

**Mémoire de Magister présenté par**

**Assia Bentouati**

**Ingénieur en Chimie Industrielle Option Chimie Organique - Université de Blida  
Ingénieur Spécialiste en Raffinage et Pétrochimie - Ecole Nationale Polytechnique -Alger**

**Sujet: *ETUDE DE FAISABILITE D'UN COMPLEXE DE PRODUCTION DES  
ALKYLBENZENES LINEAIRES ET N-PARAFFINES EN ALGERIE***

**Soutenu le : 15 Avril 2007 devant le jury composé de :**

M<sup>r</sup> A. SELATNIA, Professeur à l'ENP ..... **Président**

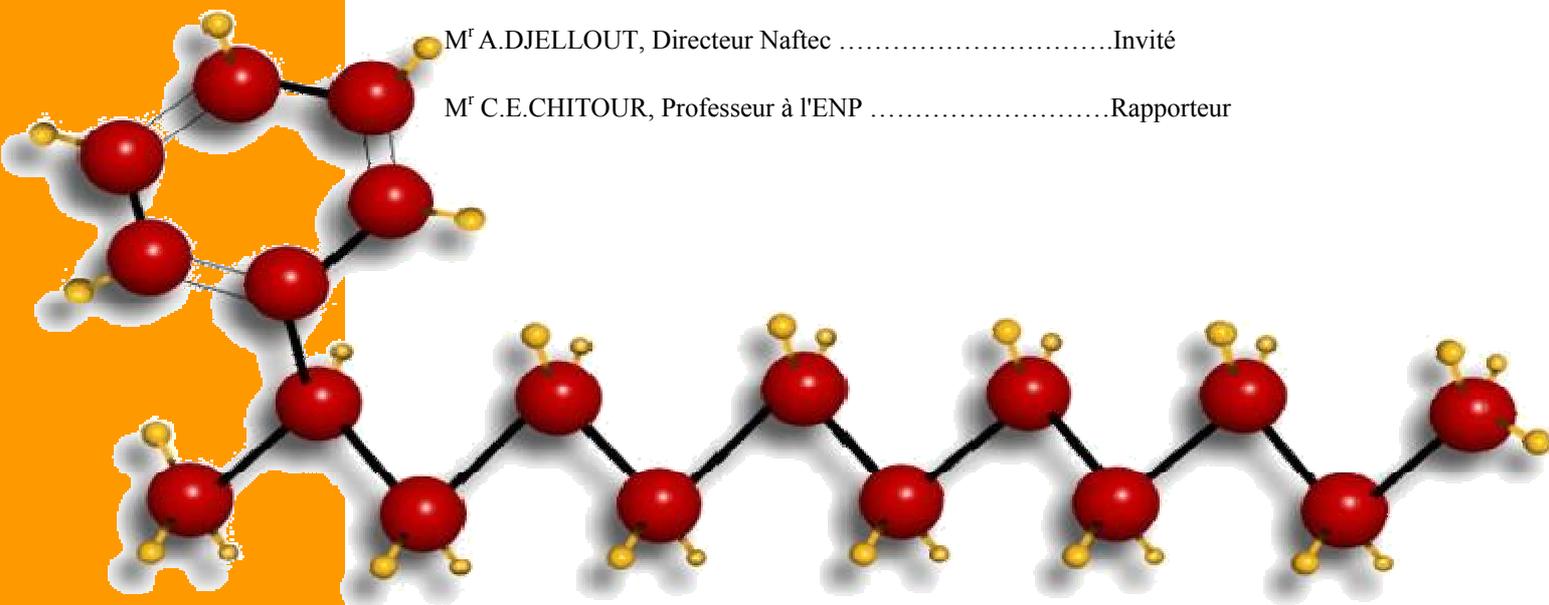
M<sup>r</sup> T. AHMED ZAÏD, Maître de Conférence à l'ENP ..... Examineur

M<sup>me</sup> F. MEZIANI, Chargée de Cours à l'ENP ..... Examineur

M<sup>me</sup> O. BELMOKHTAR, Maître de Conférence à l'ENP ..... Examineur

M<sup>r</sup> A. DJELLOUT, Directeur Naftec ..... Invité

M<sup>r</sup> C. E. CHITOUR, Professeur à l'ENP ..... Rapporteur



### **Objet de l'étude**

Dans la perspective de développer le secteur pétrochimique en Algérie, plusieurs études de projets ont été lancées au cours de l'année 2005; entre autre le projet de fabrication de l'intermédiaire détersif alkylbenzène linéaire et des n-paraffines.

Ce projet permettra de valoriser la coupe kérosène par extraction des n-paraffines, produit prometteur dans l'industrie des détergents, ainsi que leur transformation en intermédiaire détersif à plus haute valeur ajoutée qui est l'alkylbenzène linéaire.

Le but de ce travail est de vérifier l'opportunité d'implanter une unité de production des alkylbenzènes linéaires avec une unité intégrée de n-paraffines en Algérie.

Cette opportunité sera mesurée par deux facteurs, à savoir: la demande et tendance des marchés, national et international et le calcul de la rentabilité économique du projet.

# Sommaire

## *Introduction Générale*

### I-ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

<i>Introduction.....</i>	<i>1</i>
<i>Les réactions mises en oeuvre.....</i>	<i>2</i>
<i>I-1-Fractionnement .....</i>	<i>2</i>
<i>I-2-Hydrotraitement.....</i>	<i>3</i>
<i>I-3- Adsorption .....</i>	<i>3</i>
<i>I- 4- Déshydrogénation .....</i>	<i>6</i>
<i>I- 5- Hydrogénation des dioléfines.....</i>	<i>8</i>
<i>I- 6- Alkylation du benzène.....</i>	<i>8</i>
<i>II- Le kérosène .....</i>	<i>9</i>
<i>III- Le benzène.....</i>	<i>10</i>
<i>IV- Les normales paraffines .....</i>	<i>11</i>
<i>IV -1- Définition.....</i>	<i>11</i>
<i>IV-2- Propriétés des normales- paraffines.....</i>	<i>12</i>
<i>IV-3 - Extraction des normales - paraffines .....</i>	<i>12</i>
<i>V- Alkylbenzènes linéaires (LAB) .....</i>	<i>14</i>
<i>VI - Les tensio actifs anioniques .....</i>	<i>17</i>
<i>VII - La sulfonation et la neutralisation chimique.....</i>	<i>19</i>

### II- ETUDE DE MARCHÉ

<i>Introduction.....</i>	<i>22</i>
<i>I-Le marché des détergents.....</i>	<i>22</i>
<i>I-1- Le marché international .....</i>	<i>22</i>
<i>I-2-Le marché national .....</i>	<i>30</i>
<i>I-3- Les concurrents de LAS.....</i>	<i>31</i>
<i>II-Le marché des LAB.....</i>	<i>32</i>
<i>II-1- Le marché international.....</i>	<i>32</i>
<i>II-2- Le marché national .....</i>	<i>39</i>
<i>II-3 Le prix des LAB .....</i>	<i>39</i>
<i>II-4 Les concurrents des LAB .....</i>	<i>40</i>
<i>III- kérosène.....</i>	<i>43</i>

<i>III-1 Le marché national du kérosène</i> .....	43
<i>III-2 Le prix du kérosène</i> .....	43
<b>IV- Benzène</b> .....	44
<i>IV-1 Marché national du benzène</i> .....	44
<i>IV-2 Le prix du benzène</i> .....	44
<b>V- Les n-paraffines</b> .....	46
<i>V-1 Le marché des n-paraffines</i> .....	46
<i>V-2 Le prix des paraffines</i> .....	47

### III- LES PROCÉDES D'EXTRACTION DES N-PARAFFINES ET PRODUCTION DES LAB

<b>Introduction</b> .....	49
<b>I- Les procédés d'extraction des n-paraffines</b> .....	49
<i>I-1 Procédé ISOSIV (Union Carbide-1964)</i> .....	49
<i>I-2 Procédé ENSORB (KBR/ Exxon Mobil - 1966)</i> .....	50
<i>I-3-Procédé MOLEX (UOP-1964)</i> .....	51
<b>II- Le procédé de fabrication des LAB</b> .....	55

### IV- ETUDE DE FAISABILITE D'UN COMPLEXE DES LAB

<b>I-Les opportunités d'investissement</b> .....	60
<b>II- Description du projet</b> .....	61
<i>II-1 Production</i> .....	61
<i>II-2 Matières premières</i> .....	61
<i>II-3 Localisation</i> .....	63
<i>II-4 Technologie</i> .....	64
<b>II- 5 Description du complexe</b> .....	64
<i>II-5-1 Unité de préfractionnement</i> .....	67
<i>II-5-2 Unité d'hydrotraitement</i> .....	67
<i>II-5-3 Unité Molex d'extraction des n-paraffines</i> .....	70
<i>II-5-4 Unité Pacol</i> .....	72
<i>II-5-5 Unité Define</i> .....	72
<i>II-5-6 Unité PEP</i> .....	72
<i>II-5-7 Unité Detal:</i> .....	73
<b>III-Installations des utilités</b> .....	74
<i>III-1 Besoins en utilités</i> .....	74
<i>III-2 Disponibilité des utilités à la zone industrielle de Skikda</i> .....	77
<b>IV- Installations générales et stockage (offsites)</b> .....	77
<b>V- Les coproduits</b> .....	78

<b>VI- Produits de retour vers la raffinerie .....</b>	<b>79</b>
<b>VI -1 Vers le bac du kérosène.....</b>	<b>79</b>
<b>VI-2 Vers le bac du brut .....</b>	<b>80</b>
<b>VII- Considérations environnementales .....</b>	<b>81</b>
<b>VIII-Déchets du complexe .....</b>	<b>82</b>
<b>IX-Evaluation économique.....</b>	<b>84</b>
<b>1-Hypothèses de travail .....</b>	<b>84</b>
<b>2- Données de base .....</b>	<b>85</b>
<b>3- Rentabilité du projet.....</b>	<b>87</b>
<b>Conclusion Générale</b>	
<b>Références Bibliographiques</b>	
<b>ANNEXES</b>	

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1 : Les applications industrielles de l'adsorption</b> .....	4
<b>Tableau I.2: Les méthodes de désorption</b> .....	4
<b>Tableau I.3 : Rendement en LAB en fonction du catalyseur PACOL</b> .....	7
<b>Tableau I.4: Conditions typiques du procédé PACOL</b> .....	8
<b>Tableau I.5 : La composition en isomères en fonction du catalyseur</b> .....	9
<b>Tableau II.1: Segmentation du marché mondial des tensioactifs</b> .....	23
<b>Tableau II.2: Consommation en surfactants (2003)</b> .....	25
<b>Tableau II.3: Consommation en détergent</b> .....	26
<b>Tableau II.4: Les producteurs de LAB en Amérique du Nord</b> .....	33
<b>Tableau II.5: Les producteurs de LAB en Amérique du Sud</b> .....	33
<b>Tableau II.6: Les producteurs de LAB en Asie</b> .....	34
<b>Tableau II.7: Les producteurs de LAB en Europe de l'Ouest</b> .....	35
<b>Tableau II.8: Les producteurs de LAB en Europe de l'Est</b> .....	35
<b>Tableau II.9: Les producteurs de LAB au Moyen Orient/Afrique</b> .....	36
<b>Tableau II.10: Offre et demande en LAB au Moyen Orient /Afrique</b> .....	36
<b>Tableau II.11: La demande en LAB sur le marché national</b> .....	39
<b>Tableau II.12: Offre et Demande de LAB par région</b> .....	42
<b>Tableau II.13: Producteurs de n-paraffines à travers le monde</b> .....	48
<b>Tableau II.14: Nouvelles capacités de n-paraffines prévues à travers le monde</b> .....	48
<b>Tableau III.1: les unités ISOSIV à travers le monde</b> .....	50
<b>Tableau IV.1: Consommation et prévision de consommation de détergents en Algérie</b> .....	61
<b>Tableau IV.2: Quantité de la coupe kérosène soutirée des deux toppings</b> .....	62
<b>Tableau IV.3: Quantité de la coupe kérosène soutirée des deux toppings (prévision)</b> .....	62
<b>Tableau IV.4: Caractéristiques de la coupe kérosène</b> .....	62
<b>Tableau IV.5: Composition en normales paraffines du kérosène</b> .....	63
<b>Tableau IV.6: Prévision de production en benzène</b> .....	63
<b>Tableau IV.7: Caractéristiques des flux de retour (exemple typique)</b> .....	80

## Liste des figures

<b>Figure I 1:</b> La structure de la zéolithe A .....	5
<b>Figure I.2:</b> Applications des n-paraffines.....	12
<b>Figure I.3:</b> Les chemins de fabrication des LAB .....	15
<b>Figure II.1:</b> Évolution de la demande en tensioactifs .....	23
<b>Figure II.2:</b> Répartition de tensioactifs par type sur le marché mondial.....	24
<b>Figure II.3:</b> Consommation en tensioactif par type et par région .....	25
<b>Figure II.4:</b> Demande en LAB par région .....	37
<b>Figure II.5:</b> Les complexes de LAB à travers le monde .....	38
<b>Figure II.6:</b> Les capacités LAB dans la région méditerranéenne /Moyen Orient en 2008 .....	38
<b>Figure II.7:</b> Évolution des prix de LAB.....	39
<b>Figure II.8:</b> Évolution des prix du kérosène.....	44
<b>Figure II.9:</b> Évolution des prix du benzène.....	45
<b>Figure III.1:</b> Procédé Exxon Mobil (KBR) .....	51
<b>Figure III.2:</b> Procédé Molex (UOP).....	52
<b>Figure III.3:</b> Adsorption sur lit mobile .....	54
<b>Figure III.4:</b> Adsorption sur lit simulé mobile - unité Molex .....	54
<b>Figure III.5:</b> Schéma de fabrication des LAB .....	56
<b>Figure IV.1:</b> Schéma d'implantation du complexe LAB.....	65
<b>Figure IV.2:</b> Bilan de matière du complexe .....	66
<b>Figure IV.3:</b> Unité de préfractionnement.....	68
<b>Figure IV.4:</b> Unité d'Hydrotraitement.....	69
<b>Figure IV.5:</b> Unité Molex.....	71
<b>Figure IV.6:</b> Unité Pacol-Define .....	75
<b>Figure IV.7:</b> Unité Detal.....	76

## REMERCIEMENTS

J'exprime ma profonde gratitude à Monsieur **C.E. CHITOUR**, Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique, Directeur du laboratoire de Valorisation des Energies fossiles, pour avoir accepté de m'encadrer et de me prodiguer ses conseils et ses orientations.

Mes remerciements vont également à mes responsables hiérarchiques en particulier M<sup>me</sup> Boudjillouli, M<sup>r</sup> Djellout, et M<sup>r</sup> Chetoui pour m'avoir aidé et conseillé tout le long de ce travail.

Que Messieurs : H.Chadli, Président Directeur Général de l'entreprise E.N.A.D; A.Bouzidi, Directeur Général de la zone industrielle de Skikda; M.Reguig ex Directeur Général de l'E.N.I.P; Y.Hamouchéne Directeur Technique à l'E.N.I.P; C.Baour et A.Bendjelloul ingénieurs à l'E.N.I.P trouvent ici l'expression de toute ma reconnaissance pour leurs aides et les conseils judicieux qu'ils n'ont cessés de me prodiguer.

Je remercie aussi : D.Alik, D.Daid, D.Abouira, F.Hasni, F.Khelfane, H.Lama, H.Nekkache, L.Kheyar, M.Chirk Belhadj, N.Mokrani, N.Kendira, S.Tiab, D Bouakaz, et C.Ameur pour leurs contributions.

Je remercie chaleureusement mon frère L.Gougam pour ses encouragements.

Mes plus vifs remerciements vont également à Messieurs A.Benabid et H.Mehdi pour leur disponibilité à tout moment.

Que tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, m'ont aidé à mener à bien ce travail trouvent ici l'expression de ma profonde sympathie.

Je remercie Monsieur A. Slatnia pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

J'exprime également mes remerciements à M<sup>me</sup> Belmokhtar, M<sup>me</sup> Meziani et M<sup>r</sup> Ahmed Zaïd pour avoir accepté de juger ce travail.

Assia Bentouati



## **Abréviations**

<i>LAB</i>	<i>Linear Alkyl Benzene</i>
<i>LAS</i>	<i>Linear Alkylbenzene Sulfonate</i>
<i>BAS</i>	<i>Branched Alkylbenzene Sulfonate</i>
<i>DDBS</i>	<i>Dodecylbenzene Sulfonate</i>
<i>SAS</i>	<i>Secondary Alkyl Sulfonate</i>
<i>TPBS</i>	<i>Tétra Propylène Benzène Sulfonate</i>
<i>MES</i>	<i>Méthyl Ester Sulfonate</i>
<i>FAES</i>	<i>Fatty Alkyl Ether Sulfate</i>
<i>FAS</i>	<i>Fatty Alkyl Sulfate</i>
<i>AE</i>	<i>Alcohol Ethoxylates</i>
<i>NPE</i>	<i>Nonyl Phenol Ethoxylate</i>
<i>ACCS</i>	<i>Adsorbent Chamber Control System</i>
<i>UOP</i>	<i>Universal Oil Products</i>
<i>EGZIK</i>	<i>Entreprise de Gestion de la Zone Industrielle de Skikda</i>
<i>ENGI</i>	<i>Entreprise Nationales des Gaz Industriels</i>
<i>VAN</i>	<i>Valeur Actuelle Nette</i>
<i>POT</i>	<i>Temps de retour</i>
<i>TRI</i>	<i>Taux de Rentabilité Interne</i>

## دراسة إقتصادية لإنجاز مشروع تصنيع الألكيل بنزين الخطي و البرافين الخطية بالجزائر.

### ملخص

يهدف تطوير قطاع البتروكيمياة في الجزائر, سعت شركة سوناطراك إلى وضع عدة مشاريع قيد الدراسة خلال السنة 2005, من بين هذه المشاريع, مشروع إنجاز مركب تصنيع الألكيل بنزين الخطي و البرافين الخطية.

يسمح هذا المشروع بتنمين أكبر لمادة الكيروسين المستخرجة من البترول, و ذلك باستخراج البرافين الخطية ذات الأهمية الكبرى في الصناعة البتروكيميائية؛ فيوجه جزء منها نحو السوق الخارجية أما الجزء الآخر فيوجه نحو صناعة ألكيل بنزين خطي و كلتا المادتان تحققان ربحا كبيرا كونهما مادتان أوليتان أساسيتان في صناعة المنظفات.

في هذا العمل حاولنا دراسة مدى مناسبة الاستثمار في هذا المشروع في هذه الآونة وذلك عبر تحليل سوق هذه المادة, داخليا وخارجيا مع دراسة المردودية الاقتصادية لهذا المشروع.

### Résumé

Dans la perspective de développer le secteur pétrochimique en Algérie, plusieurs études de projets ont été lancées

Le but de cette étude est de montrer l'opportunité d'installer une unité de production des alkylbenzènes linéaires avec une unité intégrée de n-paraffines au niveau de la zone industrielle de Skikda. Ce projet permettra de valoriser la coupe kérosène par extraction des n-paraffines, ainsi que la transformation d'une partie en l'intermédiaire pétrochimique à haute valeur ajoutée qu'est l'alkylbenzène linéaire.

Cette opportunité sera mesurée par deux facteurs, à savoir: la demande et tendance des marchés national et international et le calcul de la rentabilité économique du projet.

### Abstract

*Within the scope of developing the petrochemical sector in Algeria, a number of project studies have been undertaken during the year 2005, among them the project related to the production of the surfactant agent known as linear alkyl benzene.*

*This project will allow the valorisation of the kerosine through the extraction of the normal paraffins, as well as the transformation of a part of the latters to petrochemical intermediates provided with an important added value that is the linear alkyl benzene.*

*The aim of this work is to discuss the opportunity of setting up a production complex of linear alkyl benzene with an integrated unit of normal paraffins in Algeria.*

*This opportunity will be measured according to two factors that are: market demand and the economical study.*

**Mots clés :** Kérosène, n-paraffines, alkylbenzène linéaire, mox, detal, define, pacol, tamis moléculaire, valeur actuelle nette (VAN), rentabilité.

## **Introduction Générale**

L'Algérie dispose de deux pôles industriels prêts à recevoir des complexes de transformations des hydrocarbures et des unités pétrochimiques.

Au niveau de la pétrochimie, il n'y a pas eu d'investissement en Algérie depuis la fin des années soixante dix, hormis le projet Polymed (société méditerranéenne des polymères) qui a été mis en service en 2005.

L'industrie pétrochimique en Algérie a démarré en 1967 avec la mise en exploitation d'un complexe d'ammoniac à Arzew; elle relève aujourd'hui de l'entreprise Asmidal avec ses complexes d'engrais azotés et phosphatés; de l'entreprise nationale de l'industrie pétrochimique (ENIP) avec ses complexes d'éthylène et dérivés de Skikda et le complexe de méthanol et résines d'Arzew; des unités aromatiques de l'entreprise nationale de raffinage de pétrole (Naftec) et du nouveau complexe Polymed.

Les principales caractéristiques de la pétrochimie en Algérie sont la vétusté des installations, leurs tailles minimales et leurs taux de fonctionnement qui n'excède pas les 30% dans certains complexes.

Cette situation a poussé les responsables du secteur à focaliser leurs efforts sur le développement de la pétrochimie et la mise en œuvre d'une stratégie d'intégration des plates-formes pétrochimiques avec les raffineries et les unités de gaz naturel, afin de surmonter cette faiblesse, et de valoriser au mieux ses ressources et produits.

A cet effet, plusieurs études de projets ont été lancées au cours de l'année 2005, dont la plupart sont en phase d'évaluation des offres techniques.

Ces projets, dans leur majorité, visent la production des produits de première génération (éthylène, propylène, méthanol...). Ils ont été sélectionnés en fonction de la disponibilité des matières premières et de la tendance des marchés international et national, bien que ce dernier ne soit pas bien cerné en raison du manque de statistiques; mais quelque soit la demande, elle reste faible par rapport aux capacités des unités aux tailles économiques: l'écoulement de la production des futurs projets sera plus vers l'exportation.

La première phase de la stratégie pétrochimique devrait se faire -comme indiqué précédemment- à partir des charges immédiatement disponibles, et qui ne nécessitent pas d'investissements préalables.

Parmi les matières premières disponibles: le naphta (production des oléfines), le fuel-oil (production d'éthylène, du propylène, ou vocation carburants), le para xylène (production d'acide téréphtalique) et le kérosène pour l'extraction des paraffines linéaires. Les évaluations technico-économiques définiront les projets à retenir.

Parmi les projets lancés nous citerons le projet de production de l'intermédiaire détersif Alkylbenzène linéaire, produit à partir des normales paraffines extraites du kérosène. Cet intermédiaire est actuellement le plus utilisé sur le marché national, son importation coûte à l'état une part de devise non négligeable.

Ce travail est consacré à l'étude de l'opportunité d'implanter un complexe de production des alkylbenzènes linéaires avec une unité intégrée d'extraction des n-paraffines à partir du kérosène au niveau de la zone industrielle de Skikda.

Le but étant de substituer l'importation de ce produit, d'où une économie de devise, d'exporter vers les marchés voisins tel que le marché maghrébin et subsaharien ainsi que la production des n-paraffines destinées aussi à l'exportation.

Cette étude est subdivisée en quatre parties: dans une première partie, les notions essentielles à la compréhension du sujet traité ont été rappelées. Dans une deuxième partie, les marchés des produits de la chaîne proposée ont été exposés, à savoir: le marché des détergents, des LAB, des normales paraffines, du kérosène et du benzène. Dans la troisième partie, les procédés d'extraction des n-paraffines et production des LAB ont été sommairement cités avec une attention toute particulière pour le procédé Molex UOP qui est le procédé le plus utilisé pour l'extraction des n-paraffines. La quatrième partie a été consacrée à la description du projet et l'étude de sa rentabilité économique.

# I-Etude Bibliographique

## **Introduction**

L'industrie des détergents synthétiques date de la première guerre mondiale, les premiers détergents synthétiques ont été fabriqués en Allemagne à partir des graisses animales.

Le développement des alkylbenzènes sulfonates revient à 1923, quand le chimiste britannique **Adams** a découvert qu'il était possible d'obtenir des produits hydrosolubles par la sulfonation et la neutralisation du hexadecyl et l'octadecyl benzène et que ces produits ont les mêmes caractéristiques de détergence que les savons.

En 1926 **IG-Farbenindustrie (Hoechst)** et **Chemische Fabrik Pott, Pirna / Sachsen** ont découvert que les alkylbenzènes sulfonates à longue chaîne ont d'excellentes propriétés tensio-actives.

En 1932 le premier détergent basé sur les agents tensio-actifs synthétiques a été introduit sur le marché.

En 1939, et en réponse au manque d'huiles et de graisses pendant la deuxième guerre mondiale, l'industrie du savon a commencé à créer des détergents en utilisant les agents tensio-actifs fournis par l'industrie pétrochimique.

Vers la fin des années quarante, des procédés ont été développés pour produire des dodecylbenzènes sulfonates (DDBS), qui sont devenus les agents tensio-actifs les plus largement répandus à cette époque.

Les problèmes de pollution par les détergents non biodégradables tel que le DDBS ont conduit l'industrie mondiale, à marquer sa préférence pour un nouvel intermédiaire linéaire: les alkylbenzènes linéaires sulfonates, fabriqués à partir des LAB, qui sont par ailleurs biodégradables et moins coûteux, ce fut donc un changement lié plus à la protection de l'environnement.

Après 1945, le manque de quantités suffisantes de pétrole brut comme matière première a diminué la production des LAB. Les n-paraffines ont été obtenus par la synthèse de Fischer Tropsch, et les LAS ont été produits par BASF.

Après la guerre, la demande en agents tensio-actifs a augmenté, l'industrie a été obligée de trouver un produit qui pouvait remplacer les n-paraffines pour subvenir à la demande croissante du marché, ceci a été réalisé par l'oligomérisation du propène en présence d'acide phosphorique comme catalyseur.

Jusqu'à 1959, les Tétra Propylène Benzène Sulfonate (TPBS) représentaient 65% des intermédiaires détersifs; ils ne présentaient pas seulement une bonne détergence mais aussi une bonne stabilité thermique.

Cependant le retour vers les LAS était rapide à cause de la non biodégradabilité des TPBS; il a été prouvé que les LAS ne produisaient pas des intermédiaires toxiques et ne constituaient aucun effet défavorable sur l'environnement.

Depuis, les LAS continuent à représenter une partie substantielle du marché d'agents tensioactifs. (1)

## **I- Les réactions mises en oeuvre**

Pour obtenir les alkylbenzènes linéaires, matière première pour la fabrication des LAS, les matières de base passent à travers plusieurs unités et subissent ainsi plusieurs réactions. Les réactions mises en oeuvre sont citées dans la partie suivante.

### **I-1-Fractionnement**

Une unité de fractionnement est constituée d'une succession de colonnes, exploitant la différence de volatilité des constituants, pour les séparer généralement, en trois produits: produit de tête constitué de composés légers, par rapport à la charge, la partie intermédiaire "le cœur de la charge" et produits lourds, en fond de colonne; dans des conditions de pression et de température définies.

Ces conditions sont optimisées en fonction du fractionnement désiré, selon la qualité de la coupe recherchée. Dans le cas de la production des LAB à partir des n-paraffines issues du kérosène, les chaînes alkylées recherchées sont de C<sub>10</sub> à C<sub>14</sub> atomes de carbone; le kérosène sera fractionné en trois coupes: les hydrocarbures < C<sub>10</sub> seront récupérés en tête de la première colonne (fraction légère), les hydrocarbures > C<sub>14</sub> constitueront le kérosène lourd; ces deux flux seront préalablement refroidis et retournés vers la raffinerie tandis que la fraction C<sub>10</sub>-C<sub>14</sub> alimentera l'unité suivante.

La séparation peut se faire en une seule colonne dite "Dividing-Wall-Column" (DWC). Cette technologie permet de réduire le coût de l'énergie (-25%), le coût des équipements (-30%) et réduire l'espace de 40%. Cette technologie a été déjà appliquée sur un complexe de production de LAB par UOP. (2)

### **I-2-Hydrotraitement\***

L'hydrotraitement consiste à l'élimination des impuretés tel que le soufre et l'azote, contenus dans les coupes pétrolières, dans le but de: soit améliorer un produit fini destiné à la consommation, ou la préparation des charges pour d'autres procédés. Le soufre et l'azote seront éliminés par réaction avec l'hydrogène à la surface du catalyseur, ces réactions conduisent à la formation de H<sub>2</sub>S et NH<sub>3</sub> respectivement.

Une unité d'hydrotraitement est composée de deux sections:

- 1- Section réactionnelle comportant le réacteur, dans lequel se déroule la réaction d'hydrogénation et la batterie d'échange de chaleur;
- 2- Section de distillation dans laquelle le produit sera purifié et débarrassé des produits légers.

Les réacteurs d'hydrotraitement sont à lit fixe opérant en phase gazeuse dans le cas de charges légères tel que le kérosène et en phase mixte liquide - gaz dans le cas des charges relativement lourdes.

### **I-3- Adsorption**

L'adsorption est la séparation d'une substance (adsorbat) d'une phase liquide ou gazeuse accompagnée de son accumulation (concentration) à la surface d'un solide (adsorbant). (3)

L'adsorption trouve plusieurs applications, soit comme procédé de purification si l'opération consiste seulement à enlever des traces de contaminants, ou procédé en bloc si un composé doit être récupéré sélectivement d'un mélange dans des concentrations élevées. Selon **Keller** (1983), on parle de procédé de séparation si le volume du composé à séparer dépasse les 10% pds dans la charge.

La séparation des n-paraffines des iso paraffines et paraffines cycliques des coupes pétrolières se fait par adsorption sur tamis moléculaires. (5)

Tableau I.1 : Les applications industrielles de l'adsorption

<b>Procédé de séparation</b>	<b>Procédés de purification</b>
<b>N-paraffines / Isoparaffines</b> <b>Composés aromatiques</b> <b>N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub></b> <b>CO, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub></b> <b>Eau/ Ethanol</b> <b>Fructose / Glucose</b> <b>Oléfines / Paraffines</b>	<b>Eau / Gaz naturel, air</b> <b>Gaz naturel / Hydrogène</b> <b>Dissolvant / Air</b> <b>Odeur /Air</b> <b>NO<sub>x</sub> /N<sub>2</sub></b> <b>Eau / Produits organiques, produits organiques oxygénés, chlorés</b> <b>Odeur / Eau potable</b> <b>Composés de soufre / Produits organiques</b> <b>Décoloration des fractions de pétrole, de sucre, huiles végétale</b>

Source : Société Internationale d'Adsorption (IAS)-1999

La capacité d'adsorption d'un solide adsorbant s'exprime par la quantité d'adsorbat (en gramme) par cm<sup>3</sup> d'adsorbant; elle varie avec la pression, la concentration de l'adsorbat dans la phase fluide et la température, cependant le paramètre fondamental qui gouverne l'adsorption est la nature de l'adsorbat.(6)

L'extraction des substances fixées sur l'adsorbant, processus inverse de l'adsorption est appelé désorption, elle peut avoir lieu soit par élévation de température (TSA), diminution de pression (PSA), passage de gaz inerte ou la présence d'un composé plus adsorbable qui déplacera l'adsorbat. (7)

Généralement, la désorption des n-paraffines se fait par déplacement avec un désorbant approprié tel que l'octane, l'hexane, le pentane et l'ammoniac dans certains procédés.

Tableau I.2: Les méthodes de désorption

<b>Méthode</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
TSA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Une petite variation de température donne une grande variation en quantité désorbée;</li> <li>• L'adsorbat est récupéré à une concentration élevée;</li> <li>• Applicable pour le gaz et le liquide.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Détérioration de l'adsorbant par effet thermique;</li> <li>• La perte de chaleur signifie l'inefficacité dans l'utilisation d'énergie;</li> <li>• Peu convenable pour les cycles rapides;</li> <li>• Un besoin en chaleur d'évaporation important pour les liquides.</li> <li>• Exige de basses pressions.</li> </ul>
PSA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisé dans le cas des adsorbats faiblement adsorbés;</li> <li>• Applicable pour des cycles rapides;</li> <li>• Opération à température et pression constante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessite un volume important en gaz de purge.</li> <li>• Appel à un procédé de séparation adsorbat/désorbant.</li> </ul>
Purge par inerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisé dans le cas des molécules fortement adsorbées;</li> <li>• Pas de risque de craquage au cours de la régénération.</li> </ul>	
Déplacement par désorbant		

Source: (7)

Les procédés d'adsorption sont passés par trois phases d'évolution; en premier, l'adsorption se faisait par le passage de la charge à traiter sur un lit fixe d'adsorbant. Après saturation l'adsorbat est purgé, soit par TSA ou PSA ou passage d'un gaz inerte: l'adsorption et la désorption ne se faisait pas en parallèle.

Afin de maximiser le transfert de masse dans le système, d'utiliser l'adsorbant plus efficacement et de réduire le temps de l'opération, un procédé à contre-courant continu a été conçu par la circulation de l'adsorbant autour de deux lits, il peut être soumis sans interruption à l'adsorption et à la désorption en même temps; mais cette deuxième méthode présentait le problème de la circulation du solide.

La forme la plus recommandée pour éviter la circulation du solide est de placer les flux à contre courant dans un réacteur à lit fixe simulé mobile (Simulated Moving Bed - SMB); UOP a introduit cette technologie "Sorbex" il y a 30 ans de cela.\*

Cette technologie compte plusieurs applications à savoir:

- ❖ **Molex** pour la séparation des n-paraffines des iso paraffines;
- ❖ **Parex** pour la séparation du para xylène des autres aromatiques;
- ❖ **Ebex** pour la séparation de l'éthylbenzène des aromatiques;
- ❖ **MX Sorbex** pour la séparation du méta xylène des autres aromatiques;
- ❖ **Sarex** pour la séparation des glucose / fructose;
- ❖ **Olex** pour la séparation des paraffines / oléfines, et propane / propylène.

Les adsorbants utilisés généralement sont les tamis moléculaires. Leur intérêt repose sur leur porosité qui est extraordinairement forte (1 gramme de zéolithe peut correspondre à une surface spécifique de plus de 800 m<sup>2</sup>) leur permettant de jouer un rôle de tamis à l'échelle moléculaire et, par adjonction d'ions ou de molécules dans leur maille cristalline, de provoquer ou d'accélérer des réactions chimiques bien précises. (4) Ils sont activés par chauffage à une température comprise entre 350 et 500°C.

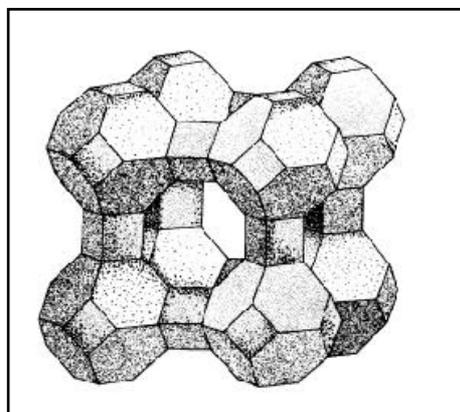


Figure I.1: La structure de la zéolithe A

#### **I- 4- Déshydrogénation**

La déshydrogénation est une réaction chimique correspondant à la perte d'atomes d'hydrogènes d'un alcane pour donner un alcène.

La déshydrogénation des paraffines en oléfines se faisait depuis 1930; les paraffines peuvent être sélectivement déshydrogénées en mono oléfines correspondantes en employant des catalyseurs appropriés; les catalyseurs à base d'oxyde chromé sur alumine ont longtemps été employés pour la déshydrogénation de paraffines légères comme le n- butane en n- butène et le n- butène en 1,3-butadiène.

Actuellement, et depuis 1960, les procédés de déshydrogénation des paraffines légères et lourdes sont basés sur l'utilisation de catalyseurs à base de métaux nobles à cause de leur stabilité et leur sélectivité supérieure.

Le procédé PACOL est un procédé de déshydrogénation des n-paraffines en n-oléfines en présence d'un catalyseur à base de platine, il est le résultat d'une transformation conséquente de la connaissance scientifique d'UOP des années 40 et des années 50 dans la catalyse hétérogène. Dans les années 40 **Vladimir Ipatieff** était le premier à avoir identifier les propriétés de déshydrogénation des catalyseurs en platine après leurs utilisation dans les unités du reforming. En 1999, plus de 30 unités de déshydrogénation à base de ce catalyseur ont été identifiées.

Le procédé a été commercialisé pour la première fois en 1968 au Japon et son apparition a marqué une transformation substantielle dans l'industrie des détergents et a contribué au maintien d'alkylbenzène linéaire comme intermédiaire détersif.

Les premiers catalyseurs PACOL [DeH-3] et [DeH-4], ont été remplacés par un autre catalyseur [DeH-5], commercialisé en 1971 et qui a dominé le marché pendant plusieurs années. Ce catalyseur donnait un produit composé à 90% de n-mono oléfines et une teneur inconsiderable de sous-produits (4% dioléfinés et 3% aromatiques) mais avait une durée de vie relativement courte.

En 1983, une amélioration considérable en rendement a été réalisée avec le catalyseur [DeH-7]. Pour une même sélectivité, ce catalyseur augmente la conversion de 30% par rapport au précédent, il est 1,75 fois plus stable que le [DeH-5] et a une durée de vie deux fois plus longue. En 1990 un nouveau catalyseur a été introduit [DeH-9] avec la même stabilité que le [DeH-7] mais plus sélectif (moins de paraffines et aromatiques).

Les efforts de développement ont continué et en 1998 le [DeH-11] a été commercialisé; toujours de forme sphérique, mais le catalyseur était une couche mince déposé sur inerte.

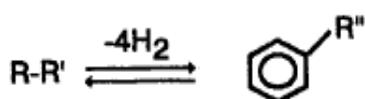
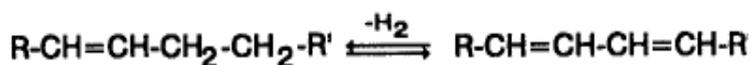
En 2001, le [DeH-201] a été développé, de même conception que le [DeH-11], ce catalyseur présentait une conversion meilleure que le précédent.

**Tableau I.3 : Rendement en LAB en fonction du catalyseur PACOL**

	<b>DeH-5 (1970)</b>	<b>DeH-7 (1983)</b>	<b>DeH-9 (1990)</b>
Tonne de LAB/ m <sup>3</sup> de catalyseur	1200	2100	2100
Kg de LAB/ Kg de charge	0.85	0.85	0.92

Source : (1)

La déshydrogénation des n-paraffines en n-oléfines se déroule en phase vapeur, autres réactions auront lieu en parallèle, à savoir la formation des diènes et des aromatiques, réaction de craquage et d'isomérisation; la maximisation de la formation des oléfines est obtenue par élévation de température et diminution de pression. (1)



Le temps de séjour joue un grand rôle:

- S'il est trop long, la concentration en oléfines approche la concentration d'équilibre et chaque autre conversion de paraffines mène inévitablement à la plus grande formation des sous-produits;
- S'il est court, la température doit être plus élevée afin d'obtenir la conversion désirée, or cette élévation de température favorise les réactions de craquage d'où la diminution de la sélectivité.

De ce fait, les conditions opératoires dans l'unité PACOL sont optimisées expérimentalement. (1)

Tableau I.4: Conditions typiques du procédé PACOL

Température (°C)	Pression (bar)	H <sub>2</sub> /n-paraffines	Conversion (%)
470-490	~2	8 :1	~ 30

Source: (1)

En 2000, plus de 7 millions de tonnes d'oléfines de C<sub>3</sub>/C<sub>4</sub> atomes de carbone et plus de 2 millions de tonnes d'oléfines de C<sub>10</sub>/C<sub>13</sub> atomes de carbone ont été produits par déshydrogénation catalytique\*.

### **I- 5- Hydrogénation des dioléfines**

Les réactions indésirables accompagnant la réaction de déshydrogénation des n-paraffines, donnent lieu entre autres à la formation des dioléfines qui génèrent les coproduits diaromatiques au cours de l'alkylation de benzène.

Le problème de la formation des dioléfines a été résolu avec l'introduction du procédé DEFINE (UOP), dans lequel, en phase liquide et dans des conditions de température de 180 à 220°C et à haute pression, les dioléfines sont hydrogénées en mono oléfines par contact avec le catalyseur d'hydrogénation [H-14]; ce catalyseur a été développé en 1984 et utilisé industriellement pour la première fois en 1986.

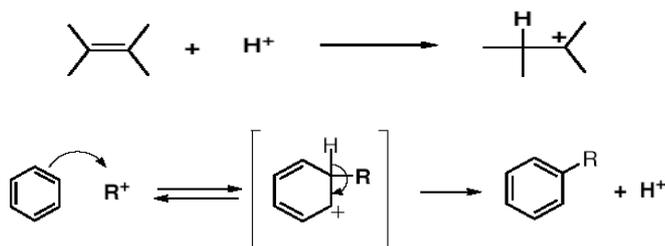
Les dioléfines sont pratiquement éliminées et le rendement en mono oléfines augmente de 4 à 5 %.

Pour un faible investissement, le procédé DEFINE permet d'augmenter le rendement en LAB et de réduire la formation de coproduits. (1)

### **I- 6- Alkylation du benzène**

L'alkylation des composés aromatiques est une réaction largement utilisée dans l'industrie chimique (éthylbenzène, cumène, LAB)\*.

La réaction de Friedel et Crafts est la méthode d'introduction d'un substituant hydrocarboné sur un cycle aromatique. Le substituant peut être un halogénure d'alkyle (en présence d'acide de Lewis) ou des alcools et des alcènes (en présence d'acide forts tel que HF).



A l'échelle industrielle, l'alkylation du benzène se faisait en présence de  $\text{AlCl}_3$  ou HF comme catalyseur; le premier donne un LAB contenant 30% de 2-phenylalcane et environ 22% de 3-phenylalcane, tandis qu'avec le HF, le produit contient 15 à 20% de 2-phenylalcane et environ 20% de 3-phenylalcane, ces isomères améliorent la solubilité du détergent.

Cependant, ces procédés conventionnels présentent beaucoup d'inconvénients à savoir: la corrosion, la pollution et la consommation élevée en catalyseur.

Au cours de ces dernières années, des catalyseurs solides pour alkylation ont été développés. Le premier procédé à base de  $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$  comme catalyseur est connu sous le nom commercial DETAL, réalisé par UOP et PETRESA en 1995.

**Tableau I. 5 : La composition en isomères en fonction du catalyseur**

Composition (%)	Catalyseur HF	Catalyseur $\text{AlCl}_3$	Lit fixe
1-phenyl alcane	0	0	0
2-phenyl alcane	18.5 – 22.5	25-30	25-30+
3-phenyl alcane	18.5 - 25.5	21 – 24	21
4-phenyl alcane	14.5 – 30	13 – 28	20
5-phenyl alcane	0 – 24.5	0 – 23	18
6-phenyl alcane	0	0 – 16.5	14

Source: (1)

Les matières de base sur lesquelles repose la fabrication des LAB sont les n-paraffines et le benzène. Les n-paraffines sont généralement extraites du kérosène.

## II- Le kérosène

Egalement appelé carburéacteur, le kérosène est composé principalement de la fraction  $\text{C}_7\text{-C}_{17}$  (180° à 280°C selon le brut), il est en particulier caractérisé par sa fluidité aux basses températures (de l'ordre de -50°C); sa densité est de l'ordre de 0.8 à 15°C.

Le kérosène est employé comme carburéacteur (2/3 du kérosène produit), pour le chauffage et l'éclairage domestique, comme agent de flottation minérale, comme lubrifiant (dans les procédés de fabrication du plastique) et comme solvant.

Il est aussi la matière première pour la production de l'acide naphthénique et des normales paraffines.

Le kérosène est obtenu des sources suivantes:

- Distillation atmosphérique du brut;
- Hydrocraquage du Fuel-Oil;
- Gasoil sous vide;
- Gaz de synthèse (procédé MDS - Shell).

### **III- Le benzène**

Le benzène est un hydrocarbure cyclique liquide incolore, très soluble dans les solvants organiques polaires, faiblement soluble dans l'eau.

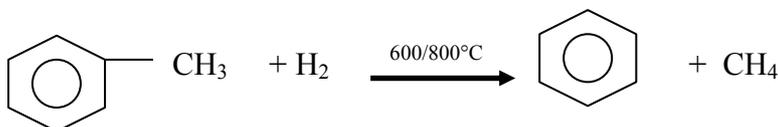
Le benzène est obtenu par récupération, principalement à partir des essences de pyrolyse et des essences du reforming. Il peut également être récupéré, mais en quantités bien inférieures, dans les goudrons de houille et dans des gaz de cokeries. Il est utilisé dans la production du styrène via l'éthylbenzène (50% du benzène utilisé), le cumène (21%), le cyclohexane (13%), le nitrobenzène, des nitrophénols, les alkylbenzènes, l'anhydride maléique et les chlorobenzènes.

Ces produits donnent lieu à leur tour à la production d'une vaste gamme de produits de très grande diffusion: des polymères et caoutchoucs, des détergents, parfums, colorants, des solvants, des pesticides, des explosifs, des plastifiants, des médicaments...etc.

- Les essences de pyrolyse contiennent 40% de benzène, 30% d'autres composés aromatiques et 30% de non aromatiques. Pour pouvoir séparer le benzène, les oléfines et dioléfines de cette essence doivent être hydrogénées; les composés aromatiques et non aromatiques seront ensuite séparés par extraction liquide.
- La cokéfaction du charbon à une température élevée (900°C) donne du coke, du goudron et un gaz de cokerie constitué principalement du benzol (benzène 80%, toluène 15% et xylène 5%). Un refroidissement répétitif éliminera le goudron du benzol. Le benzol avec d'autres composants sont séparés par absorption et le benzène pur est récupéré par la distillation azéotropique.

• Au cours du reforming catalytique à une température comprise entre 500 et 525 °C et une pression comprise entre 8 et 40 atm, les hydrocarbures aliphatiques forment des cycles et perdent des atomes d'hydrogène pour devenir aromatiques; ces composés produits au cours de la réaction sont alors séparés du mélange réactionnel par extraction en utilisant des solvants comme le sulfolane. Le benzène est ensuite séparé des autres composés aromatiques par distillation. (8)

• L'hydroalkylation du toluène est une réaction qui a lieu à une température de 550 à 600°C en présence du catalyseur (CoO). (7)



## **IV- Les normales paraffines**

### **IV -1- Définition**

Les n-paraffines sont des hydrocarbures saturés linéaires de formule générale  $C_nH_{2n+2}$  (para + affinis en latin qui veut dire manque de réactivité).

Les n-paraffines de  $C_9$  à  $C_{17}$  sont habituellement séparées des fractions gas-oil et kérosène en utilisant les tamis moléculaires ou par adduction à l'urée, elles sont la matière première pour la production des oléfines ou des chloroparaffines employés dans la production des LAB.

Les n- paraffines sont aussi utilisées -suivant la longueur de la chaîne- comme solvant ( $C_{10}$  -  $C_{15}$ ), huile de base pour le laminage ( $C_{13}$ - $C_{14}$ ), dans la production des détergents alcooliques ( $C_{10}$ - $C_{13}$ ) ou ( $C_{15}$ - $C_{16}$ ), dans la fabrication des SAS ( $C_{17}$ +), des chloroparaffines pour l'industrie du plastique, alcool gras après oxydation, dans la production des élastomères synthétiques, des résines, peinture et vernis dégraissant, encres et polymères\*. La figure I.2 donne les applications des n-paraffines.

## IV-2- Propriétés des normales- paraffines

Les n-paraffines sont:

- Insolubles dans l'eau;
- Solubles dans les éthers, le benzène et certains esters;
- D'une densité inférieure à celle de l'eau;
- Leurs points de fusion et d'ébullition augmentent avec le poids moléculaire;
- Aux conditions standards les n-paraffines de:
  - C1 à C4 sont à l'état gaz,
  - C5 à C17 sont liquides,
  - C 18 + sont à l'état solide.

Elles ont pour principales caractéristiques un bon indice de cétane, un mauvais indice d'octane et une faible résistance au froid.

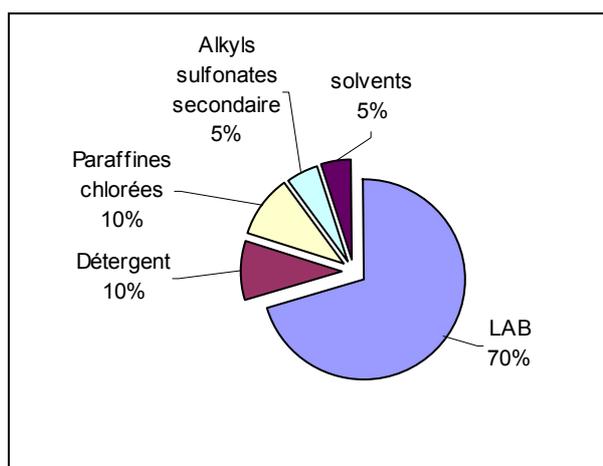


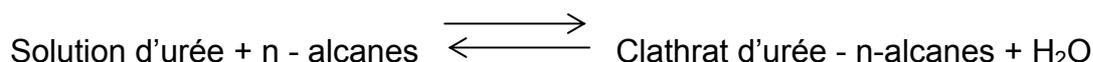
Figure I.2 : Applications des n-paraffines

## IV-3 - Extraction des normales - paraffines

On extrait les paraffines linéaires des mélanges de distillation soit par :

- **Cristallisation** : La fraction pétrolière est dissoute dans du chlorure de méthylène chaud avec un rapport donné; le mélange est maintenu dans un bain cryogénique à  $-35^{\circ}\text{C}$  pendant 30 minutes. Les n-paraffines se cristallisent, elles sont filtrées et lavées avec du chlorure de méthylène et sont ensuite dissoutes dans le tétrachlorure de carbone chaud et séparées par distillation. (9)

- **La Chlatriation** : Cette méthode utilise la découverte que **F.bengen** fit en 1940, (adduction à l'urée) à savoir que l'urée forme des composés cristallins d'addition avec les n-paraffines, mais pas avec d'autres types d'hydrocarbures. Ces composés sont relativement stables à température ambiante et peuvent se séparer de la phase aqueuse par filtration; ensuite ils se décomposent en chauffant vers 80°C température à laquelle on sépare alors les n-paraffines de la solution d'urée. L'urée utilisée peut être sous forme solide mélangé à la charge ou en solution.



Dans le procédé EDELEANU GmbH (1955), la fraction à déparaffiner est dissoute dans un volume égal de dichlorure de méthylène (CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>). Cette solution est mélangée à une solution d'urée à 70°C. La température du mélange dans le réacteur est de 40°C. Le complexe d'urée et des n-alcanes formé est séparé du reste de la fraction par filtration, le produit de filtration est lavé avec le dichlorure de méthylène et plus tard le clathrat est décomposé avec de l'eau chaude en n-alcanes et solution d'urée.(10)

Le procédé NUREX (1967) développé au Japon emploie l'urée solide au lieu d'une solution d'urée.(8)

Des travaux sur la complexation des n-paraffines sur l'urée ont fait l'objet de plusieurs travaux au niveau du laboratoire de valorisation des énergies fossiles à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger [K.Bouamoud,1986; Amari,1978;...].

- **Par tamis moléculaires** : Ils sont mis en œuvre par deux types de techniques :

**1-Procédés discontinus (cycliques)** : Qui ont lieu en phase vapeur tel que les procédés Isosiv et Ensorb. (9)

**2-Procédé continu** : Qui opère en phase liquide tel que le procédé Molex et dont la continuité de fonctionnement est obtenue par un grand nombre de lits qui sont tour à tour desservis par une vanne rotative. (9)

Dans les premières unités Sorbex à lit mobile, le tamis moléculaire circulait à travers la colonne à contre courant avec le liquide; appliquée dans l'industrie, cette conception présentait des problèmes d'abrasion et de non uniformité de l'écoulement des petites particules de l'adsorbant ce qui a rendu cette option impraticable. (1)

UOP a découvert que l'on pourrait produire le même effet qu'un lit mobile si on changeait les points d'injections et de soutirages à des intervalles de temps fixes, plus le temps est court, plus on se rapproche d'un contre courant continu. (Simulation du lit fixe en lit mobile SMB).

- Les n-paraffines peuvent être aussi obtenues par la synthèse de Fischer Tropsch dans laquelle l'oxyde de carbone avec de l'eau est converti dans des conditions appropriées en mélange d'hydrocarbures. Cette voie de synthèse reste cependant coûteuse par rapport aux autres méthodes\*.

Les procédés industriels diffèrent par le choix de la phase (vapeur ou liquide) et par la méthode de désorption; le procédé en phase liquide présente l'avantage de ne pas nécessiter beaucoup d'énergie mais l'inconvénient est que les composés non adsorbés restent en grande partie à la surface de l'adsorbant ce qui demande une opération supplémentaire à savoir le lavage du tamis après adsorption. (11)

En phase gazeuse, les composés non adsorbés sont par contre facilement dégagés mais, la température élevée de réaction mène à la formation de coke, d'où la régénération régulière des tamis moléculaires.

### **V- Alkylbenzènes linéaires (LAB)**

Comme son nom l'indique, le LAB comprend un noyau benzénique avec un groupement alkyl. La longueur de la chaîne alkyl dépend de la matière première tandis que le point d'attachement dépend du procédé d'alkylation.

Le LAB est donc la combinaison des n-paraffines avec le benzène ; la molécule de paraffine n'étant pas prête à recevoir la molécule de benzène ; des modifications sont ainsi nécessaires (Figure-I.3).

Le LAB constitue la principale ressource d'approvisionnement en matière organique pour l'industrie des détergents (LAS); il ya plusieurs raisons à cela, non seulement parcequ'il est doué de propriétés détersives optimales après sulfonation mais aussi parcequ'il est largement disponible et bon marché.(12)

Commercialement, dans le passé, il y avait deux catalyseurs principaux pour l'alkylation du benzène par les oléfines, l'acide fluorhydrique HF et le chlorure d'aluminium  $AlCl_3$ .

Le procédé à base de HF est devenu plus utilisé par rapport à celui basé sur le  $AlCl_3$ , en effet le  $AlCl_3$  est fortement corrosif dans des solutions aqueuses, provoque beaucoup de problèmes d'entretien, la récupération du catalyseur utilisé n'est pas possible et de grandes quantités d'hydroxyde d'aluminium sont produites.

Le HF remplaça ainsi le  $AlCl_3$  dans les nouvelles installations (dans les années soixante dix et quatre vingt) et représenta 75% de la capacité installée dans le monde.

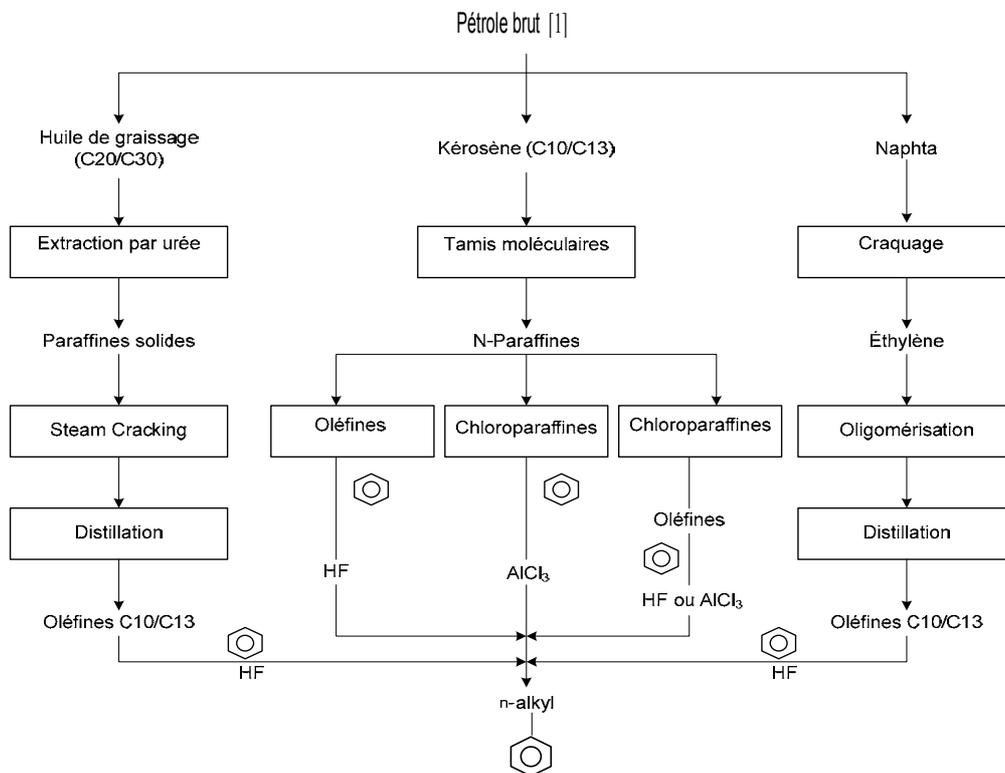


Figure I.3 : Les chemins de fabrication des LAB

Ainsi, le LAB peut être produit par:

- **Chloration des n-paraffines à des monochloroparaffines**; le benzène est ensuite alkylé par les monochloroparaffines en présence de  $(AlCl_3)$  comme catalyseur (technologie ARCO).(12)

La réaction a lieu sous une température de 35 à 90°C, une pression de 3 bar, un temps de séjour de 5 à 60 minutes et un ratio  $AlCl_3$  / chloroparaffines de 0,03/1 à 0,1/1.(13)

Ce procédé est pratiqué par deux producteurs: Sasol en Italie et Wibarco en Allemagne (BASF).(13)

- **Chloration des n-paraffines pour donner les paraffines chlorées**; elles sont ensuite déchlorhydratés en oléfines qui seront substituées au benzène en présence de  $AlCl_3$  comme catalyseur (13).

Ce procédé a été officiellement présenté par EniChem Augusta au troisième congrès international d'agents tensio-actifs en 1992 à Londres et il n'a pas été commercialisé pour longtemps.(13)

- **Déshydrogénation des n-paraffines en oléfines**; suivi d'une alkylation en utilisant un catalyseur d'acide fluorhydrique (HF). (13)

Pour une sélectivité d'alkylation plus élevée, le benzène doit être en excès. La réaction est exothermique, la chaleur de réaction est efficacement réduite par l'utilisation du propane vaporisé qui est pompé par un faisceau de tubes dans le réacteur d'alkylation.

Après plusieurs années d'utilisation, l'acide fluorhydrique a été classé comme substance dangereuse à cause de ses effets toxique et corrosif; son utilisation a été interdite dans certaines régions (Californie) et on s'attend à ce qu'également plus d'états et de pays suivent le mouvement au cours des années à venir.

Cette technologie mène également à la production des effluents acides qui doivent être neutralisés (KOH) et s'ajoute ainsi à la complexité des opérations du complexe. C'est ces risques en matière de sécurité liés à l'acide fluorhydrique qui ont déclenché les recherches de nouvelles technologies et qui ont mené à un nouveau procédé à catalyseur solide (DETAL). (13)

Les principaux producteurs des LAB qui emploient l'acide fluorhydrique comme catalyseur sont:

- a) Sasol et Petresa en Europe;
- b) Hunstman en Amérique du Nord;
- c) Pétrole de Mitsubishi et du Nippon au Japon;
- d) Isu en Corée du Sud;
- e) Tamil Nadu Petroproducts en Inde. (13)

• **La déshydrogénation des n-paraffines en oléfines**; suivi d'alkylation du benzène en utilisant un lit fixe de catalyseur solide, acide non-corrosif; la substitution de HF dans ce procédé mène à un certain nombre d'avantages: (1)

- a) milieu non-corrosif;
- b) catalyseur régénérable;
- c) peu d'exigences vis-à-vis de la matière première;
- d) absence de jets de neutralisation;
- e) absence d'enlèvement de fluorure;
- f) coût d'investissement et d'entretien relativement bas.(1)

Le ratio LAB /alkylat lourd est presque identique dans les deux procédés DETAL et HF, les différences significatives sont le rendement en LAB qui est inférieur de 3% dans le procédé DETAL(13) et la teneur relativement élevée en isomère 2 phenyl alcane; le procédé HF produit 15 -20% de 2 phenyl alcane alors que le procédé DETAL en produit plus de 30%; ce facteur a une influence directe sur les propriétés physiques de la solubilité des LAS: pour le même poids moléculaire; le LAS avec un contenu en 2-phenyl alcane élevé, a une meilleure solubilité.

PETRESA est la première société dans le monde a avoir utilisé ce procédé (Becancour) en 1995. (13)

## **VI - Les tensio actifs anioniques**

Les tensioactifs anioniques sont les plus utilisés actuellement, la coupe de C<sub>10</sub>-C<sub>14</sub> et le nombre relativement élevé d'isomères sont responsables de l'étendue des applications de ces agents tensioactifs: détergents ménagers, produits de beauté, l'industrie des plastiques, matériaux de construction, industrie alimentaire, textile, traitement du métal et autres applications industrielles.

La matière première pour la fabrication des tensioactifs anioniques synthétiques sont soit les paraffines linéaires, les oléfines, les alcools primaires de poids élevés, les esters méthyliques, les oxydes d'éthylène et le benzène.

D'autres produits auxiliaires interviennent comme agents de sulfonation tel que l'oléum, l'acide chlorosulfonique (Cl-SO<sub>2</sub>-OH)... (8)

➤ **Les paraffines linéaires:**

La déshydrogénation des n-paraffines de la gamme moléculaires C<sub>9</sub> à C<sub>17</sub> donne les oléfines, produit initial pour la synthèse des agents tensioactifs anioniques.

Il est également possible de les convertir directement en alkyls sulfonates secondaires (SAS) au moyen de la réaction de sulfoxydation ou de sulfochloration. Cette gamme de n-paraffines est contenue dans les fractions pétrolières kérosène et gas-oil (8).

➤ **Les oléfines linéaires:**

- La pyrolyse à basse sévérité des n-paraffines de C<sub>20</sub> à C<sub>30</sub> donne des oléfines de C<sub>10</sub> à C<sub>18</sub>, la réaction a lieu dans un réacteur tubulaire en présence de vapeur à 600°C et pour un temps de séjour de 10 secondes. Le rendement obtenu est de 40 à 45 %.

Comparées aux n-oléfines pures produites par la réaction d'oligomérisation de l'éthylène, les oléfines de craquage sont moins appréciables en qualité. (8)

- L'oligomérisation d'éthylène pour la production des oléfines de C<sub>9</sub> à C<sub>18</sub> (procédé Alfen) par le triéthyl aluminium [**Ziegler & Al**] se déroule en deux étapes; dans la première (100°C et 100 bar), l'éthylène s'attache au Al (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub> et dans la deuxième étape, le composé formé se déplace et forme un oligomère avec l'éthylène libre (300°C et 10 bar). (8)

- Les oléfines peuvent être aussi obtenues par déshydratation des alcools primaires, mais la quantité des alpha oléfines est très faible par rapport aux autres isomères (1%); elles peuvent dans ce cas être obtenues par pyrolyse de l'ester correspondant; un catalyseur, à base d'oxyde d'aluminium a été développé et donne un mélange à 93 % d'alpha oléfines. (8)

➤ **Les oléfines branchées:** (12)

Le propène, mélangé avec du propane peut être polymérisé en présence d'acide phosphorique comme catalyseur à 170°C et 60 bar pour produire des alcènes appropriés à la conversion en alkylbenzène.

Les tétra propylènes, produits désirés, seront séparés du propane non converti et le tripropylène par distillation fractionnée.

En réalité, les oléfines branchées ne sont pas intensivement utilisées vu leur résistance à la biodégradabilité; la capacité mondiale de production des alkylbenzènes linéaires est quatre fois plus la capacité en alkylbenzènes en chaînes ramifiées.

L'alkylbenzène linéaire sulfonate (LAS) est l'un des plus importants tensioactifs anioniques en terme de consommation (2,9 millions de tonnes en 2003), et le plus utilisé dans les détergents.

Ils sont produits par l'addition des n-oléfines au benzène, possèdent un groupement  $\text{SO}_3$  en position para et neutralisés avec l'hydroxyde du sodium pour l'usage dans les systèmes à base d'eau ou à l'hydroxyde de calcium pour l'usage dans les systèmes à base d'huile.

Ils présentent les avantages suivants:

1. Compatibilité avec tous les types de mélanges de détergents;
2. Il peut être sous tout type de détergents : liquides, gel, pâtes, granulés ...etc;
3. Facilité de production en utilisant de diverses technologies de sulfonation;
4. Qualifications environnementales (biodégradables à plus de 90%). (12)

## **VII - La sulfonation et la neutralisation chimique**

La sulfonation des LAB peut être effectuée avec de l'acide sulfurique, l'oléum à 20% ou avec le trioxyde de soufre concentré ( $\text{SO}_3$ ); avec les premiers réactifs, de grande quantités d'acide sulfurique doivent être débarrassées ou traitées; par conséquent l'utilisation du  $\text{SO}_3$  est préférable.

Les réacteurs à film tombant à mono-tube ou multi-tube avec le  $\text{SO}_3$  est la technologie la plus répandue, surtout en Europe.

La fabrication des LAS procède en quatre étapes: dans la première étape se déroulent quatre réactions :

- La première réaction est une réaction rapide et a comme conséquence la formation de l'acide pyrosulfonique;
- Dans la deuxième réaction, l'acide pyrosulfonique est lentement réarrangé avec le LAB pour former le LAS.

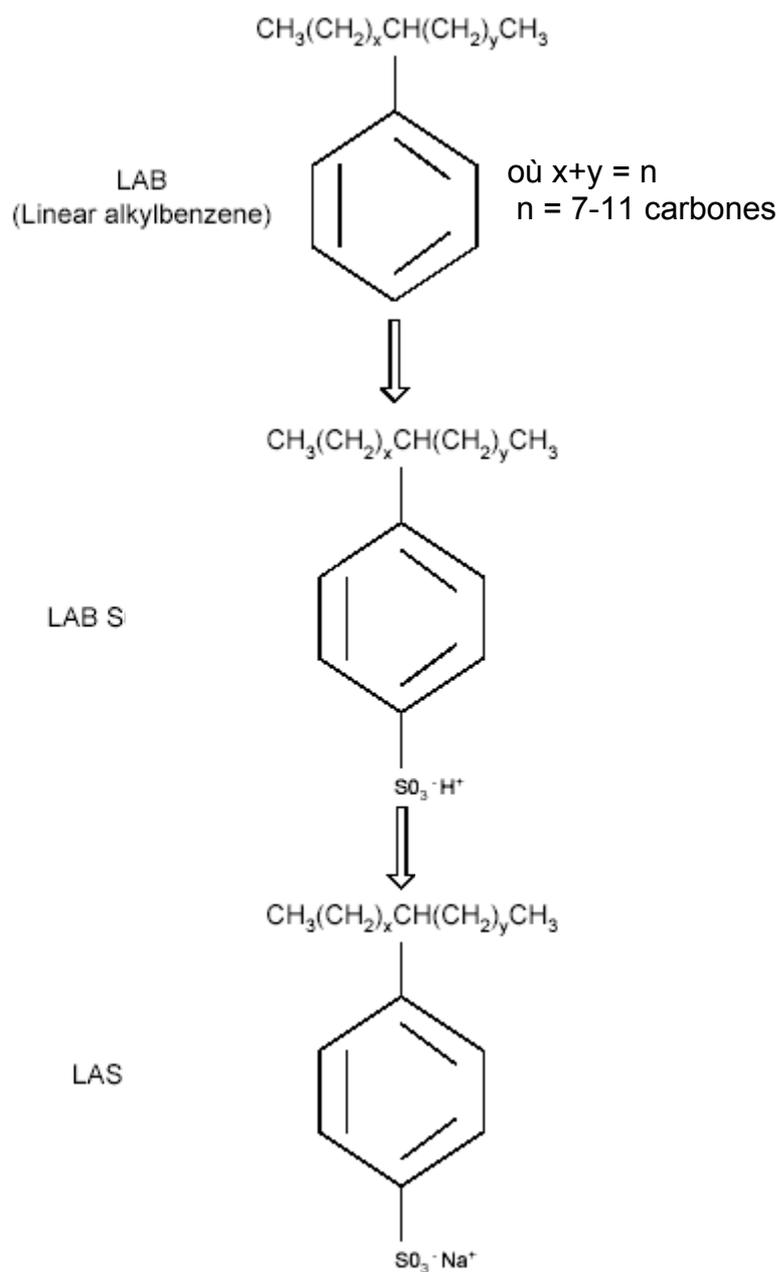
Deux réactions se déroulent en parallèle à savoir: la formation de sulfone par action de LAB avec LAS et formation d'anhydride; ce sont deux coproduits de la réaction principale. La formation de sulfone est influencée par la température de la réaction tandis que celle d'anhydride est influencée par le rapport  $SO_3/$  LAB et le temps de séjour.

La deuxième étape est la réaction de conversion de l'anhydride en LAS tandis que la troisième étape consiste à hydrolyser l'anhydride résiduel (par addition d'une petite quantité d'eau) et l'étape finale consiste à la neutralisation du produit.

La sulfonation des alkylbenzènes est une réaction exothermique, les réacteurs sont verticaux dans lesquels les LAB introduits par le haut, s'écoulent en films minces sur les parois refroidies ainsi que le  $SO_3$  dilué; le rapport molaire  $SO_3/$ LAB est de 1,03, la concentration en  $SO_3$  est entre 5 à 10% vol dans de l'air ou un gaz inerte et la température du réacteur est de 50 à 70°C; la conversion des LAB atteint une valeur de 92 % à 98%. (14)

Les acides alkylbenzène sulfonates sont stables; ils peuvent être commercialisés sous leur forme acide et neutralisés au moment de la formulation. (14)

Les agents neutralisants les plus utilisés sont la soude caustique (NaOH) et le carbonate de sodium ( $Na_2CO_3$ ) ainsi que les solutions: d'ammoniaque ( $NH_3$ ), de mono et diéthanamines.



Sulfonation et neutralisation des LAB

## II- Etude De Marché

## **Introduction**

En général, dans un projet d'investissement, et après avoir vérifié la faisabilité technique, la disponibilité de ses charges, le porteur du projet doit passer à une nouvelle étape qui est l'étude de marché. Elle occupe une place clé dans la décision de la réalisation d'un nouveau projet; elle doit en effet permettre de bien connaître et comprendre son marché et de définir ainsi sa stratégie commerciale dans le cas de l'aboutissement du projet.

Il est possible de réaliser l'étude de marché soi-même en effectuant une recherche documentaire auprès des sources d'informations mises à sa disposition (organismes et syndicats professionnels, instituts de statistiques...), cependant et généralement pour les marchés de grande importance et internationaux tels que ceux des bases pétrochimiques, ces études sont confiées à des professionnels dans l'analyse et étude de marché qui suivent régulièrement ses tendances: régionale et globale.

Plusieurs organismes offrent des études de marché des intermédiaires détersifs (Colin & Houston Association, Chemsystem, Research & Markets, Tecnon OrbiChem, World Directory of Marketing Information Sources).

Un aperçu sur le marché des LAB et des n-paraffines ainsi que celui des détergents et des matières premières est donné dans cette deuxième partie.

## **I-Le marché des détergents**

### **I-1 Le marché international**

En 2003 la production des tensioactifs dans le monde était de 12 millions de tonnes dont 20% d'origine renouvelable. L'Amérique du Nord a consommé 35% de cette production suivie de l'Asie Pacifique avec 29%, l'Europe de l'Ouest avec 23% et le reste du monde se partageait les 13% restant. (15)

La demande en tensioactifs va augmenter d'une manière significative dans les dix prochaines années avec un taux moyen de 3.5% par an. La plus grande augmentation, (4 à 7%) sera enregistrée en Asie Pacifique; les savons et les barres détersives seront remplacés par les poudres détersives bien qu'elles soient deux fois plus chères.

L'Asie Pacifique est suivi par l'Amérique Latine (2.5 %), le Japon (1.5 %), l'Amérique du Nord (1.0 %) et l'Europe occidentale (0.3%)\*. La figure II.1 montre les futures demandes en agents tensioactifs en Asie Pacifique comparé au pays industrialisés.

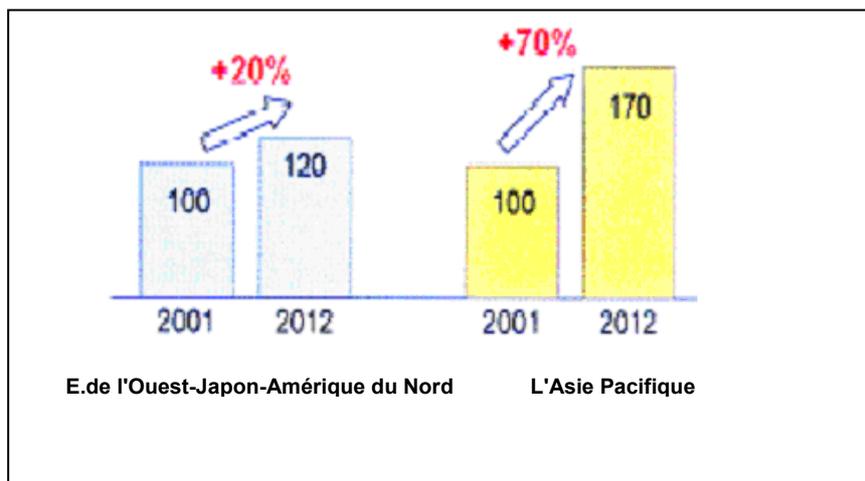


Figure II.1: Évolution de la demande en tensioactifs

Les domaines d'applications des tensioactifs sont multiples, ils jouent le rôle soit de matière première de base dans la formulation des produits (détergents, cosmétiques,) ou de produit auxiliaire dans d'autres procédés industriels (industrie du textile, des métaux, du cuir, du pétrole,).

Principalement trois grands secteurs d'applications, à savoir les secteurs des détergents, du cosmétique et des usages industriels sont distingués. Ces secteurs n'ont pas le même poids en terme de volumes d'application, la répartition apparaît dans le tableau II.1

Tableau II.1: Segmentation du marché mondial des tensioactifs

Application	Production mondiale (10 <sup>3</sup> tonnes)	%
Détergence ménagère	4 800	40
Marché des industries techniques et agricoles	5 400	45
Détergence industrielle	720	6
Hygiène corporelle et cosmétique	1 080	9

Source: (15)

La classe des tensioactifs anioniques est la plus importante, elle représente environ 60% de la production mondiale. Les tensioactifs non ioniques, sur le plan tonnage, sont moins importants, (38%), mais comprennent une variété plus grande d'espèces chimiques. Quant aux deux autres classes, amphotère et cationique, elles représentent de plus faibles volumes.

En Europe, cette répartition est un peu différente, la classe des non ioniques est prépondérante, elle représente 51% contre 40% pour les tensioactifs anioniques.

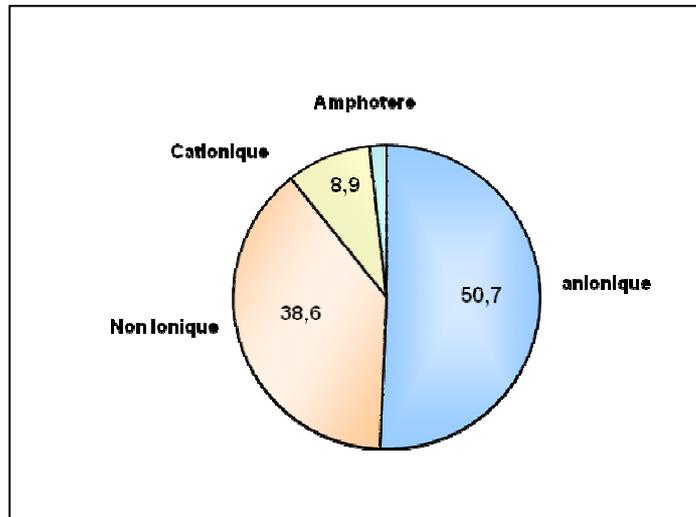


Figure II.2: Répartition de tensioactifs par type sur le marché mondial

Le LAS est l'agent tensioactif le plus utilisé dans les détergents depuis plus de trente ans et continu à représenter une partie substantielle du marché des tensioactifs; 80% de la production mondiale rentre dans la fabrication des détergents ménagers et le reste dans la formulation des décapants industriels, comme agent mouillant et dispersant dans le textile et agent émulsifiant dans les procédés industriels.

En 1992, la consommation mondiale en LAS était de 2.4 KT, cette consommation est passée à 3.1 KT en 1998 avec un taux de croissance moyen de 4.4% par an; en 2003, le LAS a baissé en quantité (2.9 KT) mais a gardé sa position dans le classement des tensioactifs prédominants. (15)

Le facteur essentiel régissant la croissance du marché des tensioactifs est le marché mondial des détergents, lui même régi par deux facteurs qui sont: l'augmentation de la population et du pouvoir d'achat de l'individu.

La production mondiale en détergents était de 21,5 millions de tonnes au cours de l'année précédente. Dans les régions développées, comme l'Amérique du Nord, l'Europe de l'Ouest, le Canada et le Japon, le marché des détergents est pratiquement saturé et un nouveau produit y fait sa place au détriment d'un produit existant déjà sur le marché; les produits de détergence sont relativement sophistiqués et sont conçus pour l'usage des machines automatiques. (16)

Le marché du Sud-Est Asiatique, connaît une évolution des produits détersifs d'un point de vue qualité par le remplacement des anciens produits d'épuration par des poudres détersives conçues pour lavage automatique.

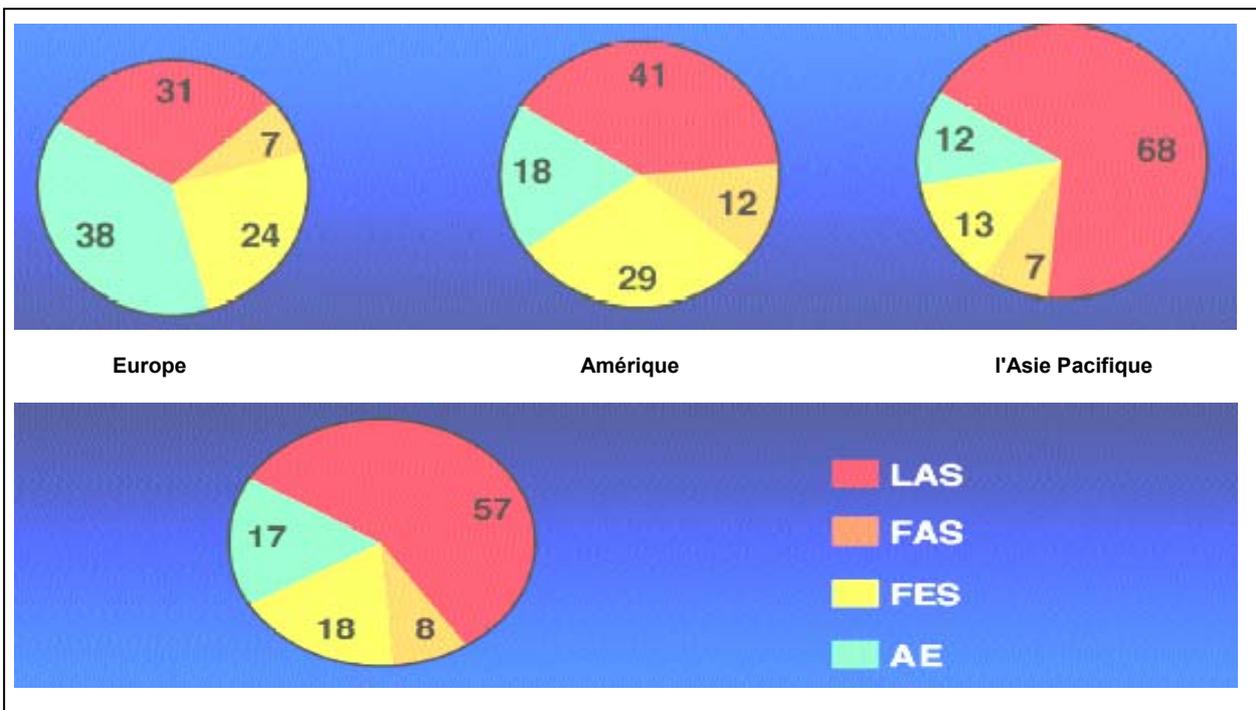
Dans les autres régions du monde, tels que l'Afrique et les autres pays d'Asie, le pouvoir d'achat n'est pas en augmentation considérable, ainsi la croissance d'une demande en détergents est en grande partie déterminée par la croissance de la population.

**Tableau II.2: Consommation en surfactants (2003)**

<b>Surfactant en Million de tonnes</b>	
Savon	9
Anionique	4.5
<b>LAS</b>	<b>2.9</b>
BAS	0.2
FAES	0.8
FAS	0.6
Non ionique	1.7
AE	1.1
NPE	0.6
Amphotères	0.1
Autres	2.9
<b>Total</b>	<b>18.2</b>

Source : (15)

La figure II.3 représente la part du marché des différents surfactants à travers le monde pour l'année 2003.



Source : (15)

**Figure II.3: Consommation en tensioactif par type et par région**

Le tableau II.3 donne la consommation en détergents par habitant et par région, enregistrée en 2000, 2003, 2006 et en perspective pour 2010.

Tableau II.3: Consommation en détergent (Kg/habitant/an)

	2000	2003	2006	2010
Amérique du Nord	11,26	11,72	12,21	12,91
Amérique du Sud	04,55	04,62	04,70	04,81
Europe de l'Ouest	11,24	11,73	12,26	13,00
Europe de l'Est	04,17	04,21	04,26	04,34
Afrique du Nord	03,81	03,85	03,90	03,96
Asie	07,37	07,49	07,62	07,83
Japon	10,66	11,11	11,59	12,27

Source: [16]

### **Amérique du Nord**

Dans les années quatre vingt, les détergents en Amérique du Nord étaient exclusivement des poudres conventionnelles avec une consommation significative en LAS; cette consommation a augmenté à partir de 1991 avec le développement des poudres compactes<sup>1</sup> qui représentaient 80% du marché des détergents en poudre.

En 2000, le marché des détergents aux Etats-unis excédait les 3,5 millions de t/an, toujours prédominé par les poudres compactes au détriment des poudres conventionnelles mais à base de dérivés alcooliques. Sur la période 2000/2005, le marché Nord Américain avait une préférence pour les détergents liquides à base d'alcool (Alcool éther sulfonate et alcool ethoxylate) et des poudres faiblement moussantes pour des machines à laver plus sophistiquée.

Les détergents à faible pouvoir moussant contiennent moins de LAS que les détergents conventionnels d'où la demande en LAS, dans les prochaines années, sera moins importante dans la région. (16)

<sup>1</sup> (Poudre concentrée) nouveau produit introduit pour la première fois sur le marché des détergents par la compagnie japonaise KAO en 1987 contenant plus de LAS que les poudres conventionnelles

### **L'Europe de l'Ouest**

L'Europe de l'Ouest est un marché de près de 4,3 millions de tonnes par an de détergents, desquelles la France, l'Allemagne, l'Italie, l'Espagne et le Royaume Uni consomment plus que la moitié.

Dans les années quatre vingt, le LAS était, comme aux Etats-Unis, le tensio actif le plus utilisé dans les formulations détersives conventionnelles: un maximum de 483 Kt a été enregistré en 1989.

Les détergents liquides ont vu leur introduction sur le marché Européen initialement en France et en Allemagne; ils sont moins importants dans la région qu'en Amérique du Nord et ne représente que 10% du marché total des détergents.

Les poudres compactes par contre sont plus utilisées dans cette région, elles sont à partie égale avec les poudres conventionnelles et représentent 45% de la demande globale.

Cependant, et comme en Amérique du Nord, les formulations détersives en Europe de l'Ouest se basent de plus en plus sur les dérivés alcooliques et des bases naturelles au détriment des alkylbenzènes linéaires d'où une diminution de la consommation en LAS dans les années à venir. (16)

### **Japon**

Dans les années précédentes, la consommation en LAS a été assez stable après le remplacement des phosphates dans la formulation des détergents par ce dernier; cette consommation a augmenté en 1987 avec l'introduction du nouveau produit "les poudres compactes". En 1991 le LAS a été substitué par d'autres tensioactifs tel que le MES et AE, mais le retour vers ce dernier fut rapide pour son coût inférieur.

Depuis 1995, le Japon a développé des formulations détersives qui contiennent moins de tensio actifs dans leurs compositions; bien que la consommation en détergents augmente de 3% dans ce pays, la consommation en tensioactifs est moins importante notamment la consommation en LAS.

Dans ces pays industrialisés, les matières premières pour les détergents ont été profondément modifiées durant la dernière décennie. La tendance est vers la substitution des alkylbenzènes sulfonates de sodium par des intermédiaires détersifs d'origine naturelle; en Allemagne par exemple, 23% des savons et détergents sont à base des oléochimiques.

Avant 1980, 90% des dérivés naturels étaient produits en Europe, en Amérique du Nord et au Japon, les principales matières premières utilisées étaient la graisse de suif et l'huile de coprah. Aujourd'hui l'industrie oléochimique est marquée par un développement rapide en Asie, en particulier en Malaisie, qui est le plus grand exportateur des savons à base de l'huile de palme\*.

Cependant un remplacement total n'est pas possible pour les raisons suivantes:

1. La quantité nécessaire en produits naturels ne sera pas disponible pour subvenir à la quantité consommée en tensioactifs (pour produire 100 Kt de tensioactifs végétaux il faut 60 000 hectares de terres);
2. A l'heure actuelle, les débouchés des tensioactifs d'origine végétale restent principalement limités aux marchés dits des "riche", à forte valeur ajoutée comme les produits d'hygiène et cosmétique. Les prix de revient sont encore un handicap pour conquérir des marchés de masse tel que ceux des détergents;
3. La ressource naturelle ne fournit pas, à l'heure actuelle, les compositions désirées; les acides gras en C<sub>12</sub>/C<sub>14</sub> ne sont fournis qu'à partir des huiles tropicales comme l'huile de palme\*.

### **L'Amérique du Sud**

C'est une région à demande croissante en LAS; une partie significative de cette croissance est due au passage des alkylbenzènes branchés aux LAB, en grande partie liée à une législation basée sur une biodégradabilité meilleure; actuellement six unités de production de BAB existent à travers le monde et seront converties en unités de LAB dans les années à venir. (16)

### **L'Asie**

Dans des pays à faible pouvoir d'achat population tels que la Chine, l'Inde, l'Indonésie, les Philippines et le VietNam, les détergents sont en grande partie des savons à usage manuel; la demande en LAS s'est développée sensiblement depuis que la Chine et le VietNam ont imposé une législation en 1998 sur l'utilisation des LAB à la place des BAB en tant que matière première pour les détergents synthétiques. Une législation semblable dans d'autres pays, avec une population avoisinant les 200 millions, donnerait une autre allure à la demande en LAS dans la région. (16)

### **Moyen Orient**

Le marché du Moyen Orient des détergents est relativement peu sophistiqué et dominé par les poudres conventionnelles à usage manuel. C'est un marché à fort potentiel de croissance.

En Arabie Saoudite, les détergents utilisés auparavant étaient des poudres détersives à fort pouvoir moussant et le marché était prédominé par une seule marque (Tide) et un seul fabricant installé dans ce pays (Procter & Gamble).

Depuis quelques années, d'autres producteurs mondiaux tel que Henkel et Lever Brothers se sont installés et ont diversifiées ainsi la qualité de la consommation détersive (détergents liquides, poudres compactes,...).

La réalisation d'un complexe de LAB au cours de l'année 2006 prouve que le LAS reste parmi les tensioactifs les plus utilisés dans ce pays.

En Egypte, le marché est dominé par les internationaux des détergents comme Henkel et Procter & Gamble. Le marché Egyptien des détergents est de 220 Kt/an, dont les poudres à usage manuel représentent la grande partie; l'Egypte exporte les poudres détersives et les matières premières entre autres les LAB vers la Libye et le Soudan. La demande en LAS, dans ce pays, est importante et le restera dans l'avenir.

La substitution des LAS dans la région n'est pas envisageable, la demande sera ainsi maintenue et s'élèvera en fonction de la croissance de la demande en détergents. (16)

### **L'Afrique du Nord**

L'Afrique du Nord n'est pas considérée comme une région séparée dans une analyse des marchés mondiaux ainsi, les données de consommation et de production ne sont pas bien définies.

La part des savons sur le marché est en régression suite à la montée de produits de substitution tels que les détergents en poudre et/ou liquides.

La région consomme plus de 300 Kt/an en détergents pour une population de 75 millions; le marché Marocain et Algérien restent les plus importants vu leurs population.

Le LAS est le tensioactif le plus utilisé dans la région est le restera dans l'avenir, la demande aura tendance à augmenter avec la croissance de la demande en détergents.

## **I-2-Le marché national**

La fabrication des détergents en Algérie a débuté en 1962 avec l'installation de deux usines, par des sociétés étrangères (Procter & Gamble à Rouiba et Unilever à Réghaia) qui furent intégrées en 1968 à la SNIC (Société Nationale des Industries Chimiques) suite à leur nationalisation.

Au début des années soixante dix, la production de ces unités n'arrivaient pas à satisfaire la demande nationale, il a été fait recours aux importations.

La réalisation de 03 complexes de détergents fût inscrite dans le cadre du deuxième projet quadriennal du développement national, leur contrat de réalisation a été signé en 1975.

Le démarrage des travaux des 03 complexes (Ain Temouchent, Chelghoum El Aid et Sour El Ghozlane) a eu lieu en 1977. La réalisation a connu des retards importants et ce n'est qu'en 1984 que le projet a été repris par un autre constructeur Italien "Italimpianti".

L'entrée en production en 1986 des trois complexes est venue renforcer le potentiel de production nationale pour répondre à la demande tant sur plan quantitatif que qualitatif.

La demande en détergents sur le marché algérien est de 140 Kt/an en différents types; le taux d'augmentation de cette demande est resté constant pendant les dix dernières années autour de 2 à 3 % par an.

Selon les acteurs du marché algérien des détergents, cette demande suivra la même allure que les dix dernières années dans l'avenir.

Actuellement, les détergents en poudres représente 85% du marché Algérien suivi des détergents liquides vaisselle (9.5%) et lessives machine (5.6%).

Les producteurs de détergents en Algérie sont : Henkel Algérie, Unilever, Enad, GSIP (Aigle) et l'entreprise Turque HAYAT qui est rentrée en activité depuis février 2006.

### **I-3- Les concurrents de LAS**

- **Les alkylethersulfates (AES)**

Les AES sont principalement utilisés dans les liquides pour vaisselle ainsi que dans les shampooings. Le sulfate éther de lauryle (LES) est un tensioactif anionique de la famille des AES utilisé dans les détergents liquides et plusieurs produits cosmétiques. C'est un excellent agent moussant, humectant et détergent. La plupart du temps la partie lipophile (alcool gras) est d'origine pétrochimique mais peut avoir une alternative renouvelable.

- **Les alkylsulfates (AS)**

Les AS sont principalement utilisés dans les produits cosmétiques (shampooings, dentifrices...). Les performances techniques, relatives au lavage avec les AS sont en effet très bonnes et ils ne posent pas de problèmes dans le milieu naturel. Cependant le coût de fabrication est le facteur principal qui semble conditionner un usage important de ces composés.

- **Les Methyl Ester Sulfates (MES)**

Les MES sont les concurrents des LAS aux Etats-Unis et au Japon, ils sont produits à partir des huiles de palme (dont la production est en grande croissance) ce qui a laissé leurs prix compétitifs.

Les MES sont tolérants par rapport à la dureté de l'eau et biodégradables. Une étude comparative de la détergence par rapport au LAS et AS a montré que le MES est meilleur sur le plan détergence; et que les mélange MES/LAS de 50/50 est plus performant que le LAS seul ou le MES seul ou un autre mélange de tensio actifs; cependant ils présentent un problème de stabilité.

- **Les alkyls sulfonates Secondaires (SAS)**

Les SAS sont les concurrents des LAS en Europe de l'Ouest dans les détergents liquides. Ils sont plus tolérants à la dureté de l'eau et plus biodégradables que les LAS, cependant ils ont un prix de revient plus élevé à cause de la difficulté de la mise en oeuvre de leur sulfonation.

- **Les Alpha Oléfines Sulfonate (AOS)**

Ils sont plus mousseux, plus biodégradables que les LAS, moins sensibles à la dureté de l'eau, plus doux pour la peau mais irritant en présence de l'eau de javel. Leur part de marché est faible par rapport aux LAS mais elle a tendance à augmenter dans le futur avec une consommation de plus en plus importante sur les marchés Indien et Japonais.

## **II-Le marché des LAB**

### **II-1- Le marché international**

La demande en LAB augmente avec un taux de 1,6 à 3% par an selon les régions, ce taux sera de plus en plus élevé en Afrique du Nord et le Sud d'Europe à moyen terme et en Amérique Latine et en Asie à moyen et long terme (dû à leur économie croissante).

Selon des études de marché effectuées par les spécialistes, une capacité supplémentaire de 300 Kt/an est nécessaire pour maintenir le marché à l'équilibre d'ici 2010.

En 2004, la capacité mondiale de production des LAB était de 3,57 millions de tonnes. Cette capacité est passée à 3,7 millions de tonnes au cours de l'année 2006 avec la mise en marche de trois nouvelles unités au Moyen Orient (Iran, Arabie Saoudite et le Qatar).

En 2006, la production réelle était de 3,44 millions de tonnes de LAB dont la part de l'Amérique du Nord, du Japon et de l'Europe de l'Ouest était de 35% de cette production.

Le plus grand producteur de LAB actuellement est la société Sud Africaine Sasol qui détient 15% du marché mondial des LAB et 52% du marché européen et américain suivi de la société espagnole Petresa qui détient 15% du marché mondial, 39% du marché européen et 30% de marché américain.

La répartition technologique pour la fabrication de LAB est la suivante:

1. HF paraffines 75%;
2. HF oléfines 5%;
3.  $AlCl_3$  paraffines 10%;
4. 10% à lit fixe.

➤ Quatre complexes de production de LAB existent en Amérique du Nord avec une capacité totale de plus de 530 Kt/an. La demande tourne autour de 300 Kt/an et diminue d'une année à l'autre (-1%), à cause de la substitution de cet intermédiaire par les dérivés alcooliques, les intermédiaires naturels et la production de détergents moins mousseux.

**Tableau II.4: Les producteurs de LAB en Amérique du Nord**

<b>Pays</b>	<b>Compagnie</b>	<b>Site</b>	<b>Technologie</b>	<b>Capacité (Kt/an)</b>
Canada	Petresa	Becancour	Detal	120
USA	Sasol	Baltimore	Detal	136
		Lake Charles	-	95
	Huntsman	Chocolate Bayou	HF	187
<b>Total</b>				<b>538</b>

Source: Petresa

Le Mexique, le Canada et le Brésil possèdent un marché intérieur important; le Mexique a une capacité de 138 Kt de BAB qui devait être convertie en LAB.

70% de la production en LAB dans la région (USA & Canada) rentre dans les détergents de blanchisserie, 15% dans les formulations des décapants industriels et 12% dans les liquides vaisselle.

➤ En Amérique du Sud trois complexes d'une capacité totale de 380 Kt/an sont installés, en Argentine, au Brésil, et au Venezuela; la demande en ce produit augmentera avec un taux constant (actuellement 1% par an).

**Tableau II.5: Les producteurs de LAB en Amérique du Sud**

<b>Pays</b>	<b>Compagnie</b>	<b>Site</b>	<b>Technologie</b>	<b>Capacité (Kt/an)</b>
Brésil	Petresa	Camacari Bahia	HF	220
Argentine	TPF			45
Venezuela	Quimica .V		-	115
<b>Total</b>				<b>380</b>

Source: Petresa

- La plus grande capacité est installée en Asie avec plus de 1500 Kt/an répartie sur 18 unités dont 08 installées en chine et 05 en Inde.

Tableau II.6: Les producteurs de LAB en Asie

<b>Pays</b>	<b>Compagnie</b>	<b>Site</b>	<b>Technologie</b>	<b>Capacité (Kt/an)</b>
Inde	IOC	Baroda	-	120
	IPCL	Vadodara1	-	44
	Nirma	Vadodara2	-	75
	Reliance	Patalanga	-	100
	Tamilnadu petroproducts	Manali	HF	120
Indonésie	PT Unggul Indah	Serang	-	120
Japon	Mitsubishi chemical	Yokkaichi	HF	60
	Nippon pet detergent	Kawazaki	HF	40
	Nissan nalkan	Ichihara	-	40
Corée	Isu chemical	Ulsan	HF	130
Chine	Fushun Petrochemical	Fushun	-	140
	Gao Qiao Petrochemical	Pudong	-	70
	Jinling Petrochemical	Jiangsu	-	100
	Jintong Petrochemical	Nanjing	-	72
		Nanjing	-	100
		Haichang	-	72
	Nanjing Surfactant	Nanjing	-	30
	Sinopec	Dushanzi	-	70
<b>Total</b>				<b>1 503</b>

Source: TECNON 2000

- La capacité installée en Europe de l'Ouest est estimée à 590 Kt/an, répartie entre trois producteurs: Sasol, Petresa et Wibarco.
- Sasol-Italie détient 52% de la capacité totale (320 Kt/an), son approvisionnement en matière première (n-paraffines) se fait à partir de ses unités à Augusta (Italie) et Sarroch (Sardaigne).
  - Petresa-Espagne avec 220 Kt/an, représente 39% de la capacité totale, la compagnie produit aussi 400 Kt/an de n-paraffines pour alimenter ses trois unités à travers le monde à savoir celle d'Espagne, du Brésil et du Canada.
  - Wibarco-BASF, produit 50 Kt/an de LAB, elle ramène sa matière première de la raffinerie de BP<sup>1</sup> en Allemagne; cependant le complexe cherche toujours des quantités additionnelles de n-paraffines pour répondre à la demande. (18)

<sup>1</sup> : British petroleum

Tableau II.7: Les producteurs de LAB en Europe de l'Ouest

<b>Pays</b>	<b>Compagnie</b>	<b>Site</b>	<b>Technologie</b>	<b>Capacité (Kt/an)</b>
Italie	Sasol	Augusta	HF	120
		Augusta	Detal	100
		Porto Torres	AlCl <sub>3</sub>	100
Espagne	Petresa	San Roque	HF	220
Allemagne	Wibarco	Ibbenbueren	AlCl <sub>3</sub>	50
<b>Total</b>				<b>590</b>

Source: Rapport de marché de LAB, Colin and Houston association, mai-juin 2005

La demande dans cette région est autour de 315 Kt/an, cette demande diminuera dans les prochaines années et atteindra les 302 Kt en 2008. Cette diminution est expliquée par le fait que l'Europe de l'Ouest va plus vers les produits oléochimiques qui représentent actuellement 11% des tensioactifs consommés dans la région.

Actuellement, l'Europe de l'Ouest est un exportateur net de LAB, elle a exporté 158 Kt en 2004 vers l'Europe de l'Est, l'Afrique subsaharienne, l'Amérique du Nord et l'Asie; mais, avec les nouveaux projets construits et en cours de construction au Moyen Orient, cette quantité aura tendance à décliner.

Aucune nouvelle unité n'est prévue dans la région et la troisième unité de Sasol (PortoTorres) sera fermée à partir de 2007 étant donné qu'elle fonctionne à une capacité minimale.

➤ L'Europe de l'Est ne contient que trois unités de LAB, (16)

Tableau II.8: Les producteurs de LAB en Europe de l'Est

<b>Pays</b>	<b>Compagnie</b>	<b>Site</b>	<b>Capacité (Kt/an)</b>
Ex -Yougoslavie	Prva Iskra	Belgrade	50
Russie	Kirishi nefteOrgSintez	Petersburg	50
Azerbaïdjan	Sumqayit complex	Sumqayit	75
<b>Total</b>			<b>175</b>

Source : Tecnon 2000

➤ En Afrique seuls l'Egypte, le Nigeria et l'Afrique du Sud produisent du LAB, les autres pays sont des importateurs.

La capacité installée au Moyen Orient/Afrique est passée à 528 Kt/an au cours de l'année 2006, avec la réalisation de trois nouveaux complexes d'une capacité totale de 220 Kt.

**Tableau II.9 : Les producteurs de LAB au Moyen Orient/Afrique**

<b>Pays</b>	<b>Compagnie</b>	<b>Site</b>	<b>Capacité (Kt/an)</b>
Syrie	Daaboul	Damas	30
Iraq	Aradet	Bajji	50/50*
Iran	ICIIC	Isfahan	75/140*
	Bisotnu PC	Kermanshah	50
Afrique du sud	Karboshem	Sasol burg	16
	Shell	Durban	42
Nigeria	N.Nait. PC	Kaduna	[35]
Egypte	EGPC	Alexandrie	60
Qatar	QPC	Messaid	100/80*
Arabie Saoudite	Gulf Farabi	Jubail	70/120*
<b>Total</b>			<b>528</b>

Source : rapport de marché de LAB, Colin and Houston association 2006

\* : n-paraffines

L'unité du Nigeria rencontre plusieurs problèmes de dysfonctionnement depuis 1997 et fonctionne à un taux minimum de production.

En 2004, la demande en LAB, dans la région, était estimée à 313 Kt consommée principalement par: l'Egypte (80Kt), l'Arabie Saoudite (35Kt), l'Iran et l'Afrique du Sud. Sept autres pays ont consommé plus de 10 Kt /pays dans la même année. Pour satisfaire cette demande, la région avait importé 123 Kt de LAB: 86 Kt à partir de l'Europe de l'Ouest et 37 Kt à partir de l'Asie, l'importation était en baisse par rapport à 2003 (150 Kt). (19)

**Tableau II.10: Offre et demande en LAB au Moyen Orient /Afrique**

	<b>2003</b>	<b>2004</b>
Capacité (Kt)	193	273
Taux de fonctionnement (%)	79	76
Production en LAB (Kt)	153	207
Demande en LAB (Kt)	299	313
Exportation (Kt)	5	17
Importation (Kt)	151	123
Importation nette (Kt)	146	106

Source : rapport de marché de LAB, Colin and Houston association déc-nov 2004

Les capacités, dans la région ont tendance à augmenter et dépasseront les 600 Kt en 2009. Deux autres complexes sont en cours de construction, un en Egypte d'une capacité de 80 Kt/an de LAB et 62,5 Kt/an de n-paraffines et un autre aux Emirats Arabes Unis d'une capacité de 30 Kt/an de LAB. La crainte d'une surcapacité dans la région a mis deux complexes, un au Koweït et l'autre en Arabie Saoudite d'une capacité de 80 Kt/an chacun, en attente. (19)

Cette croissance de la capacité aura une influence sur la balance commerciale dans la région: l'importation tombera de plus de 27%, la région exportera l'excès de sa production vers les marchés actuellement approvisionnés par l'Europe de l'Ouest et l'Asie. (19)

L'Europe de l'Est est une cible probable étant donné qu'aucun projet additionnel n'est prévu dans l'immédiat et que la consommation dans cette région va augmenter à l'avenir.

La Turquie a elle seule représente un marché prometteur, avec une capacité de production de détergents de 1,3 millions de tonnes, dont 178 Kt sont destinés à l'exportation (Irak, Israël, Roumanie, Ukraine, Russie...) et une importation en LAB estimée en 2004 à 79 Kt. Actuellement la Turquie importe son LAB d'Europe de l'Ouest (79%), de l'Inde (4.4%) et de faibles quantités d'Iraq et de Syrie. (19)



**Figure II.4: Demande en LAB par région (2005)**

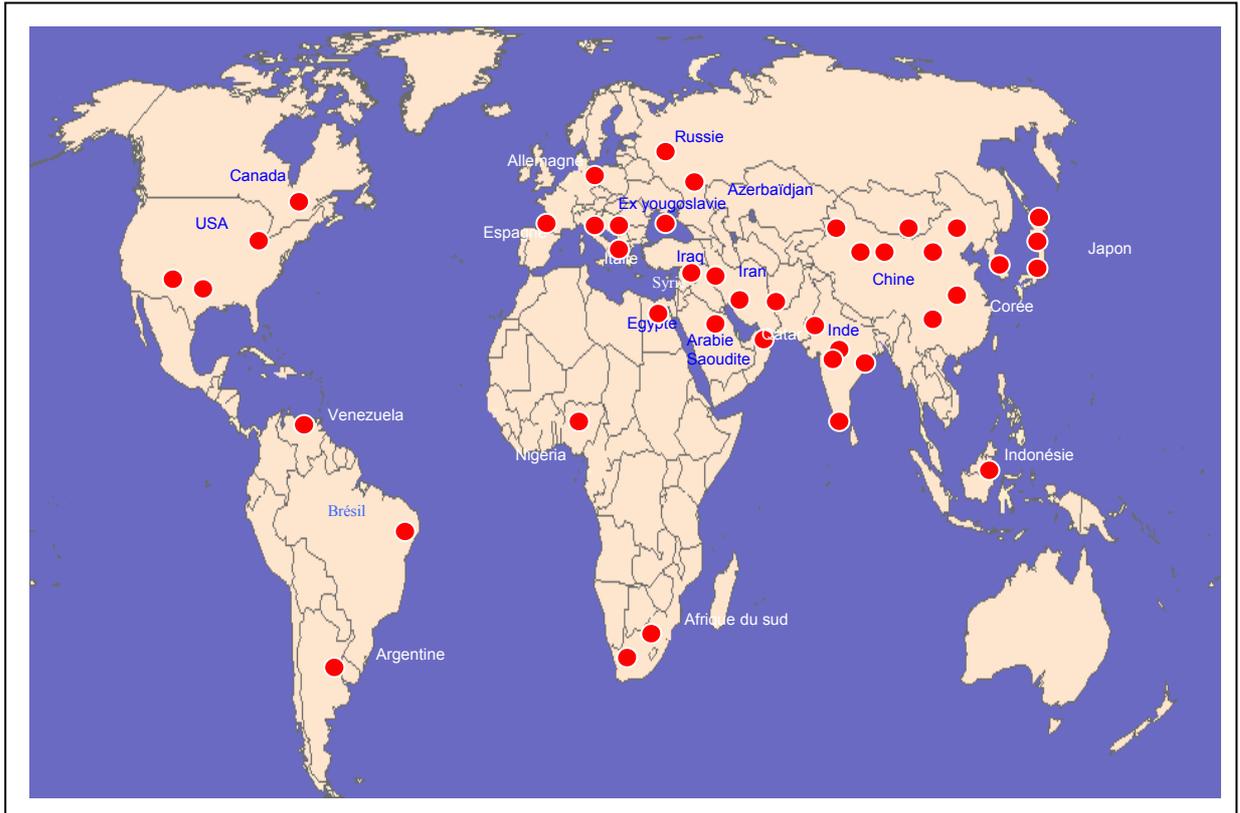


Figure II.5: Les complexes de LAB à travers le monde (2006)

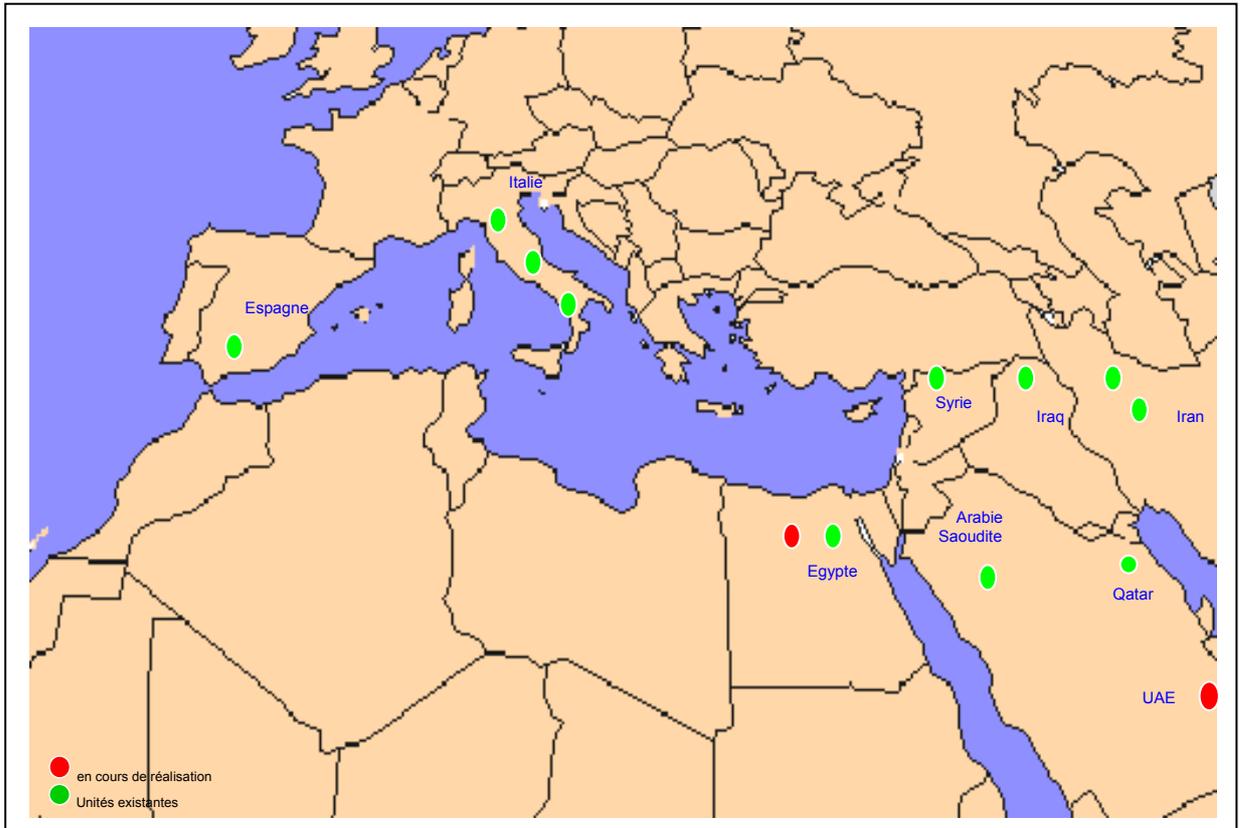


Figure II.6: Les capacités LAB dans la région méditerranéenne /Moyen Orient en 2008

## **II-2- Le marché national**

La quantité de LAB consommée sur le marché algérien pour l'année 2006 était de 28 Kt; cette matière est importée d'Espagne.

**Tableau II.11: La demande en LAB sur le marché national (Kt)**

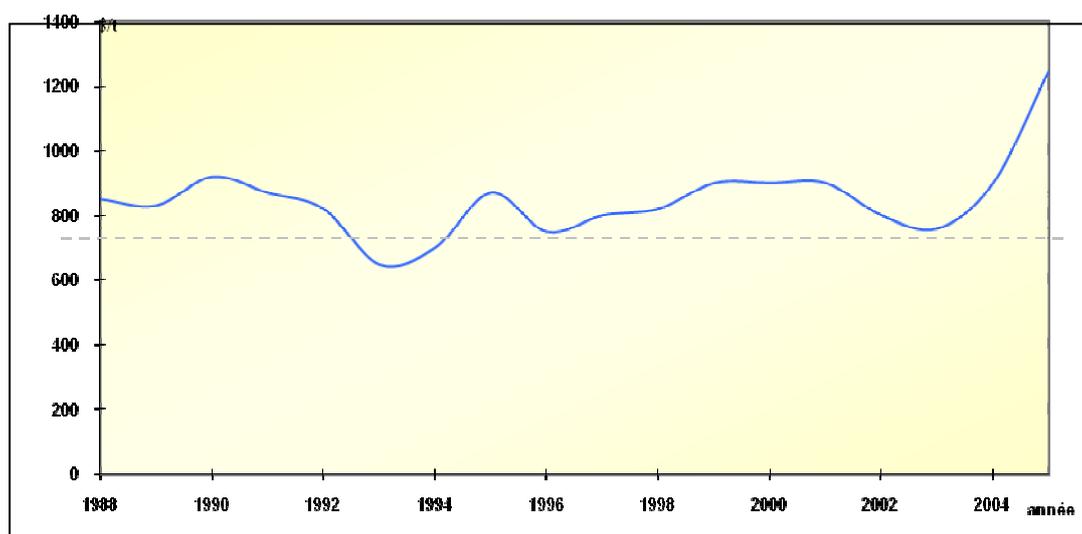
<b>Producteurs de détergents</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
Henkel Algérie	10	10
Unilever	5.3	5.3
Enad	4.7	4.7
Hayat DHC Algérie	--	4.5
Aigle (GSIP)	2.3	3.5
<b>Total</b>	<b>22.3</b>	<b>28</b>

Source : Petresa + producteurs

Selon les producteurs de détergents, cette quantité sera plus importante dans l'avenir, avec un taux de croissance de 2% à 3%.

## **II-3 Le prix des LAB**

La figure II.7 montre l'évolution des prix de LAB depuis 1988; la caractéristique principale est que, comparé à d'autres produits pétrochimiques, le prix est relativement constant, d'une moyenne de 750-800 \$/t au cours des dix dernières années.



**Figure II.7: Évolution des prix de LAB**

Une offre limitée en n-paraffines est le facteur principal de l'augmentation des prix des LAB. Entre 1996 et 1999 le prix des LAB était de 900 \$/t en Asie, 1100 \$/t en Amérique du Nord et 1050 \$/t en Europe, ces prix élevés étaient liés aux explosions ayant lieu dans les unités de Condéa (Baltimore) et de Shell en Malaisie\*.

En 2000, les prix en Europe de l'Ouest étaient entre 880 à 921 \$/t, ils tournaient autour de 900 \$/t en Asie tandis qu'en Amérique latine, ils étaient légèrement plus hauts: 950 à 1000 \$/t pour un prix moyen des n-paraffines de 630 à 650 \$/t et du kérosène de 240 à 274 \$/t selon la région. (18)

Depuis 2001 le prix des LAB tournait autour des 900-980 \$/t pour atteindre les 1500 \$/t en Amérique du Nord, 1292 \$/t en Europe de l'Ouest et 1260 \$/t en Asie en Mai 2005. (19)

Bien qu'il soit plus au moins constant, le prix des LAB reste incertain dans les années à venir. Il y a une possibilité que ce prix suivra la tendance des dix dernières années et tournera autour de 800 \$/t, il est aussi lié au prix du pétrole et suivra ainsi l'évolution des prix de ce dernier, une étude des prix effectuée par «Colin and Houston Association» suppose que le prix des LAB se développe deux fois au taux du prix du pétrole brut et ne sera pas inférieur à 800 \$/t. (18)

#### **II-4 Les concurrents des LAB**

L'alkylbenzène branché BAB qui était le concurrent principal de LAB a été éliminé dans la plupart des pays du monde à cause de sa non biodégradabilité. La production mondiale en BAB au début de l'année 2006 était de 280 Kt, dont 35% sont produits en France. Six unités de BAB existent à travers le monde; les Etats-Unis ont fermé leur dernière unité en 1991, le Japon les a converti en production de LAB en 2003.

Actuellement, ce sont les détergents à base d'alcool qui prennent de la place au détriment des détergents à base de LAB dans certaines régions.

La demande globale des bases alcools sera de 2,1 millions de tonnes en 2010.

Il y a deux bases d'alcools: les alcools oléochimiques ou naturels et les alcools synthétiques; les premiers sont souvent préférés pour des raisons de toxicité et d'incidences sur l'environnement.

Les dérivés d'alcool éthoxylés :

- 1-offrent une formulation détersive sans phosphates;
- 2-s'emploient à basse température de lavage (fibres synthétiques sensibles et colorés);
- 3-sont tolérants à la dureté de l'eau.

Les alcools ethoxysulfates (AES) sont utilisés plus, dans les poudres de blanchisserie du ménage et des liquides. Ils fournissent une bonne détergence avec l'alcool ethoxylates (AE) en raison de leur haute tolérance à la dureté de l'eau et leur pouvoir mousseux élevé.

Cependant, ces intermédiaires restent chers par rapport a LAB et autres intermédiaires dérivés du pétrole.

Toute la production de bases alcooliques pour détergents dans la région Nord Américaine est implantée aux Etats-Unis. Le Sud Est Asiatique connaît de nouvelles implantations des bases alcooliques naturelles (quatre producteurs en Philippines, trois en Malaisie, trois en Inde et deux en Indonésie).

Le Groupe Shell possède la plus grande capacité de production d'alcool pour détergent, (alcools synthétiques) suivi de Sasol qui produit les alcools synthétiques et naturels.

Le Groupe Cognis, Procter & Gamble et Kao sont le troisième, le quatrième et le cinquième producteur respectivement et ils ne produisent que des alcools naturels.

Un autre produit vient d'être identifié, il s'agit de MAB (Modified Alkyl Benzene), cet intermédiaire a de meilleures propriétés détersives que le LAB, résiste mieux à la dureté de l'eau et à la température de lavage, avec une biodégradabilité comparable.

Le MAB est un phenyl-alcane comprenant un groupe alkyl branché; le groupe alkyl est préférentiellement le groupe méthyl.

La caractéristique principale de MAB est qu'il contient une haute proportion de 2-phenyl-alcane, 40 à 100 % de groupes phenyl sont attachés sélectivement au deuxième atome carbonique. (21)

Tableau II.12: Offre et Demande de LAB par région (Kt)

Année	2004		2005		2006		2007		2008	
	Offre	Demande								
Europe de l'Ouest	590	315	590	312	590	308	490	305	490	302
Europe de l'Est	130	85	130	89	130	92	130	96	180	100
Moyen Orient	155	240	185	245	335	250	405	255	405	260
Afrique	138	157	138	159	120	160	120	162	220	164
Nafta	531	438	531	430	531	426	531	422	531	418
Amérique du sud	370	294	370	297	370	300	370	303	370	306
Sud Asiatique	765	600	765	612	765	624	765	637	765	649
Extrême Orient	880	530	925	544	935	558	935	573	870	589
<b>Total</b>	<b>3.568</b>	<b>2.660</b>	<b>3.643</b>	<b>2.687</b>	<b>3.785</b>	<b>2.720</b>	<b>3.755</b>	<b>2.753</b>	<b>3.840</b>	<b>2.788</b>

Source : Petresa - Juin 2005.

### **III- kérosène**

#### **III-1 Le marché national du kérosène**

Naftec, société de raffinage du pétrole, avec ses quatre raffineries produit plus de 1.3<sup>3</sup>Mt du kérosène par an (produit fini) dont plus de 700 Kt sont issus de la raffinerie de Skikda.

Plus de 70% de cette production, est destiné à l'exportation (marché Européen (88%), le marché Nord Américain (8%) et le marché africain (4%))<sup>4</sup>. La consommation du marché local est autour de 350<sup>1</sup>Kt/an.

En réalité, les deux toppings de la raffinerie de Skikda à eux seuls produisent plus de 1.6<sup>5</sup> Mt/an de la coupe kérosène, une partie de cette coupe est ajoutée dans le blending du gas-oil.

Après la réhabilitation des raffineries existantes et la construction de la nouvelle raffinerie du centre, la quantité du kérosène (produit finis) va augmenter; la raffinerie de Skikda a elle seule produira plus de 1Mt de kérosène (produit fini) annuellement. Ajouté à cela la raffinerie de condensât (5Mt) et qui produira près de 500 Kt/an du kérosène.

De ce fait la quantité en kérosène produit fini produite sera toujours supérieure à la demande du marché local quelque soit sa tendance.

#### **III-2 Le prix du kérosène**

Les producteurs d'agent tensio-actif sont affectés par l'augmentation des prix de la matière première, l'augmentation des prix du kérosène entraîne une marge importante sur les LAB.

Le prix du kérosène a enregistré une moyenne de l'ordre de 180 \$/t sur la période 1990-1998. En 2001 le prix moyen était de 220 \$/t, une moyenne qui a été maintenue en 2002 et 2003 (220-260\$/t).

En 2004, le prix moyen était de 371\$/t, avec un maximum de 447\$/t, enregistré en fin de l'année (les prix ont connus un pic au dessus de 500\$/t aux Etats-Unis).

En 2005, les prix fluctuaient entre 470 \$/t et 640 \$/t avec une moyenne de 540 \$/t.

Ces prix sont restés élevés, au cours de l'année 2006, avec une moyenne de 633 \$/t et un maximum de 715 \$/t enregistré au mois d'Août.

---

<sup>3</sup> Bilans annuels (2001-2005) Direction Commercialisation - Naftec.

<sup>4</sup> Rapport de l'activité commerciale - Sonatrach - Déc.2004.

<sup>5</sup> Bilans mensuels (2001-2005) Direction Technique - Naftec.

Le prix du kérosène destiné à l'exportation, appliqué par Sonatrach est le prix du marché international; en 1995 il était quotté à 164,76 \$/t; 284,38 \$/t en 2000 et 580,18 \$/t en 2005 avec une moyenne de 255 \$/t sur les dix ans. Pour le marché local le prix du kérosène est de 10 460 DA/t; un prix qui est resté constant depuis plus de cinq années.

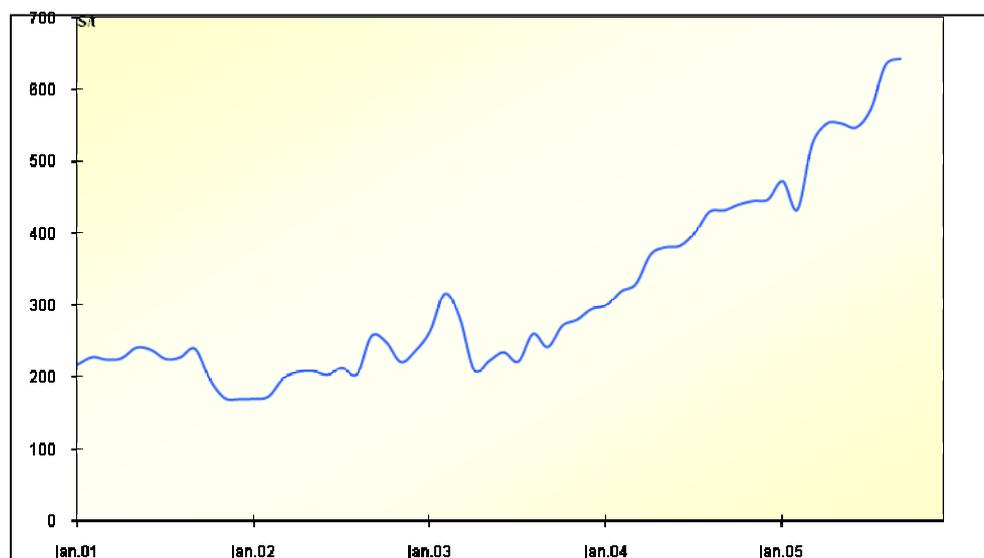


Figure II.8 : Évolution des prix du kérosène

## **IV- Benzène**

### **IV-1 Marché national du benzène**

Le benzène est produit au niveau de la raffinerie de Skikda (unité des aromatiques); la production n'a pas été régulière, elle fluctuait entre 6 Kt et 20 Kt sur les dix dernières années. La production s'élèvera à 169 Kt après la réhabilitation de la raffinerie.

Le marché local du benzène est très faible et pratiquement toute la production est destinée à l'exportation.

### **IV-2 Le prix du benzène**

Le prix du benzène s'est situé entre 200 et 400 \$/t sur la période 1993-1998, avec une tendance à la baisse et une forte variabilité (de l'ordre de 30%). La baisse s'est arrêtée depuis 2002, [IFP, 2003] depuis, les cours du benzène ont subi une envolée en 2004 et ont dépassé les 1 000 \$/t. La raison serait la hausse des cours du pétrole et surtout une faiblesse de l'offre, due à une fermeture de sites et simultanément une demande mondiale soutenue.

En novembre 2004, le prix international du benzène a baissé de 1167 \$/t à 898 \$/t. Au cours des deux dernières années 2005 et 2006, les prix tournaient autour de 900 et 1000\$/t.

Historiquement, les marchés des aromatiques (dont la part du benzène est de 50%) sont en général très volatils et caractérisés par un surplus de production: leur rentabilité est donc variable\*. Les prix bas du benzène ont incité certains producteurs à se désengager.

Aujourd'hui, la situation est inverse et les prix devraient rester élevés tant que de nouvelles capacités de production ne seront pas mises en service: 8 millions de tonnes de benzène, est la quantité supplémentaire nécessaire qu'il faudrait installer d'ici 2010\*. [Plastics News International; Magazine, 2004; Chimie Pharma Info, 2004].

Pour le marché local le prix du benzène est de 14 400 DA/t; un prix qui est resté constant depuis plus de cinq années.

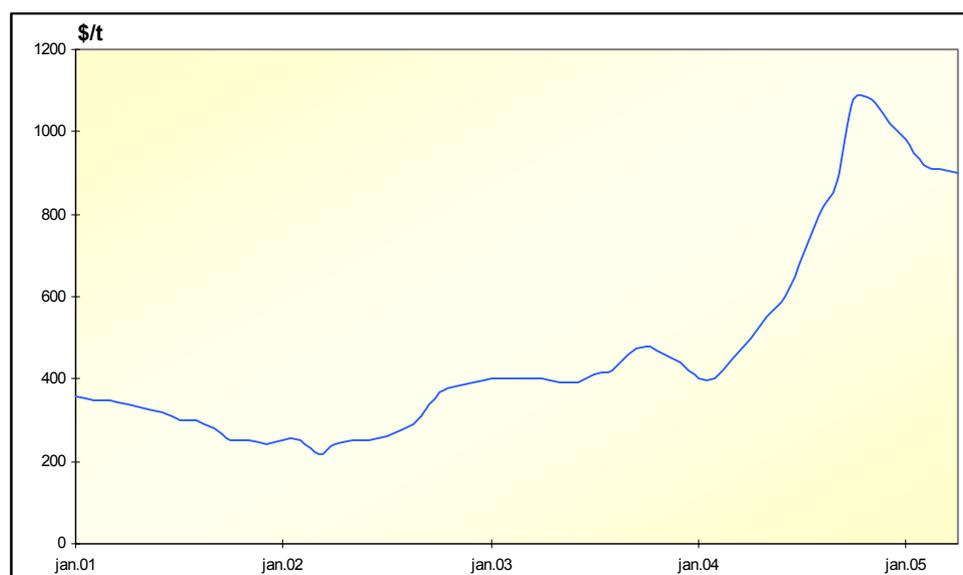


Figure II.9: Évolution des prix du benzène

## **V- Les n-paraffines**

### **V-1 Le marché des n-paraffines**

La demande en n-paraffines est en augmentation considérable de 3 à 4% par an. En 1998 la demande était de 2,3 millions de tonnes contre une capacité de production mondiale de 2,5 millions de tonnes. Cette demande, à l'exclusion de l'Europe de l'Est, a atteint les 2,4 millions de tonnes en 2003 et 3,2 millions de tonnes en 2004. (19)

Les LAB qui sont convertis en LAS représentent plus de 70% de cette consommation.

Les scénarios d'offre et de demande actuels démontrent que de nouvelles capacités de n-paraffines sont nécessaires, Les fabricants de surfactants ont besoin de sources nouvelles en n-paraffines pour satisfaire la demande en surfactants; la construction d'unités nouvelles a besoin d'une source d'approvisionnement en kérosène sûre et continue de la part d'un raffineur qui permettra aussi le retour du kérosène traité.

Au cours des dix dernières années, il y a eu une augmentation des ventes en n-paraffines à de nouveaux complexes de LAB dans les pays en voie de développement, en même temps, les approvisionnements en matière de base traditionnelles qui sont riches en n-paraffines ont diminué.

La croissance annuelle moyenne de la consommation en n-paraffines aux Etats-Unis, au Canada, en Europe de l'Ouest et au Japon sera seulement de 1% pendant la période 2003-2008. La croissance sera au moins de 2% par an dans les régions en voie de développement, particulièrement en Chine, en Inde et dans les autres pays de l'Est Asiatique. De nouvelles unités de n-paraffines sont probables en Asie de l'Est et au Moyen-Orient, plutôt que dans les pays développés, exception faite pour le Japon, dont les producteurs de n-paraffine, espèrent augmenter leurs exportations en Asie du Sud-Est ou la fabrication des LAB est de plus en plus croissante actuellement.

Cependant, le marché des n-paraffine, fait face à deux développements sans précédent: le potentiel d'une production de n-paraffines liée aux nouveaux projets de gaz-to-liquid (GTL) et un marché des LAB influencé par un nouveau produit: MLAB (LAB modifié) et qui pourrait radicalement affecter l'utilisation des n-paraffines.

Des rapports affirment que les unités GTL fourniront 1900 Kt/an ou plus de n-paraffines vers la fin de la décennie, quantité plus grande que la croissance de la demande qui est estimée à 800 Kt/an sur la même période.

L'impact de ces développements sur le marché dans l'avenir (4 à 5 ans) est incertain mais la tendance globale est claire: les usines GTL seront des sources futures importantes des matières de base pour les détergents.

### **V-2 Le prix des paraffines<sup>6</sup>**

La demande croissante, les approvisionnements serrés en matières de base et l'augmentation brusque du prix du brut en 2003-2004 ont abouti aux augmentations des prix des n-paraffines qui ont menés à leurs tour aux augmentations des prix de LAB et ont rendu ainsi le LAB moins concurrentiel que les détergents alcooliques.

Sur la période 1990-1999, les prix des n-paraffines ont augmenté substantiellement à cause du rétrécissement de l'écart entre l'offre et la demande: le prix moyen était de 490 \$/t avec un prix récent de 600 \$/t. (20). En 2001, 2002 et 2003 les prix étaient dans la gamme de 580-587 \$/t; ce prix s'est élevé pendant les deux dernières années jusqu'à atteindre 700-750 \$/t.

En Janvier 2006, le prix s'est élevé à 980\$/t, a connu un maximum de 1075 \$/t en mois d'octobre, et rechuta de 20 \$ par tonne en fin de l'année (1555 \$/t); le prix moyen était de 1046 \$/t

---

<sup>6</sup> Prix ICIS-LOR

Tableau II.13: Producteurs de n-paraffines à travers le monde

Pays	Compagnie	Site	Capacité (Kt/an)
Allemagne	Wintershell	Lingen	30
Arabie Saoudite	Gulf Farabi	Jubail	120
Afrique du sud			90
Argentine	Repsol	Ensenada	44
Brazil	Deten Quimica	Metaripe Bahia	100
Canada	Petresa	Becancour	50
Chine	Fushun	Liaorning	120
	Gai Qiao	Shanghai	70
	Sinopec	Nanjing	50
Corée	Isu Chemical	Ulsan	220
Egypte	Ameriya Petrochem	Alexandrie	40
Espagne	Petresa	San Roque	400
USA	Condea Vista	Lake Chrales	150
		Baltimore	135
		Baytown	250
Inde	--	--	225
Indonésie	Pertamina	Dumai	75
Iran	ICIIC	Isfahan	50
Iraq	Iradet	Baiji	50
Italie	Condea Augusta Paraffine Sarde	Sicile	400
		Sardaigne	150
Japon	J.Energy Nippon	Okayama	85
Malaisie	Shell	--	50
Nigeria	NNPC	Port Harcourt	30
Russie	Kinef	Petersburg	120
Slovaquie	Solvnaft	Bratislava	55
Taiwan	Ho Tung	Jenwu City	90
Qatar	QPC	Messaid	80
<b>Total</b>			<b>3 329</b>

Source: (16)

Des capacités additionnelles sont prévues dans les pays suivants:

Tableau II.14: Nouvelles capacités de n-paraffines prévues à travers le monde

Pays d'implantation	Capacité (Kt/an)
Brésil	80
Egypte	62,5
Taiwan	130
Chine	70
Corée	--

Source: \*

# III-Les procédés d'extraction des n-paraffines et production des LAB

---

## **Introduction**

Depuis quelques années se manifeste une tendance à utiliser l'adsorption comme procédé bloc de séparation alors qu'avant elle était surtout utilisée pour la purification et l'élimination des impuretés (3). C'est le développement des adsorbants (tamis moléculaires, alumine activé, silica gel) et leurs diversités qui a permis le progrès de cette technologie.

La séparation des n-paraffines des coupes pétrolières est l'une des applications de l'adsorption sur tamis moléculaires; les tamis de type 5A ont une grande affinité aux normales paraffines et excluent les iso et paraffines cycliques. Ces n-paraffines rentrent dans plusieurs applications: production de solvant, des résines et des détergents biodégradables.

Il existe plusieurs procédés à base de l'adsorption:

- procédé **Isosiv** de l'Union Carbide,
- procédé **Ensoorb** d'Exxon (détenteur de licence KBR),
- procédé **Molex** d' UOP.

Dans bien des cas le choix ne pourra se faire sur la simple considération du coût de l'investissement mais devra envisager le poids des contraintes spécifiques à chaque procédé et prendre en compte les avantages qui lui sont propres.

## **I- Les procédés d'extraction des n-paraffines**

### **I-1 Procédé ISOSIV (Union Carbide-1964)**

A l'origine, le procédé **ISOSIV** a été développé pour l'amélioration de l'indice d'octane. Pour produire les n-paraffines, le kérosène préalablement traité passe à travers un lit adsorbant à une température de 320°C et une pression de 3,6 bar; l'adsorption dure 6 min. Le désorbant, généralement l'hexane, est ensuite injecté en tête de colonne pour éliminer les non adsorbables à la surface du lit moléculaire, cet effluent sera débarrassé des non adsorbables et sera recyclé avec la charge. Les non adsorbables peuvent aussi être éliminés par de l'azote (120 volumes d'azote pour un volume de distillat).

Les n-paraffines adsorbées seront désorbées en purgeant le lit à contre courant avec de l'hexane; l'effluent sera séparé par distillation et l'hexane sera recyclé. Les n-paraffines seront ainsi séparées et récupéré à plus de 98 %.

Le procédé **ISOSIV** emploie différents moyens de désorption selon le poids moléculaire de la matière première, par exemple, si la charge est légère tel que le naphta, la désorption se fait par la variation de pression, cependant et pour des charge tel que le kérosène et le gas-oil, la désorption se produit par déplacement en utilisant le n-hexane comme agent de déplacement. (25)

La première unité **ISOSIV** a été installée en 1964 avec une capacité de production de 100 Kt/an. Huit (08) unités ont été installées entre 1964 et 1992.\*

Tableau III.1: les unités **ISOSIV** à travers le monde

<b>Charge</b>	<b>Année d'installation</b>	<b>Location</b>	<b>Capacité (b/j)</b>
Kérosène	1964	USA	2 300
Kérosène	1971	Allemagne	650
Kérosène/gas-oil	1972	Italie	2 600
Kérosène	1973	Italie	2 600
Kérosène/gas-oil	1974	Italie	5 800
Kérosène/gas-oil	1976	Italie	5 800
Kérosène	1983	Brésil	2 600
Kérosène	1992	Chine	250

Source : Digital engineering library

### **I-2 Procédé ENSORB (KBR/ Exxon Mobil - 1966)**

Ce procédé utilise l'ammoniac comme agent de désorption car ce dernier permet une meilleure récupération des n-paraffines en C<sub>10+</sub>; il réduit la vitesse de destruction du tamis moléculaire, il est facile à séparer, il est stable et ne réagit pas pour former des composés délétères. Mais au delà de 15 atomes de carbone la désorption nécessite une grande quantité d'ammoniac et une température élevée.

Ce procédé est isobare (15-50 psia) et isotherme (260-370°C) avec deux lits d'adsorption - désorption, la fraction pétrolière vaporisée passe à travers le lit fixe qui a été préalablement désorbé par l'ammoniac. Les n-paraffines de la charge s'adsorbent et déplacent l'ammoniac. L'effluent déparaffiné sera ensuite séparé de l'ammoniac.

Dans la deuxième phase, l'ammoniac passe à travers le lit qui a déjà réalisé une adsorption complète; la température de l'ammoniac est égale à celle de la charge pour maintenir l'opération en isotherme. Cet effluent comporte les n-paraffines et l'ammoniac; les n-paraffines sont récupérées à 99 % avec un taux de pureté élevée (12).

Le procédé offre un environnement tolérant vis-à-vis du soufre présent dans la charge ainsi, la charge n'a pas besoin d'être traitée dans une unité d'hydrotraitement ce qui réduit considérablement le coût d'investissement et le coût d'exploitation.

L'adsorbant peut avoir une durée de vie de 20 ans (commerciallement prouvé par Exxon).

Le produit final est de haute pureté : les produits indésirables sont réduits au minimum (le taux d'aromatiques est au dessous de 100 ppm) (17).

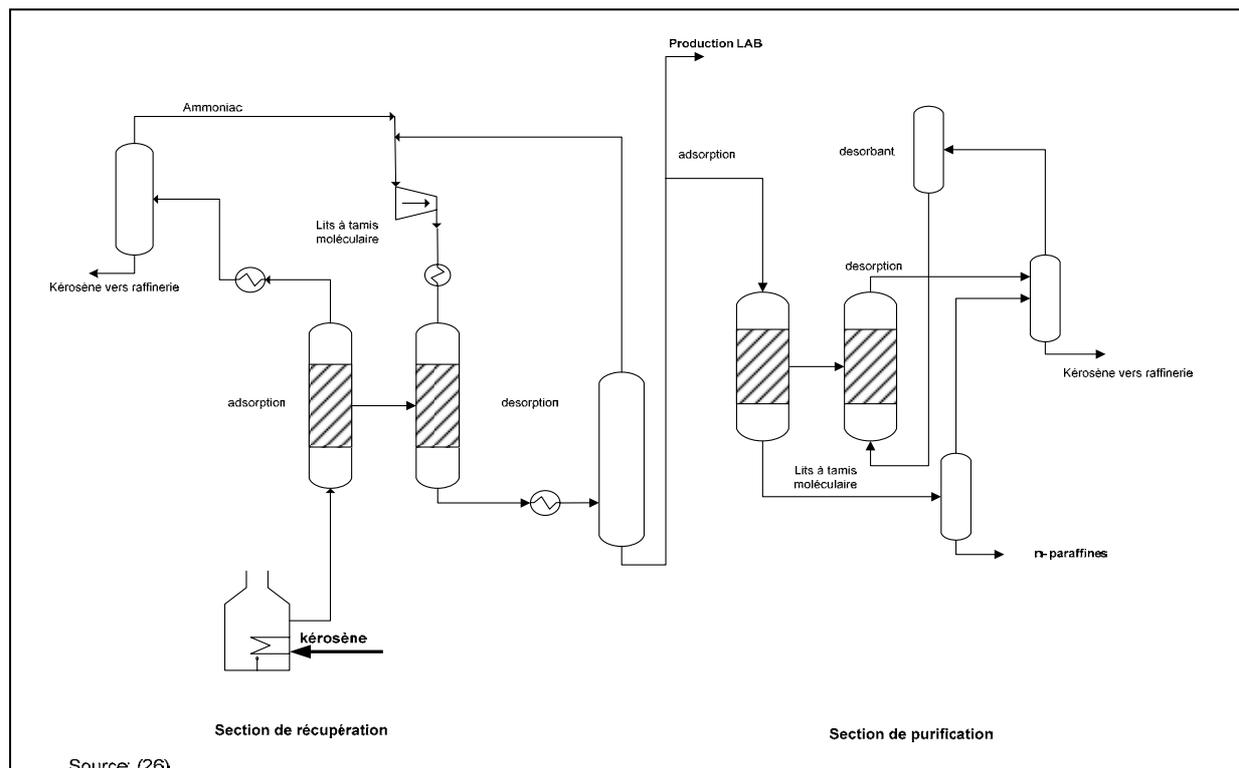


Figure III.1: Procédé Exxon Mobil (KBR)

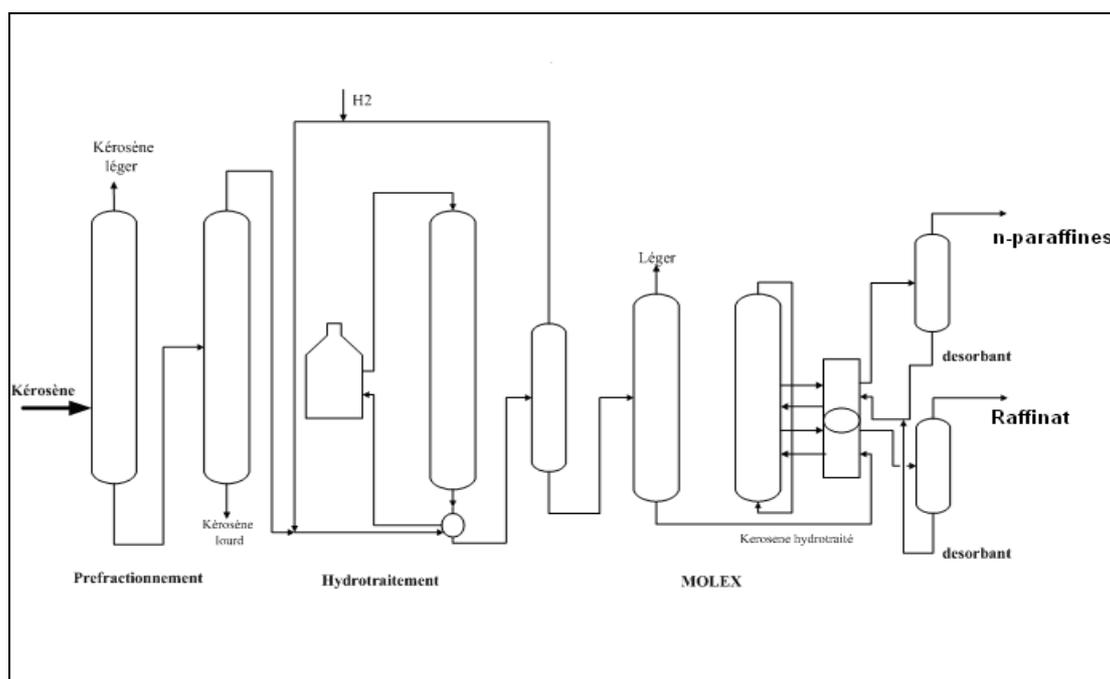
### I-3-Procédé MOLEX (UOP-1964)

Le procédé est conçu pour la séparation des n-paraffines, non seulement pour la production des LAB, mais aussi pour les plastifiants (C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>) et les détergents alcooliques (C<sub>16</sub>-C<sub>22</sub>).

Pour la séparation des n-paraffines des iso et cycloparaffines; le kérosène alimente une série de deux colonnes de préfractionnement, pour séparer la coupe nécessaire à la production des LAB, l'étape suivante est l'hydrotraitement qui consiste à débarrasser la charge de ses composés polaires tel que le soufre, l'azote et l'oxygène.

L'élimination de ces polluants permet de maintenir l'adsorbant de la section **MOLEX**, dont la durée de vie est supérieure à quatre ans, en activité.

La charge quittant le réacteur d'hydrotraitement est stabilisée dans un stripper, la fraction du fond est chargée dans la section **MOLEX** et la fraction contenant le soufre, l'azote et les composés oxygénés sera consommée comme combustible ou renvoyée vers la raffinerie.



Source : UOP

Figure III.2: Procédé Molex (UOP)

L'unité **MOLEX** comprend deux sections: **la vanne rotative** qui dirige les flux dans les différentes parties de la section d'adsorption et **les chambres adsorbantes** (section adsorption) renfermant l'adsorbant en plusieurs lits.

La vanne rotative est un appareil fonctionnant de la même manière qu'un robinet d'arrêt (24): elle est composée de deux disques s'étendant l'un contre l'autre; sur le premier disque de la vanne quatre flux (deux sorties et deux entrées) sont disponibles en continu et sur l'autre, douze lignes sont connectées au lit d'adsorption, correspondant à douze chambres théoriques: à n'importe quel moment, quatre lignes seulement sont activées.

La position des entrées: charge et désorbant et des sorties: raffinat et extrait dans la colonne d'adsorption changent chaque 15 minutes quand la vanne fait une rotation de 360°, en effet cette rotation déplace les entrées et les sorties d'une chambre en dessous de la première, ainsi, le tamis moléculaire est simulé en mouvement ascendant alors qu'en réalité, il est fixe.

Les quatre positions d'accès peuvent être déplacées autour du lit continuellement tout en gardant la distance entre les flux constante. Actuellement des colonnes avec 24 chambres existent, donnant une meilleure séparation.

Quant à la section d'adsorption, elle est composée de deux chambres chacune d'elles contient 12 lits chargés d'adsorbant, ils sont séparés par des grilles qui servent comme collecteurs et distributeurs du liquide.

Les positions d'injection et de retrait des quatre flux divisent le lit adsorbant en quatre zones :

- **La zone (01)** : aussi appelée zone d'adsorption, elle se situe entre le point d'injection de la charge et le point de retrait du raffinat. Le désorbant est déplacé des pores de l'adsorbant pour faire place aux n-paraffines. Les iso et paraffines cycliques seront enlevés du système à la limite inférieure de la zone 01 (Raffinat).

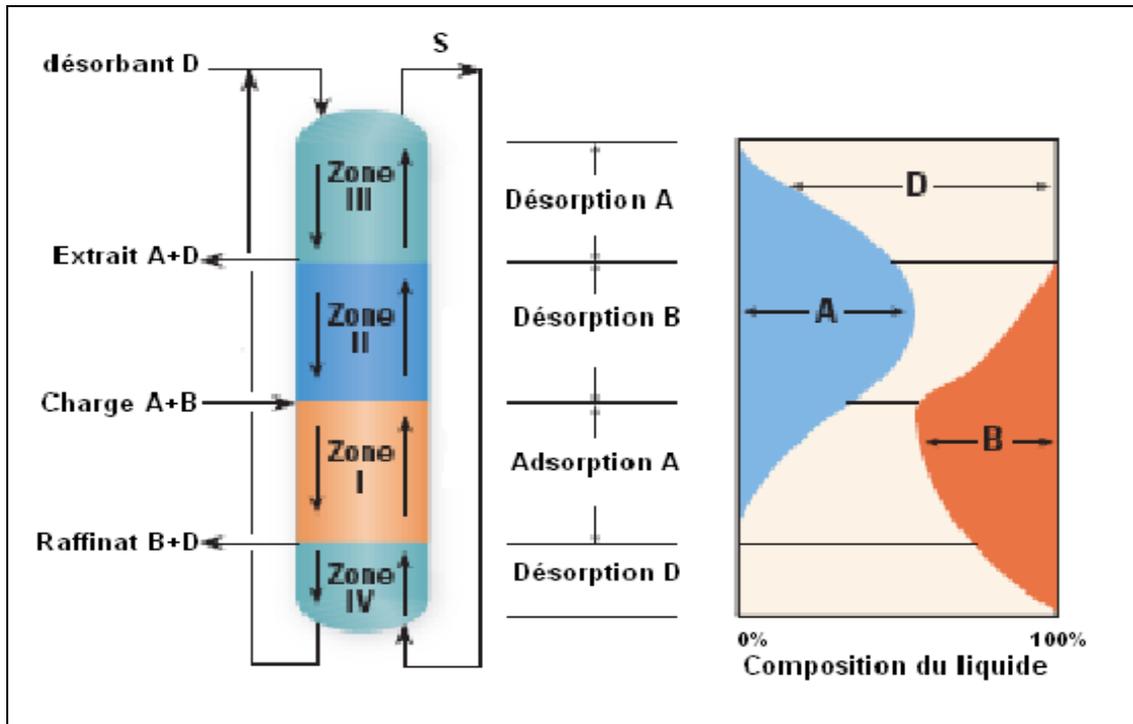
- **La zone (02)** : dite zone de purification, elle se situe entre le point d'injection de la charge et le point de retrait de l'extrait, le flux contient les n-paraffines qui ont été adsorbées dans la zone (01), et les iso paraffines et paraffines cycliques qui sont graduellement déplacées pendant que l'adsorbant se déplace vers la limite supérieure de la zone (02). Le flux sortant de cette zone ne contient que les n-paraffines et le désorbant (Extrait).

- **La zone (03)** : dite zone de désorption, les n-paraffines qui ont été adsorbées dans la zone (01) sont maintenant récupérées des micropores de l'adsorbant.

-**La zone (04)** : est essentiellement une zone d'isolement des zones (01) et (03) et empêche la contamination des n-paraffines avec le flux raffinat.

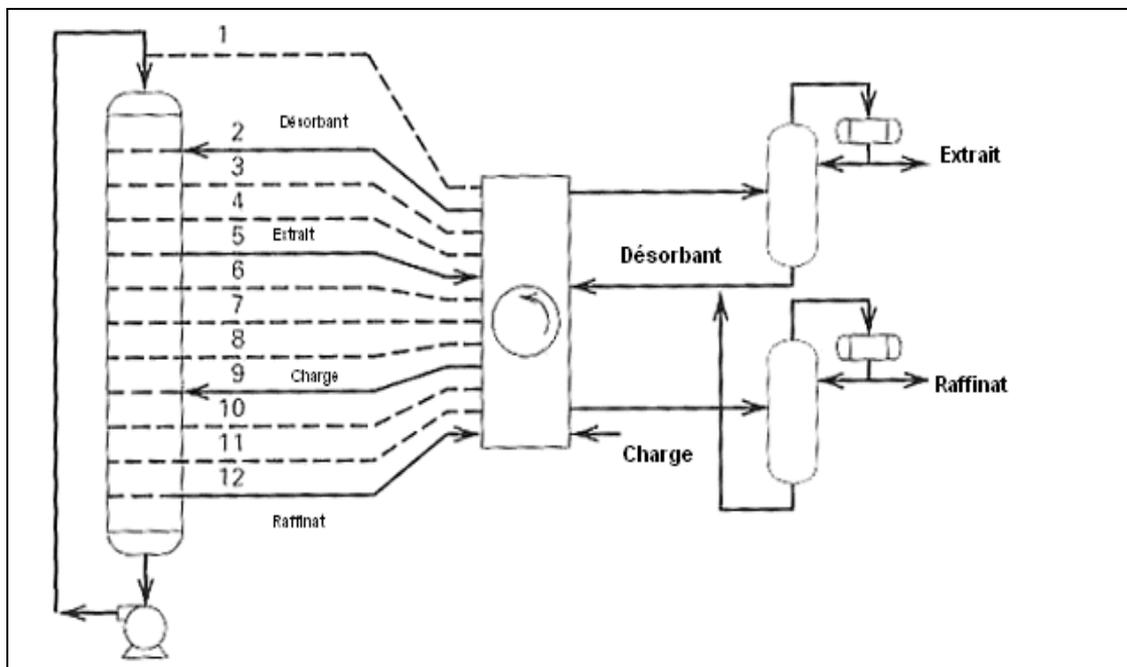
Après la séparation des n-paraffines des iso paraffines et des paraffines cycliques, les deux flux extrait et raffinat passent à travers deux colonnes de récupération du désorbant qui sera réutilisé dans la section d'adsorption. L'extrait est composé à 99,7% pds de n-paraffines avec 0,05% pds en aromatiques.

Le désorbant est un liquide de point d'ébullition différent des composants de l'alimentation. (généralement l'hexane est le désorbant le plus utilisé dans les unités **MOLEX**).



Source : UOP

Figure III.3: Adsorption sur lit mobile



Source : UOP

Figure III.4: Adsorption sur lit simulé mobile - unité Molex (UOP)

Les proportions de reflux dans les zones sont les paramètres d'exploitation à ajuster pour établir les profils de concentration appropriés dans chacune des zones et sont utilisés pour compenser le vieillissement de l'adsorbant ou le changement dans la composition de la charge.

Le procédé est mené d'un système de contrôle intégré et la dernière mise à jour de ce dernier est l'adjonction du système de commande de la chambre adsorbante (ACCS). L'ACCS est conçu pour maximiser le cycle de marche tout en maintenant le degré de pureté assez élevé. Ce système de contrôle utilise des étapes pour maintenir des transitions rapides entre les zones et améliore ainsi la stabilité du système.

Le procédé fonctionne en mode continu à des températures de l'ordre de 220°C et une pression de 2 à 3 bar en phase liquide ce qui permet de réduire les coûts de processing à cause d'un besoin très faible en énergie et une durée de vie d'adsorbant assez longue.

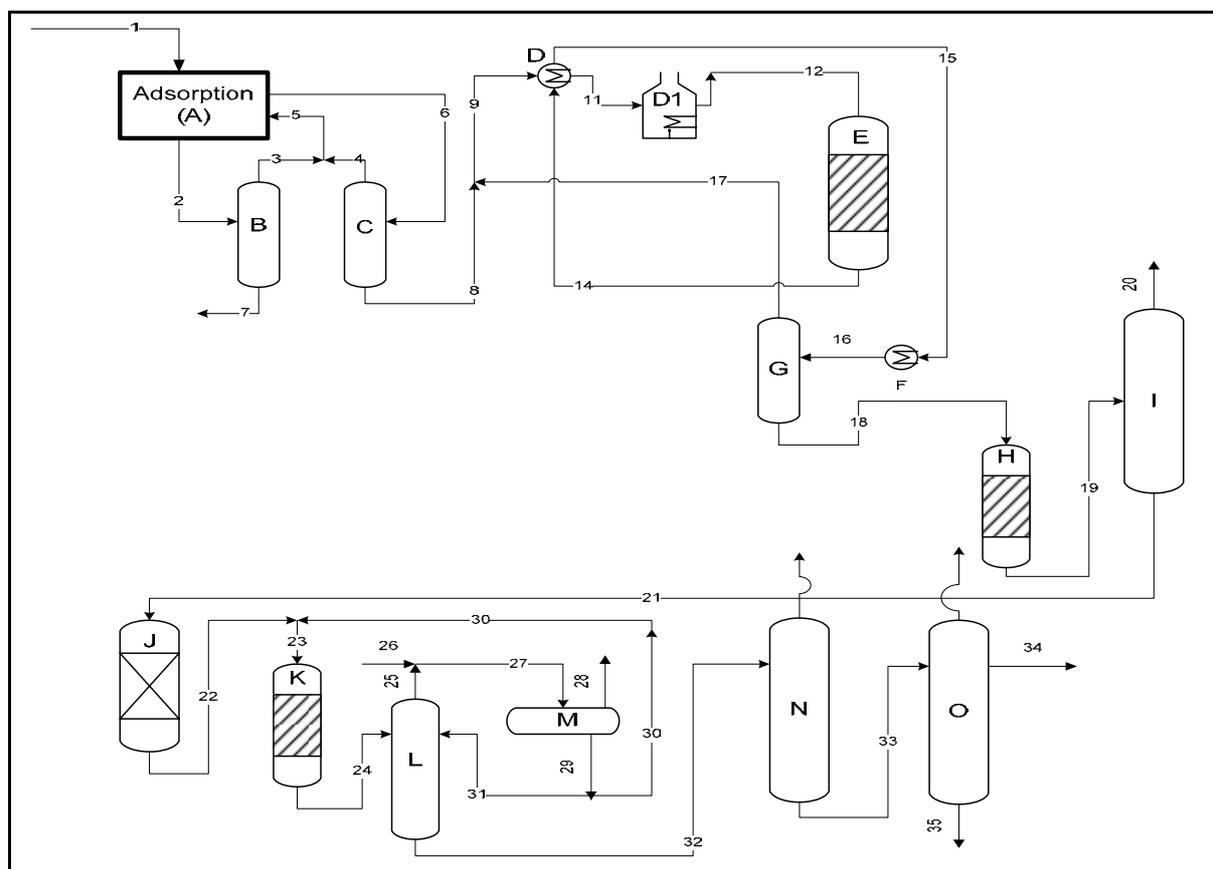
La première unité **MOLEX** a été commercialisée en 1964; aujourd'hui, plus de 2.5 millions de tonnes n-paraffine sont produits à partir de cette technologie à travers le monde et la capacité des unités peut aller au delà de 200.000 t/an.

## **II- Le procédé de fabrication des LAB:**

Les alkylbenzènes linéaires sont produit à partir des n-oléfines et du benzène. Les oléfines sont obtenues par déshydrogénation des n-paraffines issues des fractions pétrolières telles que le kérosène et le gasoil.

Trois technologies de fabrication des LAB existent, la différence entre elles réside dans le catalyseur d'alkylation; le plus ancien catalyseur est le  **$AlCl_3$** , il a été délaissé pour les inconvénients qu'il présentait dans sa manipulation et ses effets sur l'environnement. Le **HF** a remplacé le  **$AlCl_3$**  dans les unités d'alkylation et est devenu le catalyseur le plus approprié à l'alkylation du benzène. Cependant et avec le développement de la catalyse hétérogène, un nouveau procédé d'alkylation du benzène a été mis sur le marché: DETAL de UOP qui a éliminé l'utilisation du catalyseur liquide acide et le remplaça par un catalyseur solide non corrosif à base de  $SiO_2 - Al_2O_3$ .

Ce procédé a permis aussi de simplifier le schéma de fabrication des LAB étant donné que dans ce cas il n'y a pas lieu de neutraliser les effluents acides, et de séparer le HF des produits sortie réacteur (strippers pour HF).



Source : Hydrocarbon processing Nov 1997

Figure III.5: Schéma de fabrication des LAB (UOP)

Le schéma de préparation de la charge (n-paraffines) et la fabrication des LAB selon le procédé UOP est représenté dans la figure III.5.

La charge, après hydrotraitement, alimente la section d'adsorption (A) par la ligne 1, où les n-paraffines seront adsorbées sur le tamis moléculaire puis désorbées en utilisant un désorbant tel que l'isooctane. Le raffinat contenant les iso et cyclo paraffines avec le désorbant quitte la section (A) vers la colonne de raffinat (B) par la ligne 2: le produit de tête contenant le désorbant est recyclé vers (A) par la ligne 3 et le fond de colonne est envoyé vers stockage par la ligne 7. Les n-paraffines avec le désorbant sont soutirés par la ligne 6 et alimentent la colonne d'extract (C); le désorbant sera envoyé vers (A) par la ligne 5 et le fond de colonne est dirigé vers la section suivante par la ligne 8.

La charge (ligne 8) mélangée à l'hydrogène (ligne 17) est chauffée dans l'échangeur (D) (flux 9) par le produit de réacteur (E), le flux 14, puis passe dans le four (D1) avant d'alimenter le réacteur de la section PACOL (E) par la ligne 12; dans cette section se déroule la déshydrogénation des n-paraffines en n-oléfines correspondantes.

Le produit du fond passe par (D) puis par l'échangeur (F) pour être refroidi avant de passer au séparateur (G) dans lequel la phase vapeur riche en hydrogène est partiellement recyclée avec la charge (17) et la phase liquide, qui contient les n-oléfines, dioléfines, aromatiques et les n-paraffines non converties, alimente le réacteur (H) par la ligne 18.

Dans cette section (DEFINE), la charge est mise en contact avec le catalyseur d'hydrogénation sélective, où les dioléfines seront converties en monooléfines; le produit alimente ensuite le stripper (I) par la ligne 19 ou les gaz seront récupérés en tête de colonne (ligne 20). Le fond de la colonne (I) est dirigé vers la section suivante par la ligne 21.

Pour minimiser les coproduits en fin de chaîne, les aromatiques à leurs tours seront éliminées dans le réacteur de la section PEP (J) par adsorption sur tamis moléculaires le produit déaromatisé passe dans la section suivante par la ligne 22.

La charge sera combinée avec le benzène provenant de la colonne de benzène par la ligne 30 et alimente le réacteur de la section DETAL (K) où l'addition des monooléfines sur le benzène est lieu dans des conditions appropriées donnant ainsi le LAB et coproduits. Le produit de fond du réacteur est dirigé vers la colonne de benzène (L) par la ligne 24; dans cette colonne, le benzène sera séparé des LAB, alkylats lourds, paraffines et oléfines non réagies.

Le produit de tête de la colonne (L), composé de benzène et gaz légers, est mélangé avec du benzène séché provenant du stockage par la ligne 26, passera dans un séparateur (M) qui éliminera les gaz par la ligne 28 et recyclera le benzène par la ligne 30 vers le réacteur (K) et par la ligne 31 vers la colonne (L) comme reflux.

La ligne 32 alimente la colonne des paraffines (N): le produit de tête est composé de paraffines et oléfines (0.3%pds) tandis que le produit du fond contient le LAB et les alkylats lourds (ligne 33). La séparation LAB - alkylats lourds se déroule dans la colonne de fractionnement (O): le LAB sera récupéré en tête de colonne et les alkylats seront soutirés par la ligne 35 en fond de colonne.

# IV- Etude de faisabilité d'un complexe de production des LAB

*Présentation sommaire du projet*

<b>Objectif : Valorisation de la coupe Kérosène issue de la raffinerie de Skikda</b>	
<b>Description du projet :</b> Réalisation d'un complexe pétrochimique de production de LAB avec une unité intégrée d'extraction des n-paraffines.	
<b>Caractéristiques de l'activité</b> Produits Technologies impliquées Expertise requise	<b>N-paraffines ; LAB Procédés UOP Génie chimique</b>
<b>Besoins pour l'implantation</b> Site d'implantation Type d'infrastructure Type de bâtiments Gros équipements Autres	<b>Zone industrielle de Skikda Accessibilité et utilités Bâtiments industriels et bureaux Colonnes, fours, réacteurs ... Matériels de contrôle, équipements informatiques,</b>
<b>Nature du projet</b>	Nouveau projet
<b>Existence d'entreprise opérant dans l'activité</b>	Non
<b>Le type de la collaboration étrangère susceptible d'être envisagée pour le projet</b>	? Joint-venture
	✓ Collaboration technique
	✓ Accès au marché extérieur
	? Recherche et développement en collaboration
	? Financement extérieur
	✓ Achat équipements
	✓ Sous traitance
? Autres :	
<b>Documents d'appui indispensables</b>	✓ Etude d'impact environnemental
	✓ Etude sectorielle
	✓ Description du projet
<b>Besoins d'enquêtes approfondies</b>	✓ Etude de marché
	✓ Etude d'impact environnemental
	✓ Etude de faisabilité technico-économique

## **Introduction**

Le projet de production des alkylbenzènes linéaires faisait partie du plan de développement de la pétrochimie en Algérie établi durant les années soixante dix, il a été inscrit aux plans quinquennaux et faisait partie des projets prioritaires du gouvernement à l'époque.

L'appel d'offre de réalisation de ce projet a été lancé en 1983, la décision de financement du projet a été accordée en 1988, les contrats de licence ont été signés en 1990 avec le détenteur de licence UOP et la réalisation était prévue pour l'année 1992.

Afin de réaliser le projet, ENIP<sup>1</sup> orientait ses efforts à la recherche de partenaires étrangers; plusieurs sociétés ont manifesté leur intérêt pour ce projet (Daewoo, Vista,...) et des études technico-économiques ont été élaboré, mais l'objectif de mise en place d'une société mixte ENIP/partenaires n'a pu se concrétiser.

Devant cette situation, ENIP proposa la participation des filiales nationales: ENAD<sup>2</sup>, Naftec, Sonatrach, Diprochim<sup>3</sup> et l'ENGZIK, la compagnie Maghrébine des alkylats "Alcko" fut ainsi créée en 1994; Naftec ne faisait pas parti de cette société mais garantissait la disponibilité des matières premières à partir de sa raffinerie de Skikda.

En 1996, un partenaire saoudien s'est engagé à réaliser le projet avec la société Alcko mais ce dernier ne s'est plus manifesté depuis.

En 2005, un processus de lancement de projets pétrochimiques a eu lieu, le projet des alkylbenzènes linéaires a été relancé dans ce programme de développement de la pétrochimie en Algérie.

A ce jour, ces projets pétrochimiques sont en phase d'évaluation, leurs rentabilité économique décidera de leurs réalisation.

---

<sup>1</sup> ENIP : Entreprise Nationale de l'Industrie Pétrochimique (chargée du projet LAB)

<sup>2</sup> ENAD : Entreprise Nationale des Détergents et produits d'entretien

<sup>3</sup> Diprochim : entreprise de distribution des produits chimiques

### **I-Les opportunités d'investissement (16)**

L'Algérie dispose des deux principaux facteurs, nécessaires pour tout investissement, à savoir: la disponibilité de la charge et un marché consommateur du produit fabriqué, en effet :

- Les matières premières (kérosène et benzène) sont disponibles;
- La demande en LAB du marché local est de 28 Kt/an (2006), avec une quantité additionnelle avoisinant les 0,56 Kilos tonnes par an.

S'ajoute à cela :

- La position stratégique (Proximité des marchés européen et africain), d'où la possibilité d'exporter l'excédent de la production, notamment vers les pays du Maghreb dont les besoins sont entièrement couverts par l'importation: le Maroc, la Tunisie et la Libye représentent un marché total de plus de 25 Kt de LAB (15, 5 et 5 Kt respectivement), cette région peut être alimentée par le complexe si le **prix** et la **qualité** seront concurrentiels;
- Possibilité d'intégration dans des sites industriels.

Cela permettra :

- Une économie de devise par la substitution de l'importation;
- La valorisation de la matière première: kérosène.

*Cependant il y a deux facteurs défavorables à cet investissement qui sont:*

- La baisse de la demande due à une satisfaction de certains marchés par une production locale;
- La construction d'un nouveau complexe en Egypte d'une capacité de production de 80 Kt LAB et 62.5 Kt de n-paraffines et qui sera opérationnelle à partir de 2007; cette installation, pourra absorber le marché régional notamment le marché Maghrébin.

*Il reste évident vu l'importance de l'offre, que la pénétration du marché par un nouveau producteur n'est envisageable que sous certaines conditions dont la plus déterminante est une concession avantageuse sur le prix des LAB et n-paraffines.*

**Tableau IV.1: Consommation et prévision de consommation de détergents en Algérie**

<b>Années</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2003</b>	<b>2006</b>	<b>2010</b>
Consommation par personne (kg)	3,92	3,94	3,95	3,99	4,03	4,09
Consommation totale (Kt)	117,1	120,2	123,1	131,9	140,8	153,3

Source : ENAD 2006

Avec une consommation de 0,19 à 0,20 tonnes de LAB par tonne de détergent (donnée ENAD).

## **II- Description du projet**

### **II-1 Production:**

Le complexe des alkylbenzènes linéaires et des n-paraffines aura une capacité de production de 75 Kt/an de LAB et 120 Kt/an de n-paraffines dont 60 Kt/an seront destinées à la section de production des LAB.

### **II-2 Matières premières:**

Les matières premières sont le kérosène et le benzène provenant de la raffinerie de Skikda.

#### **II-2-1 Kérosène :**

La raffinerie de Skikda, produit actuellement plus de 700 Kt/an de kérosène (produit fini), dont plus de 600 Kt sont destinés à l'exportation.

La raffinerie, qui traite 15 Millions de tonnes de brut chaque année, produit plus de 1.6<sup>1</sup> Millions de tonnes de la coupe kérosène (au cours des cinq dernières années, 700 Kt/an de cette production ont été ajouté au mélange Gas-oil).

Selon les prévisions de productions, élaborées par Naftec pour les cinq prochaines années, le gas-oil sera maximisé au détriment du kérosène,(produit fini) suite à une demande de plus en plus élevée sur le marché national en ce produit.

Le tableau IV.2 donne la quantité soutirée en kérosène des deux toppings U10 et U11 à la raffinerie de Skikda.

<sup>1</sup> Bilans mensuels (2001-2005) Direction Technique - Naftec

Tableau IV.2: Quantité de la coupe kérosène soutirée des deux toppings

Année	2001	2002	2003	2004	2005
<b>Topping U10</b>	950 737	838 753	865 535	704 579	795 322
<b>Topping U11</b>	867 085	805 756	764 929	843 645	645 795
<b>Quantité totale</b>	<b>1 817 822</b>	<b>1 644 509</b>	<b>1 612 464</b>	<b>1 548 224</b>	<b>1 441 117</b>

Source : Evolution traitement/production - bilan raffinerie de Skikda - 2006

La quantité du kérosène, issue des deux topping de la raffinerie de Skikda, s'élèvera à plus de 1.9 Millions de tonnes d'ici 2010, (plan de production 2007-2011 de l'entreprise Naftec); et dans le but de satisfaire la demande croissante du marché local en Gas-oil, plus de 800 Kt de cette coupe (kérosène), rentreront dans le blending du Gas-oil.

Selon ce plan de production, le rendement en kérosène représentera 11,3% de la charge traitée, la quantité en kérosène (coupe) soutirée des deux toppings est représentée dans le tableau suivant:

Tableau IV.3: Quantité de la coupe kérosène soutirée des deux toppings (prévision)

Année	2007	2008	2009	2010	2011
<b>Topping U10</b>	806 735	761 397	744 260	994 752	1 048 355
<b>Topping U11</b>	784 997	611 192	724 287	968 057	1 020 222
<b>Quantité totale</b>	<b>1 591 732</b>	<b>1 372 589</b>	<b>1 468 547</b>	<b>1 962 809</b>	<b>2 068 577</b>

Source : Plan de Production à Moyen Terme de l'Entreprise PMTE 2007/2011 - Direction Technique - Naftec - 2006

La coupe kérosène issue de la raffinerie, renferme potentiellement les n-paraffines désirées; les caractéristiques physiques sont représentées dans le tableau suivant:

Tableau IV.4 : Caractéristiques de la coupe kérosène

Coupe	165-250°C
Rendement sur brut (%Pds)	18,88
Densité à 15°C	0,7998
Teneur en soufre (%pds)	< 0,0020
Point d'aniline (°C)	60,8
Point d'écoulement (°C)	<-45
Poids moléculaire (g/mole)	159
<b>Teneur en carbone</b>	
<b>Paraffiniques</b>	<b>61,11</b>
Naphténiques	15,79
Aromatiques	23,10

Source : Rapport d'analyse du brut alimentant la raffinerie de Skikda - Centre de Recherche et développement - Sonatrach- Boumerdés 1999

Ce kérosène est de tendance paraffinique, le tableau IV.5 donne la composition détaillée de la coupe kérosène en n-paraffines.

**Tableau IV.5: Composition en normales paraffines du kérosène**

<b>Hydrocarbures paraffiniques normaux (% pds)</b>	
n-heptane	Traces
n-octane	0,27
n-nonane	0,99
n-decane	<b>3,87</b>
n-undecane	<b>4,50</b>
n-dodecane	<b>3,33</b>
n-tridecane	<b>2,88</b>
n-tetradecane	<b>1,80</b>
<b>Total C<sub>10</sub>-C<sub>14</sub></b>	<b>16,38</b>
n-pentadecane	0,36
n-hexadecane	Traces
<b>Total</b>	<b>18</b>

Source: Etude TECNON ENIP 2000

### **II-2-2 Benzène:**

La chaîne des aromatiques de la raffinerie de Skikda, a été conçue pour produire, entre autres 90 Kt/an de benzène. Cette production s'élèvera à 169 Kt d'ici 2010 après le programme de la réhabilitation de la raffinerie.

**Tableau IV.6: Prévision de production en benzène**

<b>Année</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
<b>Production (t/an)</b>	29 012	32 076	26 046	169 435	169 435

Source : Plan de Production à Moyen Terme de l'Entreprise PMTE 2007/2011 - Direction Technique - Naftec - 2006

### **II-3 Localisation:**

Le complexe, sera installé à la zone industrielle de Skikda à proximité de la raffinerie, pour faciliter le transfert des matières premières de la raffinerie vers le complexe, et du kérosène retour du complexe vers la raffinerie. (voir schéma d'implantation Figure IV.1).

La procédure de mise à disposition de terrain pour l'implantation d'un complexe, est faite sous réserve de l'adhésion du contractant au cahier des charges de la zone qui définit les modalités administratives de la zone, et les droits et obligations de la société (EGZIK) d'une part, et des occupants d'autre part; et de la remise des documents suivants :

- Fiche technique du projet avec une description du procédé de fabrication accompagnée d'un plan de masse sommaire;
- Une étude d'impact environnemental et incidences directes et indirectes sur la zone;
- Une description du produit, la capacité de production et les sources d'approvisionnement en matières premières;
- La superficie et les besoins en utilités;
- La consistance des rejets des effluents solides, liquides et gazeux;
- Le statut de l'investisseur.

La superficie globale de la zone est de **1 275** ha dont **388.2** ha représente la surface inoccupée; selon l'étude TECHNON, le complexe s'étalera sur une surface de **20 ha**.

#### **II-4 Technologie:**

Le procédé Molex pour l'extraction des n-paraffines et le procédé LAB-UOP pour la fabrication des LAB, sont les plus répandus; et les plus utilisés actuellement.

#### **II- 5 Description du complexe:**

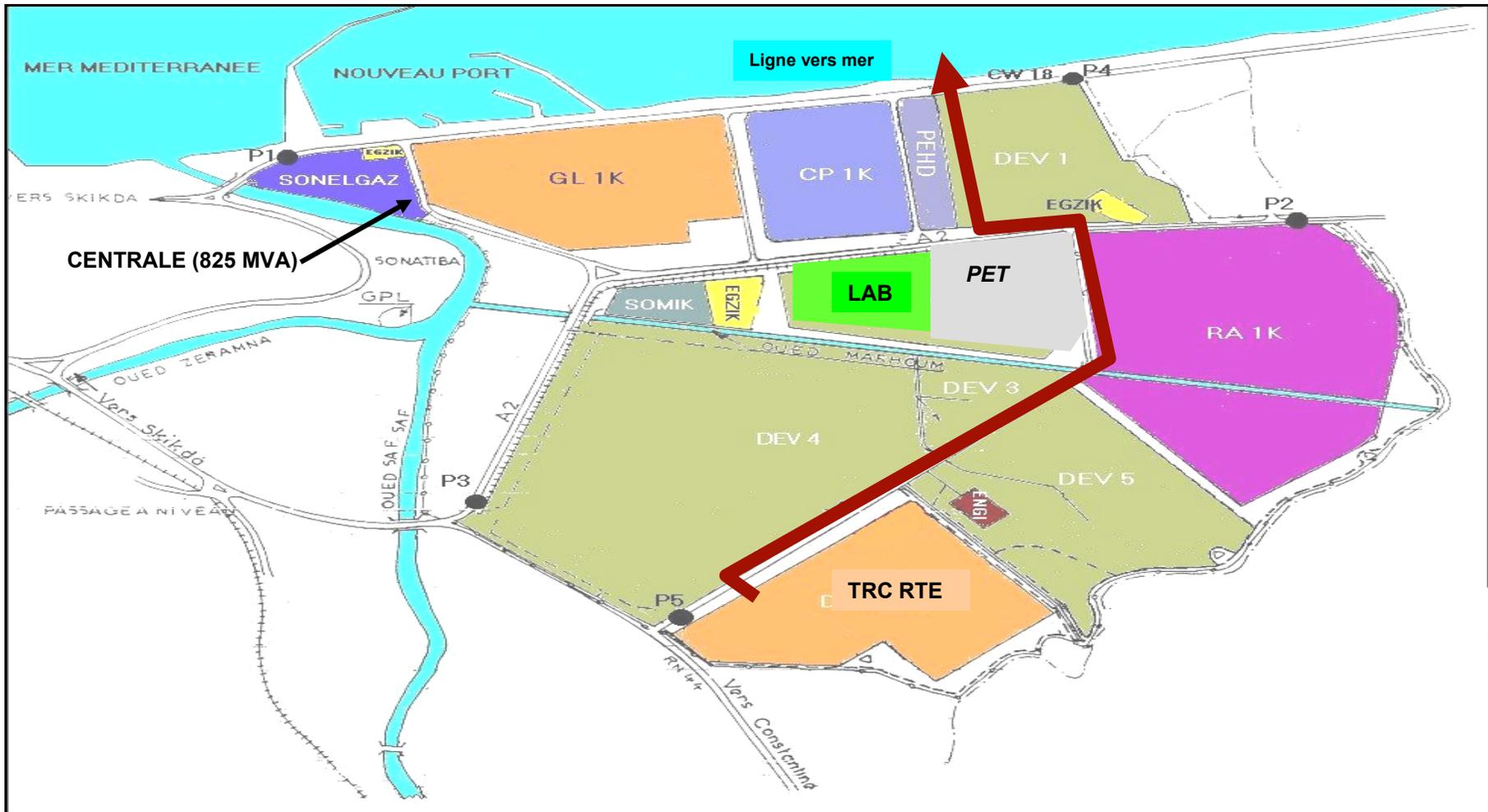
Le complexe de LAB avec une unité de n-paraffines intégrée comprendra les unités suivantes:

➤ **Une section d'extraction des n.paraffines composée de 03 unités:**

- Unité de préfractionnement du kérosène;
- Unité d'hydrotraitement de la charge;
- Unité d'extraction des n.paraffines (**Molex**).

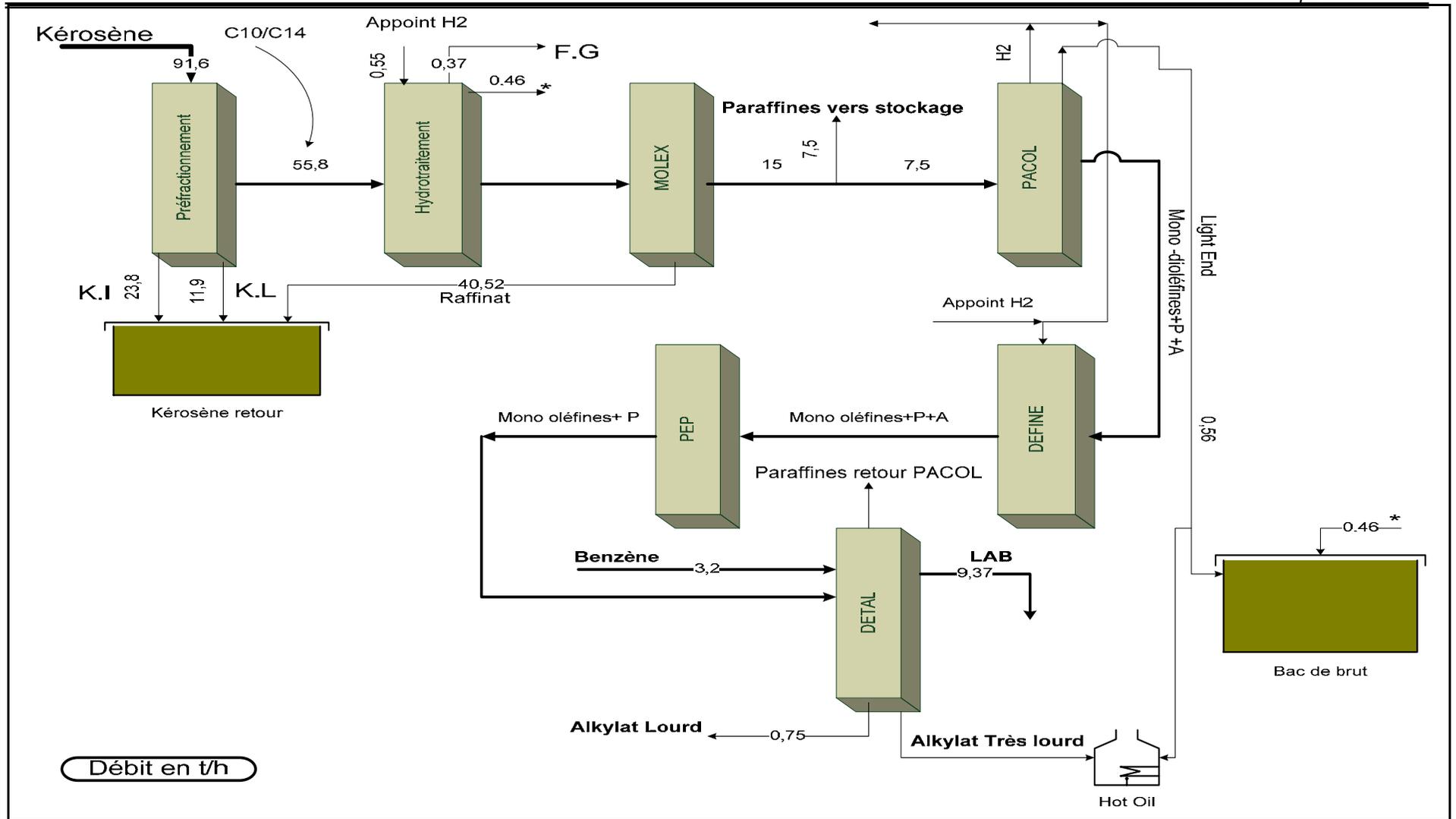
➤ **Une section de fabrication des LAB composée de 04 unités:**

- Unité de déshydrogénation (**Pacol**);
- Unité d'hydrogénation sélective (**Define**);
- Unité de déaromatisation (**PEP**);
- Unité d'alkylation (**Detal**).



Source: ENGZIK

Figure IV.1: Schéma d'implantation du complexe LAB



Source : Bilan de matière UOP

Figure IV.2: Bilan de matière du complexe

### **II-5-1 Unité de préfractionnement**

Cette unité est conçue pour séparer la fraction C<sub>10</sub>-C<sub>14</sub> des fractions légère et lourde de la charge (Kérosène); elle comporte deux colonnes: dans la première, la charge est débarrassée des légers (< C<sub>10</sub>) et dans la deuxième on élimine les lourds (> C<sub>14</sub>).

Le kérosène à 40°C est préchauffé dans un premier échangeur ou sa température s'élève à 70°C puis dans un deuxième échangeur à 134°C; il alimente ensuite la première colonne à 134°C et 1 atm au 25<sup>ème</sup> plateau. En tête de colonne les légers (26% de la charge totale) quittent la colonne à 170°C et 0.7 atm et seront refroidis à 155°C; une partie sera recyclée vers la colonne comme reflux de tête et l'autre partie sera dirigée vers stockage après un deuxième refroidissement à 40°C.

La deuxième colonne est alimentée au 27<sup>ème</sup> plateau par le fond de la première colonne à 187°C et 1 atm, le fond de la deuxième colonne (13% de la charge totale) quitte cette dernière à 246°C, sera refroidi à 45°C dans deux échangeurs et envoyé vers stockage tandis que le produit de tête - la fraction C<sub>10</sub>-C<sub>14</sub> - alimentera l'unité d'hydrotraitement.

### **II-5-2 Unité d'hydrotraitement**

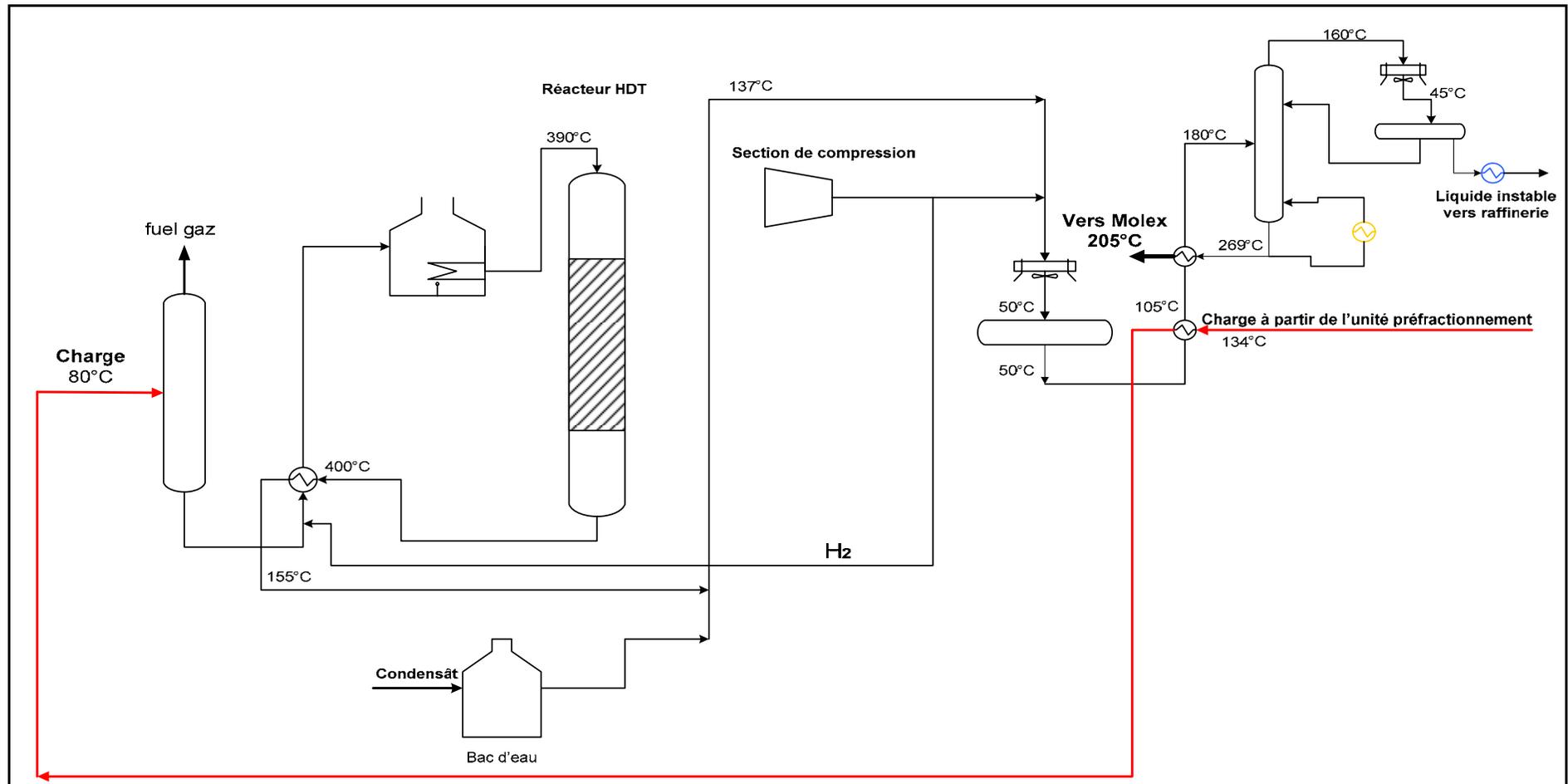
La charge provenant de l'unité préfractionnement alimente l'unité d'hydrotraitement qui consiste à réduire le soufre, l'azote, et les mercaptants; ces composés sont des poisons qui peuvent altérer le catalyseur de l'unité **Molex**; la quantité de soufre tolérable est inférieure à 200 ppm.

La charge et l'hydrogène sont chauffés dans le four de la section à 390°C avant d'alimenter le réacteur: la réaction se déroule à une température et pression élevée avec un excès d'hydrogène, le fond du réacteur qui est donc la charge débarrassée de ces poisons, passe ensuite à travers un échangeur pour refroidissement à 155°C et sera ensuite envoyé vers un aéroréfrigérant avec de l'eau et un appoint d'hydrogène ou sa température sera abaissée à 50°C, l'eau et l'hydrogène seront récupérés.

Après passage dans deux échangeurs pour élever, à nouveau, la température de la charge hydrotraitée à 180°C, elle passe à travers la section de stabilisation.

**NB : L'eau est ajoutée au mélange d'une manière intermittente afin d'éliminer le soufre qui peut se déposer dans l'aéroréfrigérant.**





 Échangeur eau/prt.
  Échangeur Hot Oil
  Échangeur prt/prt

Figure IV.4 : Unité d'Hydrotraitement

La section de stabilisation consiste à débarrasser le produit de ses liquides instables et gaz, dans une colonne stabilisatrice: le produit de tête sera refroidi dans un aérorefrigérant et séparé en gaz et liquide instable dans un ballon séparateur, les gaz sont dirigés vers le Hot Oil et le liquide de tête composé de n C<sub>4</sub> à C<sub>7</sub> est envoyé vers le bac de brut à la raffinerie après refroidissement à 40°C.

Le fond de colonne à 268°C passe par un échangeur pour refroidissement et est dirigé vers l'unité suivante.

L'hydrogène nécessaire pour cette unité provient de l'unité de déshydrogénation Pacol. (16)

Selon la qualité de la charge, la régénération du catalyseur de l'unité se fait tous les deux à trois ans de fonctionnement continu et le catalyseur admet au moins deux régénérations. (selon l'expérience de Petresa Espagne).

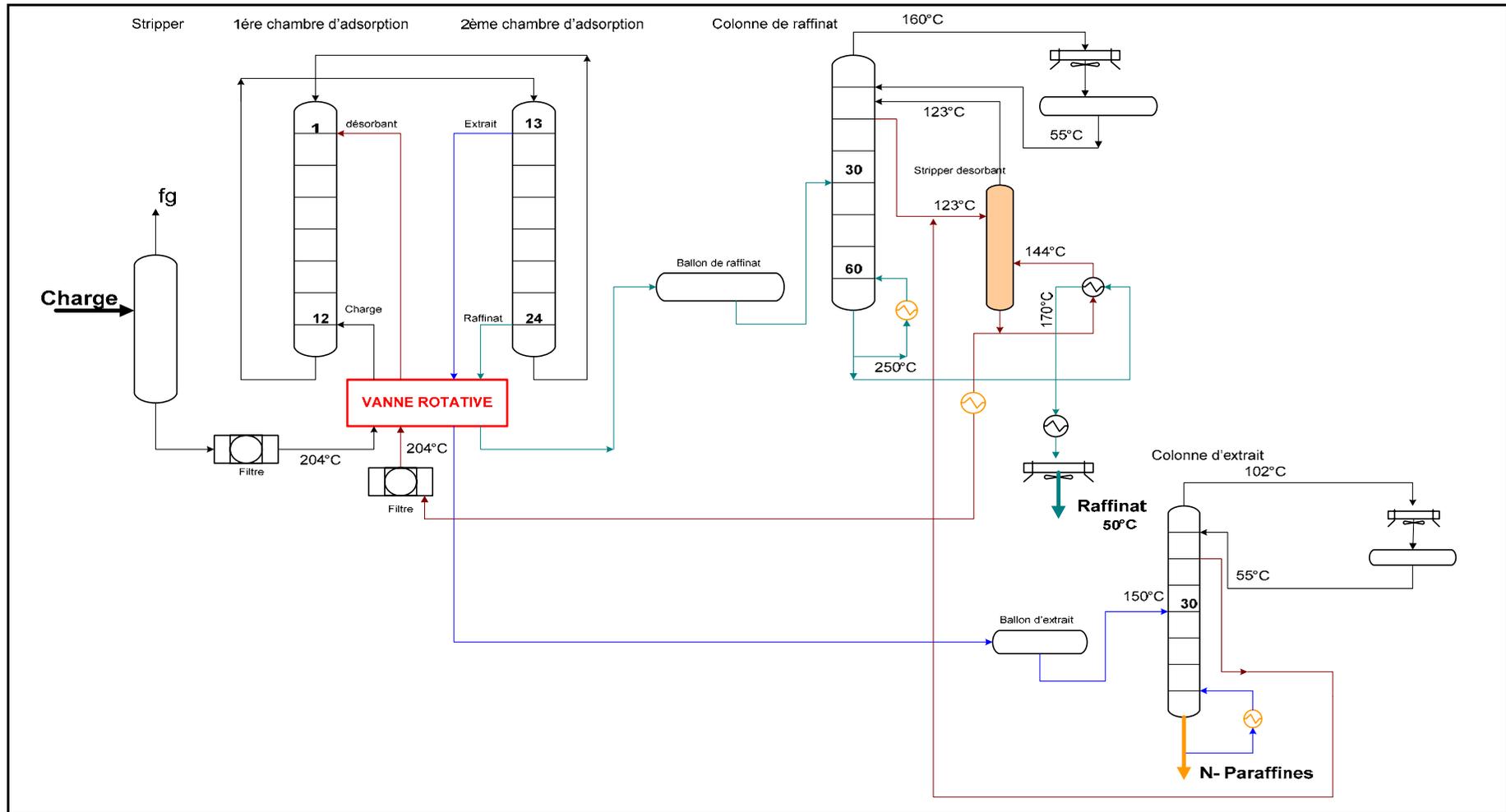
### **II-5-3 Unité Molex d'extraction des n-paraffines**

La charge passe par un stripper, puis des filtres afin d'éliminer toutes traces d'impuretés qui pourraient altérer les tamis moléculaires de l'unité **Molex**, la charge alimente ensuite les chambres d'adsorption à travers la vanne rotative qui contrôle les entrées de la charge et du désorbant dans la première chambre d'adsorption et les sorties raffinat et extrait. Chaque 15 minutes, les points d'injection de la charge et du désorbant, et les points de soutirage du raffinat et de l'extrait, se déplacent vers le bas.

Le raffinat, contenant le désorbant quitte la section d'adsorption à 204°C, et rentre dans la colonne de raffinat à 168°C et 1.4 bar. Dans cette colonne, le désorbant sera séparé du raffinat (en tête de colonne), passe par un stripper, un sécheur et sera recyclé vers les chambres d'adsorption. L'extrait sera séparé du désorbant dans une autre colonne (colonne d'extrait) et sera ensuite dirigé vers le même stripper de la section précédente.

L'adsorbant actuellement utilisé dans les unités **Molex** est connu sous le nom **ADS-34**; c'est un adsorbant solide zéolithique, commercialisé depuis 1994, utilisé dans 17 unités à travers le monde.

Le tamis moléculaire perd de son efficacité par accumulation du soufre et polymérisation des oléfines, sa durée de vie dépend donc de la présence du soufre et d'oléfines dans la charge; elle peut atteindre sept ans (selon l'expérience de Petresa Espagne).



Échangeur eau /prt. 
 Échangeur Hot Oil 
 Échangeur prt./prt.

Figure IV.5: Unité Molex

#### **II-5-4 Unité Pacol**

La charge de l'unité **Pacol** est un mélange de n-paraffines provenant de l'unité **Molex**, n-paraffines recyclées à partir de l'unité **Detal** et n-paraffines provenant à partir du stockage.

Les n-paraffines provenant du stockage passent par un stripper pour élimination de toutes traces d'eau et impuretés. La charge, chauffée dans un échangeur par le produit du réacteur **Pacol**, passe à travers le four avant d'alimenter le réacteur **Pacol**, où la réaction de déshydrogénation a lieu sur un catalyseur hétérogène en platine, en phase vapeur, à température élevée et basse pression.

Le produit est ensuite refroidi, et envoyé au séparateur dans lequel le gaz est séparé du liquide et préalablement comprimé dans une section de compression. Ce gaz est riche en hydrogène, il est utilisé dans l'unité hydrotraitement et l'unité **Define**.

Le fond du séparateur alimente l'unité d'hydrogénation **Define**. La conversion en n-oléfines dans l'unité **Pacol** ne dépasse pas les 32% généralement.

#### **II-5-5 Unité Define**

Dans le but de minimiser les coproduits et protéger l'unité Detal, UOP a complété le procédé de production des LAB par l'unité **Define** d'hydrogénation sélective afin de reconvertir les dioléfines en mono oléfines. Cette conversion se déroule en phase liquide, à une température avoisinant les 220°C.

Dans l'unité **Define**, le liquide est mélangé avec l'hydrogène comprimé et réchauffé à 180-210°C. Dans cette unité le nickel est employé comme catalyseur; l'effluent est envoyé au stripper pour séparer les gaz et le liquide léger du produit du fond.

#### **II-5-6 Unité PEP**

Les aromatiques peuvent se déposer sur le catalyseur de l'unité **Detal** et le désactiver, comme ils peuvent s'attacher aux oléfines et donner ainsi des produits indésirables et ils peuvent aussi être entraînés avec les paraffines, s'accumulées et rentrées à nouveau dans le réacteur **Detal** : l'unité **PEP** sert à débarrasser la charge des aromatiques. L'adsorbant peut être installé sur plusieurs étages en série ou en parallèle (en parallèle est préférable dans le cas où un lit est désactivé on peut le by-passé).

Les adsorbants peuvent être des tamis moléculaires de type 13 A à 100°C ou 200°C à une pression à laquelle la phase est maintenue liquide; la séparation en phase vapeur peut se faire mais la température sera à cet effet plus élevée et le rendement sera inférieur par rapport à la phase liquide.

En 1995, UOP a introduit un nouveau catalyseur pour cette unité, le **ADS 102**; ce catalyseur permet d'éliminer les aromatiques par adsorption étant un catalyseur zéolithique. Les composés aromatiques sont adsorbés dans les pores du catalyseur et désorbés ensuite par solvant, généralement le benzène.

L'élimination des aromatiques atteindra les 80% dans l'unité et le taux des aromatiques contenu dans la charge (après passage par l'unité **PEP**) est inférieur à 1%pds.

### **II-5-7 Unité Detal:**

Dans cette unité, il y a deux sections distinctes: section réactionnelle où la réaction d'alkylation aura lieu, et la section de séparation: les produits seront récupérés et le benzène et paraffines non réagis seront recyclés.

Le benzène subira une alkylation par les mono oléfines en présence d'un catalyseur solide non corrosif (**DA-114**) dans un réacteur à lit fixe en phase liquide; les conditions de température et de pression sont: 80°C à 225°C et 20 à 35 bar.

Le catalyseur (**DA-114**) donne un produit fortement linéaire avec un rendement supérieur à 94% en poids avec une teneur en tetralin de moins de 0,5% ce qui améliore la biodégradabilité des LAB.

Le produit du fond du réacteur (LAB, alkylat lourd, oléfines, paraffines et benzène non réagis) alimente la colonne du benzène dans laquelle ce dernier sera séparé du produit final; généralement la colonne compte 50 plateaux: le produit est introduit au 30<sup>ème</sup> plateau tandis que le benzène séché est ajouté en tête de colonne.

Le produit de tête, qui est donc le benzène avec des traces de paraffines (<100 ppm), quitte la colonne à 93°C et 0,69 bar.

Le produit de fond de colonne passera ensuite dans une colonne de récupération des n-paraffines, c'est un fractionnement simple, les paraffines sont récupérées en tête de colonne et les LAB et alkylats lourds sont dirigés vers deux autres colonnes de séparation, ainsi le LAB sera récupéré de la tête de la première colonne et l'alkylat lourd du fond de la deuxième colonne.

**NB**

- Du fait de l'élimination de HF dans la nouvelle technologie; les réacteurs d'alkylation sont conçus en acier (milieu non corrosif) ce qui diminue d'une manière significative le coût des réacteurs;
- La substitution de HF permet aussi d'avoir une unité de traitement des effluents simple, les bassins de traitement des effluents acides ne sont plus nécessaires ainsi que les grandes quantités de bases pour neutralisation;
- Le catalyseur de l'unité **Detal (DA 114)** a été commercialisé pour la première fois en 2002; trois unités utilisent ce catalyseur actuellement.

**III-Installations des utilités:**

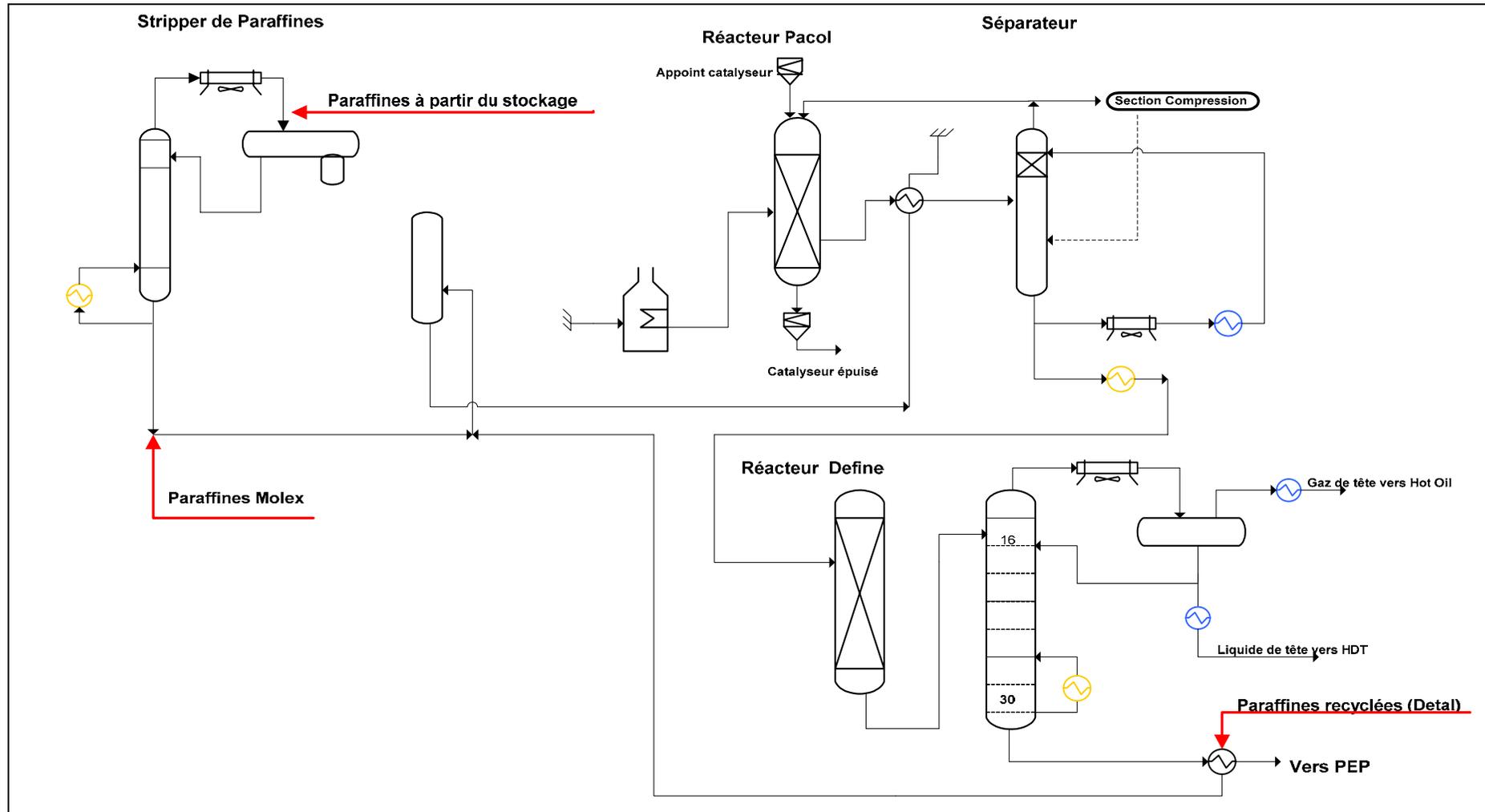
**III-1 Besoins en utilités :**

Les installations sont communes aux deux sections du complexe et comprennent les installations de production et de distribution de l'eau, de la vapeur, de l'air, d'électricité et de l'azote. (16)

- **Eaux** : l'eau est principalement utilisée pour les besoins suivants:
  - l'eau déminéralisée pour le procédé;
  - l'eau utilisée comme fluide caloporteur (vapeur, eau chaude);
  - les eaux de refroidissement: régulation du process;
  - l'eau potable;
  - l'eau permettant de constituer une réserve en cas d'incendie. (16)

Afin d'établir une situation de départ, un inventaire des ressources disponibles en eau (caractéristiques, qualités, quantités) et des besoins en eau du projet doit être réalisé.

- **Production d'électricité** : nécessaire au fonctionnement des moteurs (pompes, compresseurs,...) et la gestion des bâtiments (éclairage, air conditionné, ventilations, chauffage, production d'air comprimé,...). (16)
- **Production d'air instrument et air service**
- **Production et distribution de vapeur**
- **Combustible et gaz naturel**
- **Production d'azote (ou à partir de ENGI)**



 Échangeur eau /prt  
  Échangeur Hot Oil  
  Échangeur prt./prt

Figure IV.6: Unité Pacol-Define

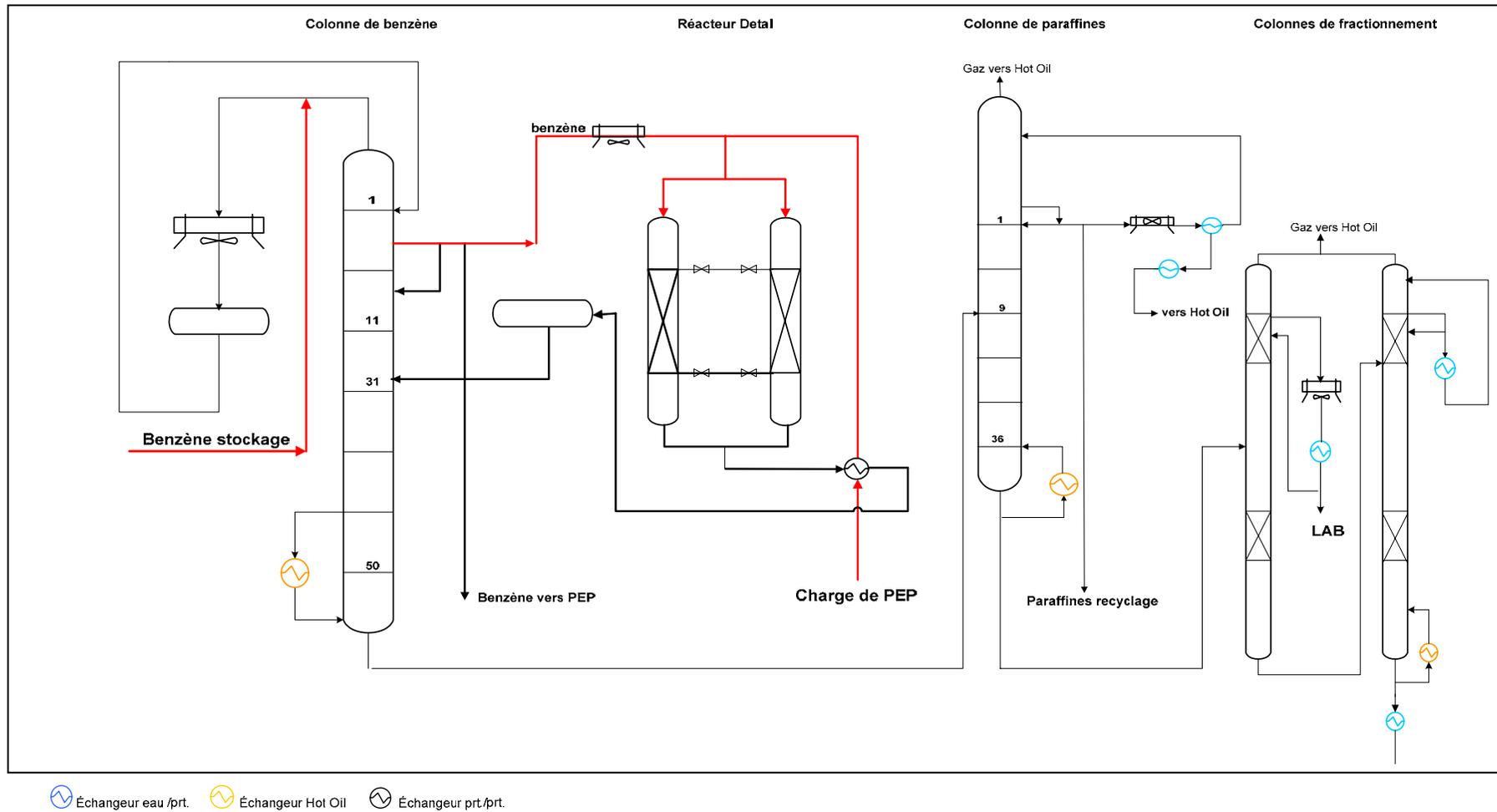


Figure IV.7 : Unité Detal

### **III-2 Disponibilité des utilités à la zone industrielle de Skikda (27) :**

- Pour **l'eau industrielle**, la zone est alimentée par EPDMIA de 13 000 m<sup>3</sup>/J à 09 bars avec deux réservoirs de sécurité de 2 x 12 000 m<sup>3</sup> assurant une autonomie de deux jours. Un projet de dessalement de 100 000 m<sup>3</sup> d'eau de mer est prévu (il sera opérationnel en décembre 2007). La quantité d'eau qui sera consommée par le complexe a été estimée à 24 m<sup>3</sup>/J (étude TECNON 2000).
- Du point de vue alimentation en **énergie électrique**, la zone se trouve en situation favorable: des lignes de 60 KV situées à 2 et 16 Km du site d'une capacité totale de 350 MVA, alimentent la zone; actuellement les unités existantes consomment 80 MVA, d'où la disponibilité de 270 MVA.
- Pour **l'azote**, il existe une unité de production des gaz industriels à Skikda (ENGI) et qui produit entre autres l'azote liquide (1650 l/h) et de l'hydrogène (100 m<sup>3</sup>/h). Le complexe étudiera la rentabilité de produire l'azote ou de l'acheter à partir de cette unité.
- L'air instrument, service et la vapeur seront produit au sein du complexe.

### **IV- Installations générales et stockage (offsites):**

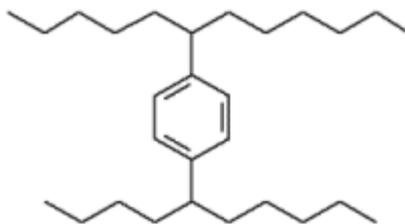
Les installations générales comprennent :

- 1) Les réservoirs de stockage des matières premières, produits intermédiaires et produits finis;
- 2) La production et distribution des utilités;
- 3) Les installations auxiliaires tels que les bâtiments administratifs et infirmerie; les ateliers de maintenance et de sécurité et le laboratoire d'analyse des produits;
- 4) Les routes et accès;
- 5) Les installations de conditionnement et d'expédition (installation de remplissage des fûts; expédition par route, par voie maritime et ferroviaire);
- 6) L'unité de traitement des eaux.

- Une desserte ferroviaire d'une longueur de 3,5 Km, relie la gare de triage de HAMMADI KROUMA au pôle hydrocarbures et dessert actuellement le complexe plastique CP1K qui se trouve en face du terrain prévu pour le complexe LAB.
- Le port pétrolier se situe au nord-ouest de la plate-forme hydrocarbures; il a été réalisé en 1972, il comprend une jetée principale de 1875 m et une jetée secondaire de 650 m; Les ouvrages d'accostage au nombre de 8 sont réservés pour 7 d'entre eux aux hydrocarbures dont 03 postes pétroliers et appontements (méthaniers, aromatiques, butaniers) et un quai commercial de 240 m de longueur destinés aux navires type général cargo. Il comporte en outre un port de servitude pour unités de remorquage et de pilotage.

### **V- Les coproduits (16):**

- **Alkylat Lourd** : l'alkylation produit de petites quantités d'alkylat lourd (5-8%). Ce sous produit est une huile jaune pâle de basse viscosité, principalement du dialkylbenzènes, résultant de l'alkylation des LAB. C'est une bonne huile de transfert thermique, elle peut être employée en tant que fluide ou agent mécanique d'émulsifiant, dû à son excellente stabilité thermique.



**Dialkylbenzène**

- **Light end (unités d'hydrotraitement et Pacol)**: cette fraction composée des hydrocarbures C<sub>4</sub> à C<sub>9</sub> est envoyée vers le bac du brut de la raffinerie.
- **Heavy polymers (unité Detal)**: Il est composé de plusieurs noyaux aromatiques, existe en très faible quantité, Il est ajouté en petite quantité au fuel utilisé comme combustible.

## **VI- Produits de retour vers la raffinerie (24):**

### **VI-1 Vers le bac du kérosène**

- a) Le produit de tête de la colonne de préfractionnement qui est la fraction la plus légère du kérosène. Elle représente 26% du courant d'alimentation.
- b) Le produit de fond de la colonne de préfractionnement qui est la fraction la plus lourde du kérosène d'alimentation. Elle représente approximativement 13% du courant d'alimentation.
- c) Le raffinat qui est un produit provenant de fond de la colonne de raffinat de l'unité **Molex**

Ce flux "retour" peut être utilisé dans le pool du jet car ses spécifications ne sont pas trop altérées par l'extraction des n-paraffines; il est aussi débarrassé de beaucoup de composés qui ont un effet négatif sur ses spécifications: la stabilité thermique augmente, les aromatiques et taux de soufre sont réduits et la séparation de l'eau sera améliorée:

- Les dépôts formés à des températures élevées sont diminués dans le système, l'hydrotraitement améliore la stabilité thermique du carburant en enlevant les composés instables qui peuvent former des produits de polymérisation en présence d'oxygène.
- L'autre caractéristique importante du combustible est le contenu en aromatiques, les aromatiques brûlent mal par rapport à d'autres hydrocarbures et peuvent causer des dépôts dans le moteur et affecter ainsi la vie de certains composants de la chambre de combustion.

Les aromatiques du flux de retour de la section de préfractionnement restent inchangés par rapport à l'alimentation. Le contenu en aromatique du raffinat **Molex** peut être envoyé vers un hydrotraitement pour une saturation.

- Le soufre élémentaire, H<sub>2</sub>S et les oxydes de soufre augmentent la corrosivité; Les mercaptans donnent une odeur désagréable au jet, détériore les élastomères et augmentent la corrosivité. La composition en soufre du flux de retour a été significativement baissée par l'hydrotraitement et aura ainsi un effet positif sur la qualité du jet.

- le kérosène peut conserver les gouttelettes et des brumes d'eau en suspension selon la présence de traces d'impuretés superficielles et actives comme le sulfonique et des acides naphténique et leurs sels du sodium. Ces impuretés superficielles peuvent graduellement mettre hors service le filtre coalescent qui permet de débarrasser le carburant de son eau; l'hydrotraitement améliore les caractéristiques de séparation d'eau par le traitement de ces acides.
- Le pouvoir lubrifiant du kérosène est aussi important pour le mélange, il y a de nombreux rapports dans la littérature qui montrent que l'hydrotraitement diminue la lubricité à cause de la diminution de composés polaires dans le carburant tel que les acides carboxyliques ou le soufre, cette diminution revient aussi aux molécules qui aident dans l'amélioration de la lubricité du carburant et qui ont tendance à être de poids moléculaire élevé. Ces molécules doivent se concentrer dans le fond de la colonne et seront introduits dans le mélange kérosène; le raffinat **MOLEX** sera donc enrichi des molécules de lubricité plus grande que celle de la paraffine qui a été enlevée.
- Le point de congélation qui est la caractéristique principale du kérosène est aussi amélioré, en effet les paraffines linéaires ont un point de congélation trop élevé, leur élimination ne fera que diminuer plus le point de congélation du kérosène retour.(24)

D'après une analyse UOP, dont les résultats sont montrés dans tableau IV.7 les spécifications du flux retour sont améliorées à l'exception du point de fumée.

**Tableau IV.7 : Caractéristiques des flux de retour (exemple typique)**

<b>Caractéristiques</b>	<b>Spécifications du kérosène</b>	<b>Kérosène de base</b>	<b>Flux de retour mélangés</b>
Aromatiques (%vol)	22 Max	19.7	16.9
Soufre (ppm)	150 Max	60	33
Mercaptans (ppm)	30 Max	5	2
Point Flash (°C)	38 min	44	45
Densité	775-8240	790	808
Point de fumée	25 mm min	27.5	23.4

Source : (24)

## **VI-2 Vers le bac du brut**

Ce sont des hydrocarbures de l'ordre de C<sub>4</sub> à C<sub>9</sub>, produits de tête de l'unité d'hydrotraitement et de l'unité **Pacol**.

## **VII- Considérations environnementales:**

L'évaluation environnementale est un processus qui vise la prise en compte des incidences d'un projet sur l'environnement tout au long des phases de sa réalisation, depuis sa conception jusqu'au réaménagement éventuel du site en passant par l'exploitation.

Pour se faire, une description détaillée sera fournie par l'exploitant; les informations nécessaires à toute étude préliminaire sont d'une part une description du milieu récepteur, et d'autre part des informations propres au projet.

Le milieu récepteur qui est dans notre cas la zone industrielle de Skikda doit fournir (27):

- Les cartes permettant de localiser le projet;
- Le plan de l'occupation du sol de la zone;
- La topographie et le microclimat locaux;
- La qualité de l'air;
- L'étude du réseau hydrographique (cours d'eau, qualité, régime hydraulique,...);
- L'étude du sol, du sous-sol et des eaux souterraines;
- Les capacités d'équipements et d'infrastructures publics (électricité, eau de distribution, station d'épuration, routes, chemin de fer, voies d'eau,...);
- Le cadre humain (densité d'habitats, zones résidentielles, commerciales,...).

En contre partie l'exploitant doit fournir au milieu récepteur:

- Une description de l'organisation générale de la société;
- Une description générale des installations;
- Un plan de situation (implantation des équipements, bâtiments, stockages de matières premières, produits finis et sous-produits, déchets, produits dangereux,...);
- Une description détaillée des procédés de production à l'aide de schémas blocs;
- Une description des matières premières, des produits intermédiaires et des produits finis;
- Une description des utilités (eau, énergies, fluides, maintenance, équipements périphériques, traitement des effluents). (27)

Le complexe des LAB doit répondre aux règles et normes environnementales applicables en Algérie pour la décharge des eaux résiduaires, les émissions d'air et les déchets solides. (voir annexe 02).

Une évaluation préliminaire d'incidences sur l'environnement élaborée par des organismes spécialisés pour ce type de projet prouve qu'il n'y a aucun impact défavorable sur l'environnement pendant la construction et l'exploitation de ce complexe. (voir annexe 03)

### **VIII-Déchets du complexe :**

Le complexe produit des décharges liquides et gazeuses:

- Les émissions dans l'atmosphère à partir des unités process est liée surtout à la mise en marche ou arrêt des unités pour entretien des équipements, ces gaz avec les décharges des soupapes de sécurité sont conduits vers la torche (contrairement à **Detal**, avec la technologie HF, une unité supplémentaire de lavage de gaz est nécessaire afin de traiter les gaz acides);
- Les émissions dues à la combustion du fioul dans les fours, les chaudières... ;
- Les émissions en benzène provenant des bacs de stockage; ces émissions sont limitées par l'adoption des bacs à toit flottant à double joint ou bacs à toit fixe équipés d'un toit flottant interne à joints haute performance avec des conduites de retour de vapeur pour les bacs à toit fixe et captage de la vapeur lors des opérations de chargement/déchargement. La concentration du benzène sera contrôlée par des détecteurs placés sur tout le site.
- La basse pression de vapeur des LAB et les commandes utilisées dans sa fabrication limitent son émission dans l'air.
- Les liquides engendrés par le complexe seront soit mélangés au brut ou au jet fuel dans les bacs de stockage au niveau de la raffinerie tel que le Light End des unités Hydrotraitement et **Pacol** ou utilisé comme combustible (alkylat très lourd provenant de **Detal**).

<b>Matières premières en t/an</b>	
Kérosène	732 600
Benzène	25 500

<b>Produits finaux et coproduits en t/an</b>	
LAB	75 000
n-Paraffines	60 000
Alkylat Lourd	6 000
Produits Légers	4 500

<b>Utilités</b>	<b>Unité</b>	<b>Unité paraffines</b>	<b>Unité LAB</b>
Electricité	MWh/t	0,19	0,29
Vapeur	t/t	0,5	0,02
Eau de refroidissement	Km <sup>3</sup> /t	0,012	0,007
Fuel combustible	Gj/t	16,0	18,6
Catalyseurs	\$/t	15	20

## **IX-Evaluation économique**

La réalisation du projet LAB semble intéressante par rapport à la disponibilité de la charge, des utilités et des infrastructures indispensables pour toute implantation nouvelle.

Ajouté a cela un marché national et régional (maghrébin) de plus en plus consommateur de la matière. Ces facteurs sont nécessaires mais pas suffisants pour une décision d'investissement.

Avant de procéder à la réalisation d'un projet plus au moins complexe; la première préoccupation de l'industriel consiste à savoir s'il sera ou non rentable de le concrétiser, en d'autre terme s'il générera ou non des bénéfices une fois réalisé.

Les moyens de mesure de cette rentabilité sont nombreux: la valeur actuelle nette (VAN), le taux de rentabilité interne, le temps de retour, ...

### **1-Hypothèses de travail**

<b>Hypothèses économiques</b>	
Taux d'actualisation	12%
Taux d'inflation	2.5%
Taux d'imposition (IBS)	38% sur le chiffre d'affaire
Taxe sur Activité Professionnelle (TAP)	2% sur 70% du chiffre d'affaire marché local
Maintenance	3% de l'investissement
Durée d'amortissement (ans)	10
Durée de vie du projet (ans)	20

<b>Hypothèses de financement</b>	
Taux d'emprunt	70% du coût de l'investissement
Taux d'intérêt	5%
Durée de remboursement (ans)	8

<b>Monnaie &amp; Taux de change</b>	
Monnaie de l'étude :	M\$
1 US\$ / DA	80

<b>Echancier de réalisation projet (sur 03 ans)</b>	
1 <sup>ère</sup> année	25 %
2 <sup>ème</sup> année	30 %
3 <sup>ème</sup> année	45 %

Cadence de la production	
1 <sup>ère</sup> , 2 <sup>ème</sup> et 3 <sup>ème</sup> année	70%, 90% et 100%
N <sup>bre</sup> de jour de fonctionnement	333 jours (8000 heures)
Coût de l'investissement (M\$)	205

## **2- Données de base**

### **2-1 Bilan de matière :**

Les quantités en matières premières et produits finis sont calculées à partir du bilan UOP.

<b>Matières premières (t)</b>	
Kérosène	**
Benzène	0.34
<b>Produits (t)</b>	
LAB	1.00
N-Paraffines	0.80
Kérosène retour	**
Light End	0.07
Alkylats Lourd	0.08

\*\* La quantité en kérosène dépend de la composition en n-paraffines.

- Dans notre cas, les n-paraffines représentent 16% de la charge (kérosène); pour la production de 120 Kt de n-paraffines C<sub>10</sub>/C<sub>14</sub>, la quantité nécessaire en kérosène est de 732 Kt annuellement;
- La quantité du benzène nécessaire est de 25,5 Kt par an;
- Selon les fabricants locaux des détergents, le taux de croissance de la demande suivra la même allure que les années précédentes, il sera de 2 à 3%;
- Les n-paraffines sont destinées à l'exportation;
- Les alkylats lourd sont utilisés comme fluide thermique dans les radiateurs, dans l'industrie du caoutchouc et dans l'industrie du textile.

### **2-2 Investissement:**

On désigne par coûts d'investissement, toutes les dépenses qui ont lieu avant la mise en marche du complexe. L'estimation de l'investissement est généralement réalisée par des spécialistes ayant une solide connaissance du secteur.

Dans notre cas, la valeur de l'investissement a été tirée de l'étude élaborée par TECNON<sup>11</sup> pour le compte de l'Entreprise Nationale de l'Industrie Pétrochimique (ENIP) en 2000 actualisée pour l'année 2004<sup>12</sup>, elle est de **205 M\$**.

Cet investissement couvre les coûts de l'achat des équipements et de leur montage: équipements de procédé et des utilités. Les offsites (réservoirs, torche, pipes, système anti-incendie), l'instrumentation, l'électricité, l'isolation, les bâtiments, le génie civil (fondation, béton, travaux souterrains, routes d'accès et travaux associés), le terrain et les catalyseurs sont aussi inclus dans cet investissement.

### 2-3 Prix des charges et de vente des produits

Nous retiendrons, pour les charges et pour les produits, les prix suivants :

<b>Matières premières (\$/t)</b>	
<i>Prix marché international</i>	
Kérosènes	321
Benzène	529
<b>Produits (\$/t)</b>	
LAB	919
N-Paraffines	622
Alkylats Lourd	551

❖ Les prix internationaux du benzène et du kérosène sont tirés des cotations Icis-Lor<sup>13</sup>, la moyenne du prix sur les cinq dernières années est de 321\$/t pour le kérosène et 529 \$/t pour le benzène.

❖ Les prix des LAB et n-paraffines de 919 et 622 \$/t respectivement sont la moyenne des cinq dernières années (Petresa).

### 2- 4 Besoins en utilités

La consommation annuelle en utilités est calculée à partir des données UOP.

Les prix des utilités sont ceux appliqués à la zone industrielle de Skikda sauf pour les catalyseurs, le prix est propre au procédé UOP.

<sup>11</sup> Consultant des marchés pétrochimiques et de planification- Londres

<sup>12</sup> Chemical Engineering Index Cost Plant

<sup>13</sup> : Organisme spécialisé dans l'évaluation des prix des produits pétroliers et pétrochimiques.

<b>Consommation annuelle en utilités</b>	<b>Quantités</b>	<b>Prix U (\$)</b>	<b>Coût (M\$)</b>
<b>Catalyseurs/prdts chimiques</b>	--	<b>44,00</b>	<b>3,300</b>
Electricité (MWh)	44 550	27,00	1,203
Vapeur (t)	61 500	4,60	0,283
Eau de refroidissement (m <sup>3</sup> )	1 965 000	0,02	0,039
Fuel gaz (MMBTU/an)	2 745 000	0,52	1,427
Azote (Nm <sup>3</sup> )	1 200 000	0,12	0,144

## 2- 5 Mode de Financement

Toute réalisation d'investissement nécessite des sources de financement qui sont soit des fonds propres dont dispose l'entreprise gestionnaire du projet, ou des emprunts contractés auprès des organismes bancaire. Le mode de financement sera déterminé par les services financiers de l'entreprise chargée de réaliser le projet, mais généralement les fonds propres représentent 30% de la valeur de l'investissement.

<b>Coût de l'investissement (M\$)</b>	205
<b>Fond propre (M\$)</b>	61,5 (30%)
<b>Financement (M\$)</b>	143.5 (70%)
Taux d'intérêts (%)	5
Durée du remboursement (ans)	08

## 3- Rentabilité du projet

### 3.1 Critères de rentabilité:

- 1- On appelle valeur actuelle nette (VAN) la somme algébrique des valeurs actualisées de chacun des flux de trésorerie associés au projet, utiliser ce critère consiste à réaliser le projet si la VAN est positive.
- 2- Le taux de rentabilité interne (TRI) est la valeur de taux d'actualisation qui annule le revenu actualisé.
- 3- Le temps de récupération (POT) est la durée d'exploitation nécessaire pour que la somme des flux de trésorerie devienne positive.

### 3-2 Calcul de la rentabilité du projet

L'Algérie s'oriente progressivement vers une ouverture du marché, les prix à moyen et court terme seront inéluctablement alignés aux prix internationaux, ce qui nous a amené à calculer la rentabilité du projet en appliquant, pour les matières premières, les prix internationaux (§2.3).

### 3-2-1 Option 01 : Prix internationaux des MP.

Cette option peut être envisagée en partenariat pour le partage des risques, faciliter l'accès aux marchés mondiaux et la maîtrise de la technologie.

#### Cas de base :

- I = 205 M\$
- Prix du kérosène = 321 \$/t
- Prix du benzène = 529 \$/t
- Prix des LAB = 919 \$/t
- Prix des n-paraffines = 622 \$/t

#### 3-2-1-1 Calcul de la rentabilité (Option 01)

Le calcul de la valeur actuelle nette, de taux de rentabilité interne et du temps de retour ont été effectués sur Excel; on a obtenus les résultats suivants:

Option 01	Produit	Prix de vente (\$/t)	TRI (%)	VAN à 12% (M\$)	POT (ans)
	Paraffines	622	13.8	7.8	06
	LAB	919			

Le taux de rentabilité interne est faiblement supérieur au taux d'actualisation, cette valeur est influencée par plusieurs paramètres dont nous analyserons la sensibilité.

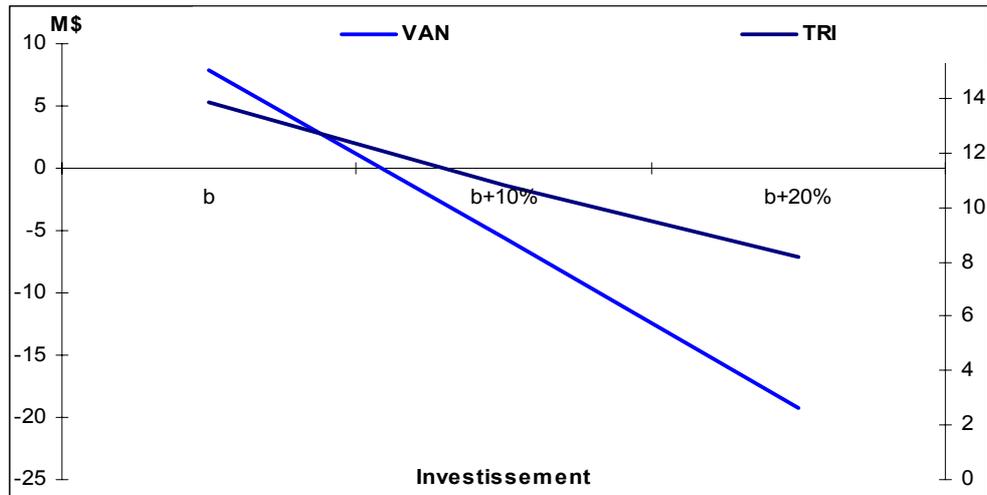
#### 3-2-1-2 Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité permet de voir qu'elle sera l'incidence de la variation d'un ou de plusieurs éléments composant ce projet (investissement, dépenses d'exploitation, prix de la charge...) sur la VAN et le TRI autrement dit sur sa rentabilité.

##### • Sensibilité à l'investissement:

	TRI (%)	VAN (M\$)	POT (ans)
Cas de base	13.84	7.83	06
(+15%)	10.46	-7.42	08
(+ 7.7%)	<b>12.0</b>	<b>0.00</b>	<b>08</b>

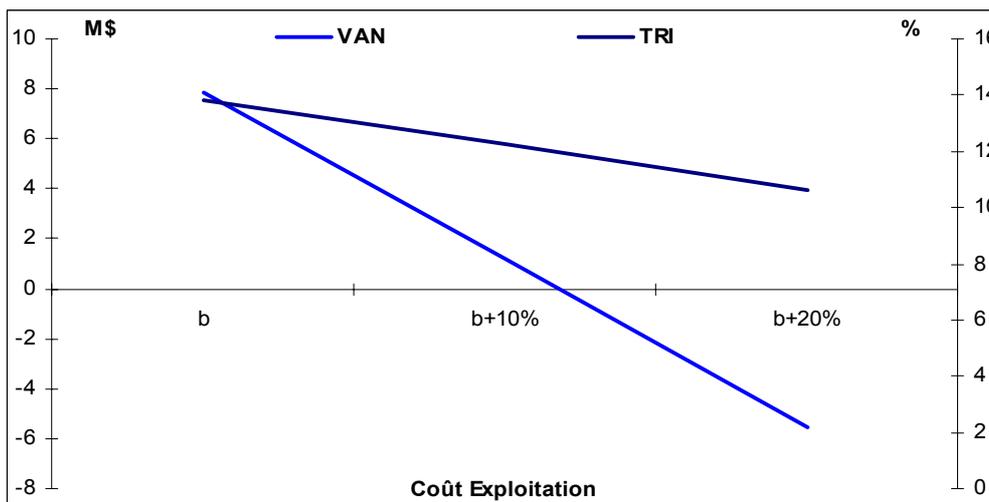
La valeur actuelle nette devient nulle pour une augmentation de 7.7% en investissement soit 1.08 fois l'investissement de base, valeur faible par rapport à l'écart tolérable dans l'estimation de l'investissement et qui peut atteindre les 30% dans un calcul préliminaire.



• Sensibilité au coût d'exploitation:

	<b>TRI (%)</b>	<b>VAN (M\$)</b>	<b>POT (ans)</b>
Cas de base	13.84	7.83	06
(-10%)	15.28	14.45	06
(+10%)	12.28	1.16	07
<b>(11.7%)</b>	<b>12.00</b>	<b>0.00</b>	<b>08</b>

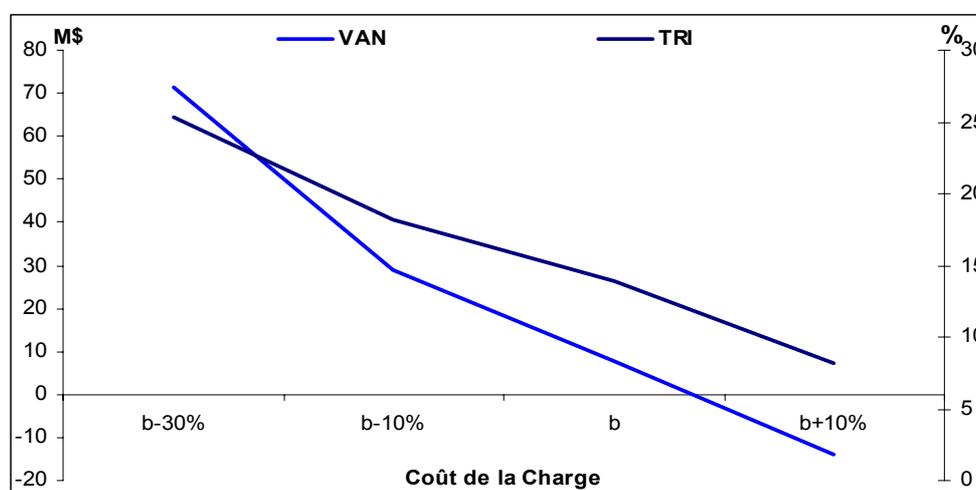
Le taux de rentabilité interne atteint son seuil (12.0%) et la valeur actuelle nette est nulle pour une augmentation en coût d'exploitation égale 1.11 fois le coût de base. Le projet est plus sensible au coût de l'investissement qu'aux coûts d'exploitations.



### • Sensibilité au prix de la charge

	<b>TRI (%)</b>	<b>VAN (M\$)</b>	<b>Temps de retour (ans)</b>
Cas de base	13.84	07.83	06
(-10%)	18.19	29.08	05
(+10%)	08.17	-13.87	08
(+3.65%)	<b>12.00</b>	<b>00.00</b>	<b>08</b>

La valeur actuelle nette sera égale à zéro et le TRI sera de 12% pour un prix du kérosène et du benzène égal à 1.03 fois le prix de base soit **332.71 \$/t** et **548.31 \$/t** respectivement.



L'analyse de sensibilité démontre que le projet est plus sensible au coût de la charge, en effet une diminution de 10% du coût des matières premières, donne un TRI supérieur de 5% par rapport au TRI de cas de base.

Au delà de 10% de diminution du coûts de la charge, la sensibilité est plus prononcée.

- Pour une diminution des prix de vente des produits finis de 1%, la VAN s'annule; en deçà d'un prix de n-paraffines de **591 \$/t** et un prix de LAB de **909.8 \$/t** le projet **n'est plus rentable**.

**Conclusion Option 01**

- ✓ La rentabilité du projet dans ce cas est faible (TRI=13,8%), il est ***réellement non rentable*** si nous prenons en considération le taux de variation en investissement, en coût de la charge et des prix de vente des produits finis admissibles: ces taux restent faibles pour une étude préliminaire, pour laquelle, l'écart dans l'estimation de l'investissement peut atteindre les 30% par rapport au cas de base et l'écart dans l'estimation des coûts de la charge peut atteindre les 10% par rapport au cas de base.
- ✓ L'étude de sensibilité, fait ressortir que le facteur qui influe le plus sur la rentabilité du projet est le coût de la charge.
- ✓ Si nous prenons en considération, la nouvelle ordonnance (n°06-08 du 15 juillet 2006) qui apportait des modifications en matière d'avantages fiscaux, au profit des investisseurs, par exonération totale des droits de douanes, pour tout équipements et services importés destinés à la réalisation de l'investissement, une exonération sur trois ans de l'impôt sur les bénéfices de la société - IBS- et de la taxe sur le chiffre d'affaires -TAP- nous aurons les résultats suivants:

<b>TRI (%)</b>	<b>VAN à 12% (M\$)</b>	<b>POT (ans)</b>
<b>16,74</b>	<b>18.96</b>	<b>05</b>

Cette exonération en impôt et taxe pendant les trois premières années ne change pas beaucoup de la rentabilité du projet.

Nous avons voulu voir quelle sera la rentabilité du projet dans le cas où les prix des matières premières seront subventionnés par l'état; pour cela nous avons étudié une deuxième option.

### 3-2-2 Option 02 : Prix nationaux des MP.

- ❖ Sur le marché national, le prix du kérosène est un prix libre, cependant il est resté constant sur plusieurs années: 10 640 DA/t, un prix appliqué par AVM naftal. Selon le producteur de cette matière (Naftec), ce prix sera maintenu à court terme.
- ❖ Le prix du benzène est de 14 400 DA/t, la commercialisation de ce produit est à la charge de Sonatrach.

Les prix du kérosène et du benzène sur le marché national sont donc de 130 \$/t et 180 \$/t respectivement, ces prix sont ceux de la commercialisation sur le marché intérieur, le prix sortie raffinerie est bien évidemment inférieur, cependant et vu la confidentialité de cette information, le calcul économique sera effectué en prenant le prix AVM naftal et le projet ne pourra être que plus rentable avec les prix réels des matières premières.

#### 1. Cas de base :

- I = 205 M\$
- Prix kérosène = 130 \$/t
- Prix benzène = 180 \$/t
- Prix LAB = 919 \$/t
- Prix n-paraffines = 622 \$/t

#### 3-2-2-1 Calcul de la rentabilité (Option 01)

	Produit	Prix de vente (\$/t)	TRI (%)	VAN à 12% (M\$)	POT (ans)
Option 02	Paraffines	622	34.5	137.2	02
	LAB	919			

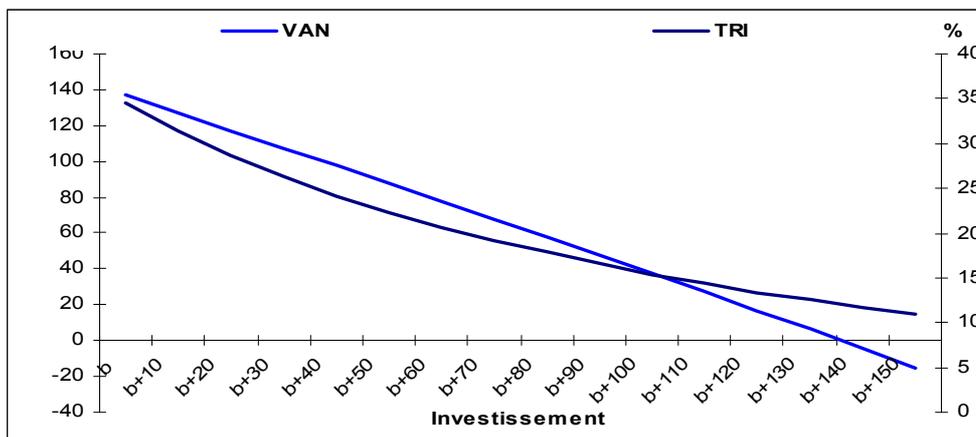
L'application de ces prix (prix nationaux pour les matières premières) rend le projet très rentable avec un taux de rentabilité (TRI=34,5) significativement supérieur au taux d'actualisation.

### 3-2-2-2 Analyse de sensibilité

- Sensibilité à l'investissement:

	<b>TRI (%)</b>	<b>VAN (M\$)</b>	<b>POT (ans)</b>
Cas de base	34.56	137.23	02
(+15%)	29.97	122.36	03
(+30%)	26.28	107.48	03
<b>(+136%)</b>	<b>12.00</b>	<b>00.00</b>	<b>08</b>

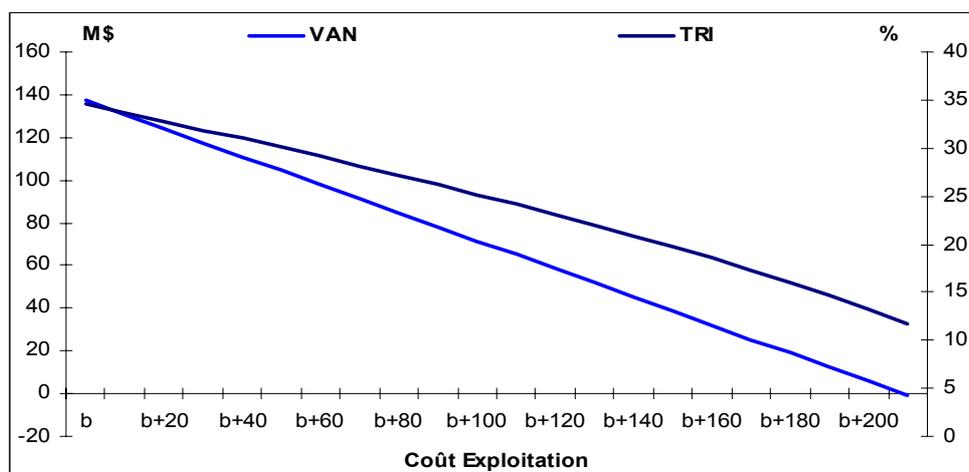
L'augmentation en coût d'investissement de 30% (valeur max dans un calcul préliminaire) ne change pas de la rentabilité du projet; la valeur actuelle nette sera nulle pour un investissement **2.36** fois plus que l'investissement de base.



- Sensibilité au coût d'exploitation :

	<b>TRI (%)</b>	<b>VAN (M\$)</b>	<b>POT (ans)</b>
Cas de base	34.56	137.23	02
(-10%)	35.42	143.79	02
(+10%)	33.68	130.67	02
<b>(+ 208%)</b>	<b>12.00</b>	<b>00.00</b>	<b>08</b>

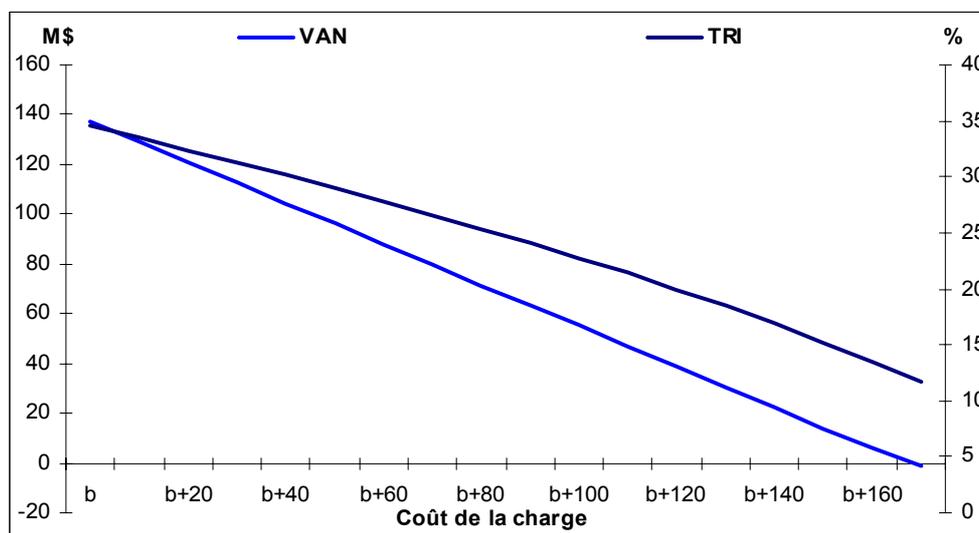
La variation des coûts d'exploitation a peu d'influence sur la rentabilité du projet. La valeur actuelle nette s'annule pour une augmentation en coût d'exploitation égale **3.08** fois le coût de base.



• Sensibilité au prix de la charge

	TRI (%)	VAN (M\$)	POT(ans)
Cas de base	34.56	137.23	02
(+10%)	33.49	129.03	02
(+30%)	31.30	112.63	02
(+166.5%)	<b>12.00</b>	<b>00.00</b>	<b>08</b>

La valeur actuelle nette sera égale à zéro pour des prix de benzène et kérosène de **478.8 \$/t** et **345.8 \$/t** respectivement soit 166 % du prix local.



### **Conclusion Option 02**

- ✓ L'analyse de la rentabilité du projet pour cette option, pour laquelle nous avons émis l'hypothèse que les prix des matières premières seront des prix subventionnés, (dans le calcul nous avons pris les prix du marché local), donne un projet largement rentable (TRI= 34.56, VAN = 137).
- ✓ Le projet est peu sensible au coût de l'investissement et aux coûts d'exploitation.
- ✓ Nous avons, par rapport à l'option 01, un faible prix de la charge ce qui a permis d'avoir un TRI nettement supérieur au taux d'actualisation. Nous confirmons, de ce fait, que le prix de la charge est le facteur essentiel à prendre en compte pour la réalisation de ce projet.
  
- ✓ Si les prix des LAB et n-paraffines auront tendance à diminuer, (par chute de prix du pétrole) ils ne seront jamais inférieurs - selon des études élaborées par des bureaux d'analyse de marché et étude des prix - à 800 \$/t et 500 \$/t respectivement. Pour que la valeur actuelle nette s'annule, pour cette option, le prix des LAB et paraffines doivent être inférieurs à **592.75** et **401.19 \$/t** respectivement. De ce fait le projet reste toujours rentable.

## **Conclusion Générale**

Le but de ce travail était de vérifier l'opportunité de réaliser un complexe pétrochimique de production des alkylbenzènes et n-paraffines à la zone industrielle de Skikda.

Après avoir analysé les marchés en terme d'offre et de demande nous portons les conclusions suivantes quant à la consommation des LAB (à partir de la consommation en LAS):

✚ Les LAS représentent actuellement **50%** de la production mondiale en tensioactifs; le reste est principalement synthétisé à partir des alcools gras, des intermédiaires chimiques issus à 50% de ressources naturelles.

✚ Le coût des tensioactifs à bases oléochimiques reste élevé à court et moyen terme pour une substitution totale des LAS.

✚ Dans les pays en voie de développement, le LAS, restera le tensioactif le plus utilisé à court et moyen terme, et sa consommation progressera avec la croissance de la demande en poudres conventionnelles. Cette progression est sentie surtout en Chine et dans les autres pays d'Asie de l'Est suivi d'Amérique Latine.

✚ La demande en LAS, dans la région maghrébine et de l'Afrique subsaharienne, restera importante à court et moyen terme et aucun changement quant au type des tensioactifs utilisés actuellement n'est envisageable.

*La demande en LAB sera ainsi maintenue à court et moyen terme ; elle sera plus importante dans les pays en voie de développement: Asie de l'Est, Amérique Latine, et l'Afrique; et selon les nouveaux schémas du marché mondial, les unités seront en plein production dans les années à venir, ce qui fera du marché des LAB un marché équilibré voire même excédentaire.*

✚ Le taux de croissance de la demande en n-paraffines, dont nous n'avons pas exposé le marché d'une manière détaillée, (par manque d'information sur ce produit et absence de toutes documentations spécialisées dans leurs applications et commercialisations à l'échelle mondiale), seront dirigées vers l'exportation; le taux de croissance de la demande mondiale est de 3% par an suivant ainsi la tendance des marchés des détergents (première utilisation) et celui des polymères, résines ... etc.

Des rapports publiés sur la production des n-paraffines à partir des GTL montrent que ces unités pourraient fournir des quantités complémentaires importantes vers la fin de la décennie et que les LAS résultants sont aussi biodégradables que les LAS produits à partir des n-paraffines extraites du kérosène. Cette situation bien qu'elle ne soit pas encore établie présentera un inconvénient majeur pour ce qui est des n-paraffines extraites à partir du kérosène

Pour ce qui est de la rentabilité de ce projet, le calcul économique fait ressortir les résultats suivants:

✚ Il n'est pas opportun de réaliser le projet, dans le cas où les prix des matières premières s'aligneront aux prix internationaux.

✚ Il ne peut être réalisé que si les prix des matières premières seront subventionnés par l'état. Le projet sera dans ce cas rentable, son taux de rentabilité interne (34.8%) est nettement supérieur au taux d'actualisation.

✚ Ces prix seront applicables dans l'éventualité où la tutelle jugera de l'intérêt économique du projet (meilleure valorisation du kérosène).

✚ Dans le cas, où l'entreprise chargée de réaliser ce projet opte pour un partenariat international, elle devra définir le prix des matières premières, la fiscalité appliquée, la technologie et le montage d'affaire, (société de production et (ou) commercialisation). Il est préférable que le partenaire soit un leader du marché, qui sera de ce fait, chargé de commercialiser le produit sans nécessité de créer une joint venture pour la commercialisation. (**Offtaker**).

Le défi principal pour l'Algérie aujourd'hui est de mettre en place une véritable stratégie nationale de développement de la pétrochimie, fondée sur les avantages comparatifs. À cet égard, le renforcement des outils d'analyse des marchés et de maîtrise des technologies pétrochimiques est indispensable ce qui permettra de définir les projets pétrochimiques à retenir au cours d'une étape de transition d'un système économique centralisé à une économie de marché.

## Références Bibliographiques

**(1) G.HONS**

"Alkylarylsulfonates: History, Manufacture Analysis and environmental proprieties"- organic chemistry, Surfactant science series vol.56 Ch.2, édition **H.W. STACHE** Huls AG. Allemagne - 1997.

**(2) M.A.Schultz & autres**

Reduce Costs with Dividing-Wall Columns - UOP - Mai 2002.

**(3) P.Wuithier**

"Raffinage et génie chimique" Tome 1 édition Technip -1972.

**(4) E. Koller**

"Génie chimique" édition Dunod -2001.

**(5) J.P.Mota**

"Adsorption Processes and Technology"

Departamento de Química, Centro de Química Fina e Biotecnologia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica, Portugal

[pmota@dq.fct.unl.pt](mailto:pmota@dq.fct.unl.pt)

**(6) Z. Lakroum**

"Préparation des tamis moléculaires mixtes" projet de fin d'étude, Ecole Nationale Polytechnique -Juin 1987

**(7) C.L. Cavalcante JR**

"Industrial adsorption separation processes: fundamentals, modeling and application"- Latin American Applied Research, federal de Ceara university, Brazil - Mai 2000.

**(8)B.Fell**

"Raw materials and intermediate products for anionic surfactant synthesis" - organic chemistry, Surfactant science series vol.56 Ch.1, édition **H.W. STACHE** Huls AG. Allemagne - 1997.

**(9) R. Amari**

"Contribution à l'adsorption des n-paraffines sur tamis moléculaires" projet de fin d'étude, Ecole Nationale Polytechnique -1978.

**(10) J.L.SALAGER**

"Surfactants; types et usage" Module d'enseignement en phénomènes interfaciaux - universidad de Los Andes, facultad de ingenie -Venezuela-2002.

**(11) N. Absi**

"Contribution à la récupération des n-paraffines sur des tamis moléculaires" thèse de magister, Ecole Nationale Polytechnique -Juin 1987.

**(12) J.Cross**

"anionic surfactants"- organic chemistry, Surfactant science series vol.73 Ch.1, édition **H.W. STACHE** Huls AG. Allemagne - 1997.

**(13) Nexant Chem Systems**

PERP Program-New report alert, Août - 2003.

**(14) : L. MARCOU**

"Alkylbenzènesulfonates", Technique de l'ingénieur, traité Génie des procédés.

**(15) HG.Hanthal**

"Dynamic surfactants and nanostructured surfaces for an innovative industry", 6<sup>th</sup> world surfactants congress, Berlin -2004.

**(16) TECNON (Uk) Ltd. Petrochemicals marketing and consultants planning**

"LAB feasibility study prepared for Alkco"- Mai 2000.

**(17) Entreprise Nationale des Détergents (ENAD).**

**(18) Colin and Houston**

"LAB report market" - décembre 2004.

**(19) Colin and Houston**

"LAB report market" - juin 2005.

**(20) Rapport Petresa- juin 2005**

**(21) U.S. Patent**

"Process for producing phenyl alkanes using an adsorptive separation section" -  
www.freepatentsonline.com

**(22) École Nationale Supérieure du Pétrole et des Moteurs (ENSPM)**

"Les aromatiques" formation industriel, France - Octobre 2003.

**(23) T. Ahmed Zaid**

"Contribution à l'étude de la fabrication de détergents à partir du pétrole et de ses dérivés" thèse de magister, Ecole Nationale Polytechnique - Avril 1990.

**(24) A. MCPHEE**

"Upgrading kerosene to normal paraffins", UOP LLC - 1998.

**(25) J.D.Sherman**

"synthetic zeolites" Colluquium paper - Acad. Sci. US Vol.96, Etats-Unis - Mars 1999.

**(26) Hydrocarbon Processing - Mars 2003.**

**(27) Entreprise de gestion de la zone industrielle de Skikda (EGZIK).**

Les références tirées d'une recherche Internet seront jointes en CD Rom

# **ANNEXES**

## **Annexe 01: Prix du pétrole, facteur de fixation de prix des LAB et des n-paraffines**

Au cours de ces dernières années, le prix du pétrole a fortement fluctué passant successivement de 16 \$/b en 1995 à plus de 52,2\$/b au premier semestre 2005 avec des pics à plus de 66\$/b.

Ces prix sont liés à la demande mondiale du pétrole qui ne cesse de croître depuis 10 ans sauf pour la période 2001-2003 liée à la stagnation économique qui a suivie les attentats du 11 septembre 2001. En effet, la reprise économique au niveau mondial et le fort développement de la zone Asie ont exercés une pression à la hausse sur le prix du brut, ajouté à cela la situation géopolitique incertaine qui a déstabilisé le marché. S'ajoutent à ces facteurs, l'accélération de la demande de produits pétroliers surtout les produits raffinés légers au détriment des fuels lourds; l'écart entre le prix du pétrole brut et celui du kérosène par exemple est passé de 7\$/b en 2003 à 15,3\$/b en 2005, soit une augmentation de 120%.

Les prix du pétrole brut sont déterminés donc en fonction de l'équilibre entre l'offre et la demande sur le marché mondial. L'interruption de l'approvisionnement peut également provoquer une escalade des prix.

Les spécialistes des questions énergétiques ont convenu que l'ère du pétrole bon marché était définitivement révolue, sauf récession mondiale et que le prix du pétrole ne devrait pas descendre en dessous d'un plancher que la plupart ont évalué à 40 dollars.

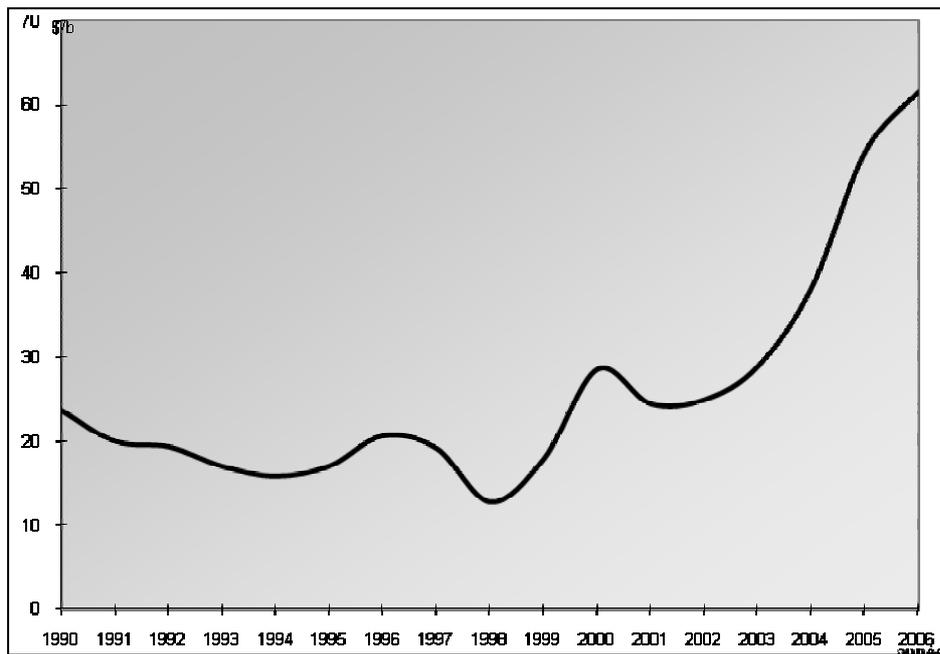
Dans le "World Economic Outlook" publié en avril 2005, le FMI retenait pour ses prévisions un prix qui devait passer de 45 dollars en 2005 à 34 dollars en 2010.

Dans la même revue au mois de novembre 2005, l'AIE estime dans son scénario de référence que le prix du pétrole s'élèvera à 35 dollars en 2010, 37 dollars en 2020 et 39 dollars en 2030.

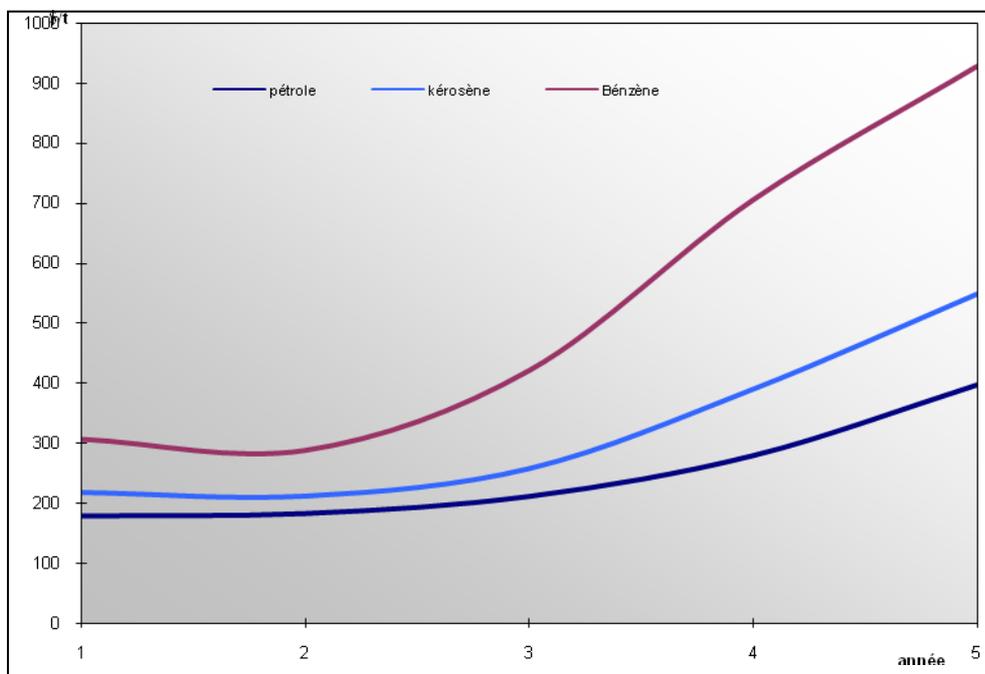
**Tableau 1: La variation du prix du brut**

<b>Année</b>	<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>
\$/b	23.65	19.97	19.31	17.00	15.82	17.04	20.65	19.11
<b>Année</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
\$/b	12.78	17.92	28.52	24.44	24.95	28.89	38.24	54.41

Source : platt's



La variation des prix du brut



La variation du prix du kérosène et benzène avec le prix du brut

## Annexe 02 : Réglementation Algérienne en matière de protection de l'environnement

Le tableau suivant donne les valeurs limites maximales des paramètres de rejet des installations de déversement industriels:

<b>Paramètres</b>	<b>Unités</b>	<b>Valeurs</b>
Températures	° C	30
pH	/	5.5 à 8.5
M.E.S	Mg/l	30
DBO <sub>5</sub>	Mg/l	40
DCO	Mg/l	120
Azote kjeldahl	Mg/l	40
Phosphates	Mg/l	02
Cyanure	Mg/l	0.1
Aluminium	Mg/l	5
Cadmium	Mg/l	0.2
Chrome 3 +	Mg/l	3.0
Chrome 6+	Mg/l	0.1
Fer	Mg/l	5
Manganèse	Mg/l	1
Mercure	Mg/l	0.01
Nickel	Mg/l	5
Plomb	Mg/l	1
Cuivre	Mg/l	3
Zinc	Mg/l	5
Huiles et graisses	Mg/l	20
Hydrocarbures	Mg/l	20
Phénols	Mg/l	0.5
Solvants organiques	Mg/l	20
Chlore actif	Mg/l	1.0
PCB	Mg/l	0.001
Détergent	Mg/l	2
Tensio - actifs anioniques	Mg/l	10

Source : Journal officiel N°46 du 10 juillet 1993

## **Annexe 03 : Les caractéristiques des LAB**

### **1- Biodégradation**

Les LAB subissent une biodégradation primaire, complète et rapide dans les eaux; leur moyenne de demi vie dans les eaux est de 4 jours (Gledhill et autres, 1991), dans le so, elle est de 3 à 4 jours et dans un sol imbibé d'hydrocarbures elle s'étale de 15 à 33 jours (Holt, 1992; Holt et Berstein, 1992).

La biodégradation anaérobie des alkylbenzènes à chaînes courtes tels que le toluène, le xylène et l'éthylbenzène a été montré (Zeyer et autres, 1986; Grvbic et Vogel, 1987; Wilson et autres, 1986; Major et autres, 1988; Kuhn et autres, 1988; Cozzarelli et autres, 1990); ainsi la biodégradation anaérobie du LAB se produit aussi mais sur un temps long (Takada et Ishiwatari, 1990).

Les dialkyltetralins et les isoalkylbenzènes sont également complètement biodégradables (Nielsen et autres, 1997; Cavalli et autres, 199ã; Cavalli et autres, 1996b).

Les installations de traitement des eaux usées élimine à 98% le LAB contenus dans les eaux usées (Gledhill et autres, 1991).

### **2- Photodégradation**

Les alkylbenzènes linéaires ne semblent pas subir la photodécomposition directe ou un changement chimique dans l'environnement. Une dégradation <1% s'est produite quand des solutions de LAB (dans l'acetonitrile) ont été exposés à la lumière du soleil directe pendant 14 jours (Gledhill et autres, 1991).

### **3- Exposition Humaine**

#### **3-1 Exposition professionnelle**

Les LAB sont produits et traités avec un minimum de contact direct. Les gants et autres matériels de protection sont employés lors de leur manipulation. L'exposition au LAB peut se produire pendant les activités courantes de fabrication qui incluent:

1. L'échantillonnage et la décontamination des équipements;
2. Chargement et déchargement du produit;
3. Analyse d'échantillon;
4. La manoeuvre des vannes, maintenance des pompes et la mesure des niveaux des réservoirs,

La durée d'exposition limite par activité est comme suit:

1. Prélevant, 0,25 -1 heure /jour pour 10 à 100 jour / an
2. Chargeur/déchargeur, 1-8 heure /jour 100-250 jour /an
3. Analyse d'échantillon, 1-8 heure /jour pour 100-250 jour /an (Radian Corp. et Versar, Inc., 1995).

La manipulation répétitive des LAB sans mesure de sécurité cause des irritations de la peau et des yeux, ils sont pratiquement non toxique, leur basse pression de vapeur limite leur inhalation.

**Contact avec la peau:** une application de LAB sur la peau intacte d'un lapin, et ce, pour une durée de quatre heures, n'a donné qu'une réaction dermique de petite à bien définie, il a provoqué un érythème de très léger à bien défini, avec et sans oedème de très léger à léger. L'irritation et l'oedème ont disparu après huit jours.

**Contact avec les yeux :** L'instillation du LAB dans les yeux d'un lapin n'a provoqué aucune opacification ni inflammation de la cornée, seule une conjonctivite bien définie a été observée. L'instillation de LAB a terni la cornée et a causé une conjonctivite évaluée de bien définie à modérée. Les yeux étaient redevenus normaux après cinq à sept jours.

**Par inhalation :** dû à sa faible volatilité, les risques d'inhalation de ce produit en situations normales sont faibles; une exposition prolongée à de fortes concentrations de vapeurs peut causer des maux de tête ou des nausées.

### **3-2 Exposition du consommateur**

L'exposition du consommateur au LAB peut se produire en raison des quantités résiduelles de LAB dans le LAS (estimées à 0,1 - 1%). La dose orale et cutanée combinée a été estimée  $6.1 \cdot 10^{-3}$  mg LAB/kg/jour (AIS, 1995; Union Européen, 1997).

### **4- Toxicologie**

Les LAB sont pratiquement non toxique, ils sont légèrement irritants pour les yeux et la peau, comme cité précédemment, cependant l'exposition répétitive à une concentration donnée (suivant la longueur de la chaîne) et pendant 28 jours cause des irritations prononcées de la peau, du nez et des yeux.

### **5- Effets Aquatiques**

Les alkylbenzènes linéaires, aux concentrations dépassant leurs limites de solubilité dans l'eau, n'ont eu aucun effet aigu sur toute l'espèce examinée par les chercheurs (Gledhill et autres, 1991).

*En conclusion; Les alkyls benzènes linéaires sont très peu susceptibles de présenter un risque sur la santé humaine. Les temps et niveaux d'exposition consommateur et professionnelle seront abaissés suivant les propriétés physiques et chimiques.*

## **Annexe 04 : Considérations environnementales et effets des LAS (16)**

La biodégradabilité de tous les agents tensio-actifs, y compris le LAS est régie par des normes et réglementations qui exigent que tous les agents tensio-actifs doivent être au moins à 90% biodégradables. Ces règlements sont relativement semblables dans le monde, la différence principale étant les méthodes d'essai par lesquelles la biodégradabilité est déterminée: en Europe, des procédures appropriées sont habituellement utilisées tandis qu'en Amérique du Nord, les méthodes ASTM et SDA (Soap and Detergent Association) sont employées.

La biodégradation primaire, ou fonctionnelle, et la biodégradation totale, ou ultime, des tensio-actifs ont été étudiées au moyen de tests de laboratoire. Au niveau réglementaire, un taux de biodégradation primaire supérieur à 90% est recommandé; les composés ayant un taux inférieur à 80 % sont interdits.

Des taux de biodégradation primaire supérieurs à 90% ont été généralement obtenus pour les LAS; par contre, les taux de biodégradation totale sont plus faibles: 65 à 95%. Ces mauvais résultats concernant la dégradation ultime des LAS ont été beaucoup discutés, ils ont notamment été obtenus pour des concentrations initiales élevées, et avec les LAS comme seule source de carbone dans le milieu de culture, ceci ne correspond pas aux conditions observées dans le milieu naturel.

La structure du groupement hydrophobe a une grande influence sur la biodégradation primaire des LAS; plus ce groupement est linéaire, plus la biodégradation est aisée, plus la longueur de la chaîne augmente, plus la dégradation tend à être rapide; les isomères "externes" (dont le groupement hydrophile est proche de l'une des extrémités de la chaîne alkyle) tendent à être dégradés plus rapidement que les isomères "internes".

Dans les effluents urbains, les concentrations en LAS varient entre  $10^{-3}$  et  $10^{-2}$  g/l avant épuration, et entre  $10^{-5}$  et  $10^{-3}$  g/l après épuration avec un traitement biologique. Le taux d'élimination dans les stations à boues activées est supérieur à 95%, dans de bonnes conditions de fonctionnement.

Il doit être noté que les concentrations environnementales de LAS varient largement, cette variation est liée aux méthodes d'analyses appliquées, des caractéristiques d'échantillonnage des sites, à la saison et à la consommation de LAS. Le contrôle environnemental montre qu'il n'y a eu aucune accumulation de LAS dans l'environnement et les concentrations dans le sol n'augmentent pas avec le temps.

### **Effets sur la santé humaine**

L'homme entre en contact avec les détergents dans diverses circonstances:

**1- L'ingestion**: qui peut se produire par accident avec l'absorption de petites quantités de surfactants, ou avec l'ingestion aussi d'eau de boisson et d'aliments contaminés suite à l'usage domestique de produits ménagers. Les LAS ingérés sont absorbés au niveau de l'intestin et passent dans le sang. Quand ils atteignent le foie, ils subissent une oméga-bêta-oxydation; les produits les plus hydrophiles

sont restitués au sang circulant, alors que les moins hydrophiles (les LAS intacts) passent dans la bile et retournent à l'intestin par les voies biliaires. Ils y sont réabsorbés dans le sang et font ainsi l'objet d'une nouvelle oxydation au niveau du foie. Les sulfophénylcanoates courts passent dans l'urine et sont excrétés avec d'autres sels hydrophiles. Tout le dioxyde de carbone formé lors de l'oxydation est pour la plupart exhalé au niveau des poumons après y avoir été transporté par le sang (Michael, 1968). En résumé, le métabolisme des LAS est rapide dans le foie, comme en témoigne la courte vie des surfactants et de leurs métabolites dans l'organisme, et il est complet puisque le surfactant originel est rarement récupéré dans l'urine.

Pour la plupart des surfactants anioniques, l'urine constitue la principale voie d'excrétion des métabolites. Les données indiquent aussi que les surfactants ne se retrouvent dans aucun des tissus de l'organisme autres que ceux associés aux mécanismes de détoxification et au processus d'excrétion.

L'ingestion orale de surfactants anioniques jusqu'à une dose de 1,0 g/kg de poids corporel est relativement inoffensive, et **Dreisbach et Robertson (1987)** estiment à 0,1-1,0 g/kg la limite maximale de sécurité chez l'enfant. Les symptômes les plus courants après ingestion sont les nausées ou les vomissements survenant peu de temps après.

Les autres symptômes comprennent une gêne abdominale occasionnelle et une distension intestinale. L'aspiration ou l'inhalation de poudres est à craindre surtout en raison de possibles complications pulmonaires. Les symptômes graves dus aux détergents signalés dans la bibliographie concernent principalement l'aspiration du produit ou bien les cas où les substances sont ingérées dans une intention suicidaire. En conclusion, l'ingestion de surfactants anioniques est généralement inoffensive si ce sont de petites quantités qui sont avalées. En revanche, ces substances ne doivent pas être considérées comme dénuées de tout risque, surtout dans l'éventualité de leur aspiration dans l'appareil respiratoire.

**2- Le contact**: qui peut se produire continuellement lors de l'utilisation de produits ménagers et de nettoyage. Une étude comparative de l'absorption de détergents dans la peau de cobaye a été effectuée; différents groupes étaient substitués sur l'hydrophobe, qui restait constant à 12 atomes de carbone. La nature du groupe de substitution s'est avérée être importante dans la détermination de l'ampleur de l'absorption percutanée.

Sur les composés anioniques examinés, le laurate de sodium a été le meilleur pénétrant tandis que le dodécyl sulfate de sodium et le dodécyl sulfonate de sodium donnaient l'absorption la plus faible avec  $13 \cdot 10^{-8}$  et  $9 \cdot 10^{-8}$  g/cm<sup>2</sup>, (0.1-0.6% de la dose administrée) respectivement. Pour chaque surfactant anionique, la pénétration était proportionnelle à la concentration appliquée et au nombre d'applications, mais elle augmentait plus progressivement lorsqu'on allongeait la durée du contact. Cependant il ressort de toutes les études effectuées sur l'absorption des surfactants anioniques que cette dernière est faible.

*En conclusion; les alkylbenzènes sulfonates sont écologiquement acceptables pour la formulation des détergents.*

## Annexe 05 : Définition des Termes figurants dans le calcul Economique

- 1) **Taux d'actualisation** : L'actualisation est une méthode qui permet de calculer la « valeur actuelle » (en  $t=0$ ) d'une somme à recevoir dans l'avenir, en  $t$ . (calcul de la dépréciation des flux futurs). Ce taux est toujours positif.
- 2) **Taux d'inflation** : Le taux d'inflation mesure la dépréciation monétaire.
- 3) **Taux d'imposition (Impôt sur les Bénéfices des Sociétés - IBS)** : Impôt direct appliqué sur les personnes morales (sur bénéfice net réalisé par l'entreprise).
- 4) **Taxe sur Activité Professionnelle** : Impôt direct appliqué sur le chiffre d'affaire de l'entreprise (sur 70% du chiffre d'affaire enregistré sur le marché local).
- 5) **Amortissement et durée d'amortissement** : Dépenses fictives destinées à compenser le vieillissement des équipements et la nécessité de les remplacer dans un temps bien défini.
- 6) **Durée d'exploitation (durée de vie)** : Nombre d'années pendant lesquelles l'investissement mis en exploitation génère des recettes et des dépenses.
- 7) **Taux d'emprunt** : La part de l'endettement par rapport à la somme investit (coût de l'investissement).
- 8) **Taux d'intérêt** : La rémunération des sommes prêtées (ce que rapporte cette somme dans l'unité de temps).
- 9) **Durée de remboursement** : Le temps au bout duquel l'entreprise doit payer toute la somme empruntée.
- 10) **Investissement** : Un investissement consiste en une dépense  $I$  en  $t=0$ , engendrant un flux de revenus  $F_t$  dans l'avenir, (depuis son étude préliminaire jusqu'à sa mise en marche). Dans notre cas, il couvre les coûts de l'achat des équipements et de leur montage: équipements de procédé et des utilités. Les offsites (réservoirs, torche, pipes, système anti-incendie), l'instrumentation, l'électricité, l'isolation, les bâtiments, le génie civil (fondation, béton, travaux souterrains, les routes d'accès et les travaux associés), le terrain et les catalyseurs sont aussi inclus dans cet investissement.
- 11) **Coûts variables** : Ce sont les coûts, liés à l'activité du projet, après sa mise en marche (les tarifs d'électricité, d'eau, le prix des matières premières ou matières consommables, les salaires) qui se trouveront facilement auprès des autorités compétentes.
- 12) **Coûts fixes** : il s'agit de frais du personnel, d'entretien, d'assurances, de taxes, de frais généraux : ils sont indépendants de la quantité produite.
- 13) **Cash flow brut**: est le total des produits moins les charges décaissées.
- 14) **Cash flow net** : C'est le cash flow brut après déduction des: remboursements, (avec frais financiers) et impôts.
- 15) **Cash flow actualisé** : C'est le cash flow net rapporté à l'année 0 (actualisé).
- 16) **Cash flow cumulé** : C'est la somme des cash flow net.
- 17) **analyse de sensibilité** : permet de déceler les variables auxquelles le résultat de l'investissement sera le plus sensible.
- 18) **VAN** : La valeur actuelle nette au taux  $a$  d'un investissement  $I$  engendrant les flux  $F_t$  est :

$$VAN(a, I, F_t) = -I + \sum_1^{\infty} \frac{F_t}{(1+a)^t}$$

- 19) **TRI** : Le taux de rentabilité interne d'un investissement est :  $TRI=r$  tel que  $VAN(r, I, F_t) = 0$

Si les  $F_t$  sont positifs,  $VAN$  est une fonction strictement décroissante de  $a$  et  $r$  est unique.

- 20) **POT**: Durée d'exploitation nécessaire pour que la somme des flux de trésorerie devienne positive.

## Annexe 06

### La demande en LAB de quelques pays africains

La demande en LAB de quelques pays d'Afrique centrale et subsaharienne a été donnée dans une étude de marché élaborée en 2000 par TECNON<sup>14</sup>.

<b>Pays</b>	<b>Demande en LAB (tonnes /an)</b>
Niger	4 000
Cameroun	5 700
Ghana	6 700
Soudan	12 800
Ethiopie	22 500
Kenya	11 800
Tanzanie	10 700
Zimbabwe	4 600

### La consommation en détergents en Algérie

<b>Années</b>	<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>
<b>Production (Kt/an)</b>	126	115	0.93	114	138	0.99	0.85	0.85	109

Source: données ENAD - Sour El Ghozlane- 2005

<sup>14</sup> TECNON Ltd (UK) : consultant pétrochimique et étude des marchés.