'obtenir les compositions optimales des mélanges des produits qui sont représentés dans les tableaux (5.1), (5.2), (5.4), (5.5). Cette composition a donné lieu a des produits finis avec des specifications conformes au normes internationales représentées dans les tableaux (5.3) et (5.6), et ainsi la résolution nous a permis de déterminer les quantités de brut a traiter pour subvenir à la demande des produits finis à l'horizon 2020 et 2030.

5.3.1 L'horizon 2020 :

Bases	Quantité en tonnes/an	
	Pour essence normale	Pour essence super
Butane	22 365	102 683,6
Isopentane	170 674,1	8 489,797
Platformat	90 875	425 246,4
Toluène Brut	280 547,9	537 256,7
Aromatique lourd	1 850	566 479,4
NAP A	50 046	470 402,6
NAP B	10 320	451 405,5
Réformat léger	427 729	698 359
Réformat lourd	135 065	930 825,3
MTBE	10 468	400 236,4
Isomérat	10 060	218 615,2
Total	1 210 000	4 809 999,897

TAB. 5.1 – Quantités de bases nécessaires pour le mélange optimale, l'année 2020

On constate que l'essence normale et essence super sont bien produites en quantités exigées ce qui permet de satisfaire la demande du marché pour l'année 2020 tout en ayant un stockage minimal ce que montre le tableau (5.2) .

Bases	Quantités en tonnes/an			Remarque sur le surplus
	QT nécessaire	QT produite	Surplus	
Butane	125 048,60	474 122	349 073,40	stocké
Isopentane	179 163,9	179 163,9	0	totalement consommé
Platformat	516 121,40	516 121,40	0	totalement consommé
Toluène Brut	817 804,6	817 804,6	0	totalement consommé
Aromatique lourd	568 329,4	568 329,4	0	totalement consommé
NAP A	520 448,6	520 448,6	0	totalement consommé
NAP B	461 725,5	461 725,5	0	totalement consommé
Réformat léger	1 126 088	1 126 088	0	totalement consommé
Réformat lourd	1 065 890	1 065 890	0	totalement consommé
MTBE	410 704,4	/	0	/
Isomérat	22 8675,20	22 8675,20	0	totalement consommé
Total	6 019 999,60	5 958 368,76	349 073,40	stocké

TAB. 5.2 – Quantités nécessaires et produites pour l'an 2020

Normes	Normes exigées		Normes obtenues	
	Essence normale	Essence super	Essence normale	Essence super
TVR	0,4528 max	0,5091 max	0,453	0,338
Indice d'octane	92	96	92	96
Densité	0,765 Max-0,710 min	0.725Max-0.780min	0,753	0,780

TAB. 5.3 – les normes exigées et obtenues pour l'an 2020

On remarque que les produits obtenus (essence normale et super) répondent aux normes relatives aux spécifications des produits.

► **Le brut :**

La quantité de brut à traiter pour satisfaire la demande de l'année 2020, (1,2 MT d'essence normale et 4,8 MT d'essence super) est de 17 916 390 T de pétrole brut.

► **Le profit :**

Le profit généré par l'opération de production des essence pour l'an 2020 est de 1 663 359 000 \$.

5.3.2 L'horizon 2030

Bases	Quantités en tonnes/an	
	Pour essence normale	Pour essence super
Butane	10 365	350 683,7
Isopentane	10 008,01	268 679
Platformat	250 875	166 199,1
Toluène Brut	102 524,1	1 150119
Aromatique lourd	10 850	873 178,7
NAP A	100 046	360 032,7
NAP B	1 320	831 243,4
Réformat léger	353 218,9	1 366 376
Réformat lourd	310 265	1 313 406
MTBE	10 468	480 036,4
Isomérat	450 060	250 045,9
Total	1 610 000,01	7 409 999,90

TAB. 5.4 – Quantités de bases nécessaires pour le mélange optimale, l'année 2030

Comme l'année 2020, on constate que l'essence normale et essence super sont bien produites en quantités exigées, d'où la satisfaction de la demande pour l'année 2030 toute en ayant un stockage minimal ce que montre le tableau (5.5).

Bases	Quantités en tonnes/an			Remarque sur le surplus
	QT nécessaire	QT produite	Surplus	
Butane	261 048,6	763 953,33	502 904,73	stocké
Isopentane	278 687	278 687	0	totalemment consommé
Platformat	514 746,4	771 903,075	257 156,68	stocké
Toluène Brut	1 251 061	1 251 061	0	totalemment consommé
Aromatique lourd	884 028,7	884 028,7	0	totalemment consommé
NAP A	460 078,7	460 078,7	0	totalemment consommé
NAP B	841 874,4	841 874,4	0	totalemment consommé
Réformat léger	1 716 988	1 716 988	0	totalemment consommé
Réformat lourd	1 620 878	1 620 878	0	totalemment consommé
MTBE	490 504,4	/	0	totalemment consommé
Isomérat	700 105,9	700 105,9	0	totalemment consommé
Total	9 020 001,10	9 289 558,11	760 061,41	stocké

TAB. 5.5 – Quantités nécessaires et produites pour l'an 2030

Normes	Normes exigées		Normes obtenues	
	Essence Normale	Essence Super	Essence Normale	Essence Super
TVR	0,4528 max	0,5091 max	0,453	0,437
Indice d'octane	92	96	92	96
Densité	0,765 Max-0,710 min	0.725Max-0.780min	0,743	0,774

TAB. 5.6 – les normes exigées et obtenues pour l'an 2030

On remarque que les produits obtenus (essence normale et super) répondent aux normes relatives aux spécifications des produits.

► **Le brut** :

La quantité de brut a traité pour satisfaire la demande de l'année 2030, (1,6 MT d'essence normal et 7,4 MT d'essence super) est de 27 868 700 T de pétrole brut.

► **Le profit** :

Le profit généré par l'opération de production des essences pour l'an 2030 est de 2 527 399 000 \$.

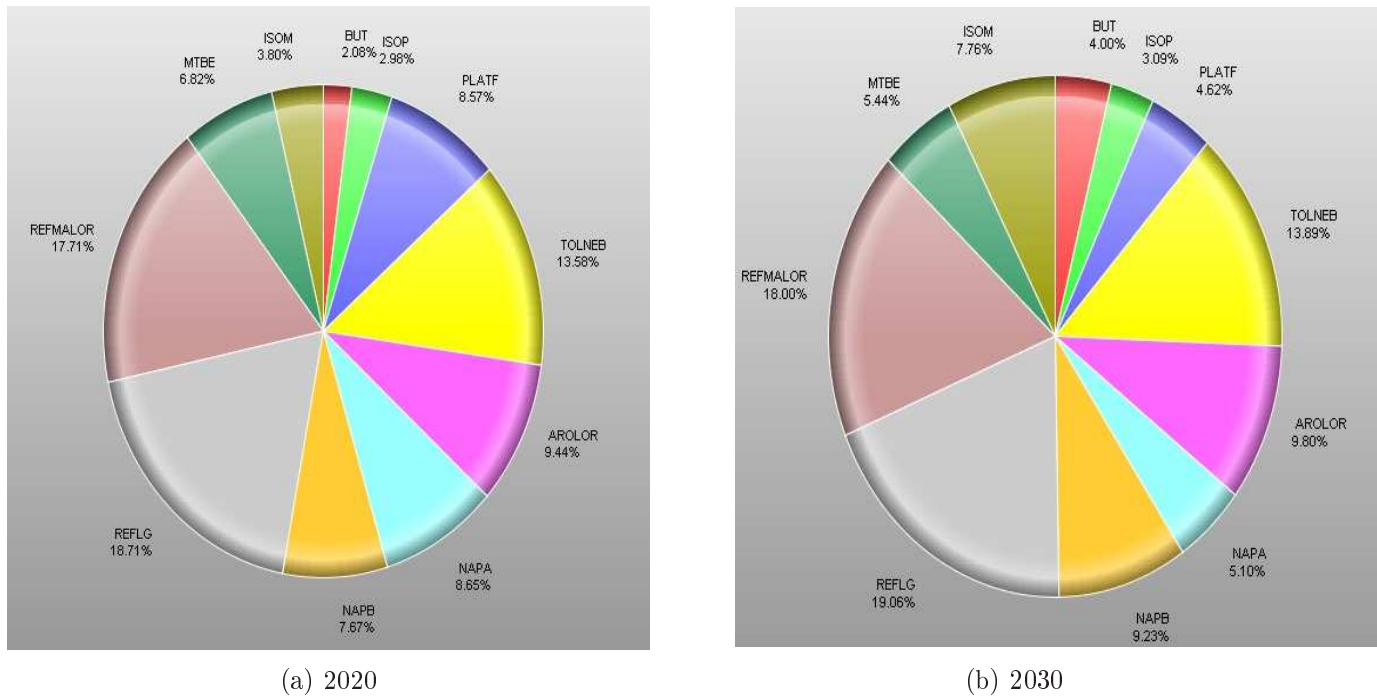


FIG. 5.10 – Les quantités de bases en proportion des produit finis

A partir des résultats observés à travers les tableaux précédents et des deux représentations ci dessus, on constate que le Réformat léger représente la plus grande proportion dans les deux mélanges (2020 et 2030) et cela revient a sa bonne qualité en densité et TVR, on remarque aussi que le Réformat lourd et le Toluène brut sont utilisés en grandes quantités cela revient a leurs indice d'octane et a leurs densité qui sont élevées. Par ailleurs on constate aussi que le MTBE est utilisée en faible quantité malgré sa très bonne qualité et cela s'explique par son coût élevé vu que c'est une base importée.

5.3.3 Conclusion

Dans ce chapitre on a donné un aperçu sur l'application réalisée pour la résolution du problème étudié, on a aussi pu faire une analyse des résultats obtenus afin d'apporter un maximum d'informations sur le sujet.

Conclusion générale

Après avoir investi plusieurs milliards de Dinars dans la réhabilitation des raffineries algériennes, le groupe SONATRACH se voit obligé de lancer une nouvelle production. Les caractéristiques des essences doivent obéir à de nouvelles spécifications imposées par le marché international.

Dans ce contexte, la Division Raffinage de la SONATRACH nous a confié un projet sur l'opération de mélange d'essences. A cet effet nous avons entamé la résolution du problème posé par la détermination de la composition optimale du mélange avec les nouvelles bases produites par les nouvelle unités, par la suite on a déterminé la quantité de brut nécessaire pour l'obtention des quantités de base trouvées. Pour mettre en évidence notre modèle de résolution nous avons élaboré une application qui permet d'appliquer la méthode choisi pour résoudre le problème.

L'objectif de cette étude est la mise en point d'un outil qui permet de gérer d'une manière rationnelle et optimale l'opération de mélange des essences afin de répondre aux exigence et à la demande du marché national en carburant à court et à long terme.

Ce qui pourrait être fait suite à la résolution de notre problème est résoudre le problème d'ordonnancement qui se trouve au niveau de la raffinerie. En effet le pétrole brut rentre en flux continu et les bases sont fabriquées de manière continu aussi alors que le programme d'enlèvement est discontinu ce qui impose une bonne organisation du planning des mélanges.

Ce modèle ainsi présente un outil d'aide à la décision pour l'entreprise afin de développer l'industrie du raffinage. En outre, ce modèle reste tributaire à des améliorations, tel que la prise en compte la variation des prix de pétrole et des produits pétroliers et l'analyse de risque de cette variation.

Bibliographie

- [1] V. Boyer. Contribution à la programmation, thèse pour l'obtention du doctorat. *Université de TOULOUSE*, (2007).
- [2] P. Lopez C. Louembet D. Arzelier, N. Jozefowicz. Etude bibliographique sur la programmation linéaire. *Université de Toulouse; UPS, INSA, INP, ISAE; LAAS; F-31077 Toulouse, France.*, (2012).
- [3] Luis Carlos Pereira de Oliveira. Développement d'une méthodologie de modélisation cinétique de procédés de raffinage traitant des charges lourdes. *HAL Archives-ouvertes.*, (2013).
- [4] Revu et documentation Division Raffinage. Département Étude, planification. *SONATRACH*, (2005).
- [5] H. Ait Mohamed et M.Demad. Optimisation de schéma de raffinage du pétrole brut, cas algérie. *Université des sciences et de la Technologie Houari Boumediene*, (2006).
- [6] J.P Favennec. Exploitation et gestion de la raffinerie. *Institut Français du pétrole, édition Technip Paris*, (1999).
- [7] J.C Guibet. Carburants et moteurs. *Technip, Paris*, (1997).
- [8] LINDO Systeme INC. Lingo users manual. *Technical Support : (312) 988-9421*, (2014).
- [9] J.Teghem. Programmation linéaire. *OM Partners*, (2003).
- [10] Salah KHÉBRI. Modélisation et optimisation des capacités et des structures du raffinage européen aux horizons 1995, 2000 et 2010, École nationale supérieure du pétrole et des moteurs, centre économie et gestion. *Thèse pour l'obtention du doctorat en sciences économiques*, (Avril 1993).
- [11] M. Sakarocitch. programmation linéaire. *Dunod*, (1962).
- [12] SONATRACH. Raffinage en algérie. url [http :https ://sonatrach.org/Raffinage en algérie](http://sonatrach.org/Raffinage%20en%20algérie), 2014.

RÉSUMÉ

La fabrication des essences est de plus en plus complexe, le marché des carburants impose des nouvelles spécifications sur la qualité des produits finis afin d'avoir des essences de qualité supérieure et plus propres pour l'environnement.

Dans ce contexte, la Division raffinage de SONATRACH nous a confié un projet portant sur l'optimisation de mélange des essences, à cet effet nous avons commencé la résolution par la détermination de la composition optimale du mélange avec les nouvelles bases introduites tout en respectant les nouvelles spécifications et en satisfaisant la demande. Nous avons ensuite déterminé la quantité de brut à traiter afin d'obtenir les quantités de base nécessaires tout en respectant le procédé de raffinage.

Mots clés : Essences, Raffinage, Mélanges , Optimisation

ABSTRACT

The manufacture of gasolines is increasingly complex, the fuel market imposes new requirements on quality of finished products in order to have quality species upper and cleaner for the environment.

In this context, Sonatrach refining Division us entrusted a project on the mixing optimization species, for this purpose we started solving the determining the optimal composition of the mixture with introduced new bases all respecting the new specifications and meeting the demand. We have next determine the amount of crude processed to obtain Basic quantities necessary while respecting the process of refining.

Key words :Gasolines, Refining, mixtures , Optimization