

**Cours de : Production de Matières
Premières et de Monomères**

PMPM (2020/2021)

Semestre 1

Unité d'enseignement	Matières	Crédits	Coefficient	Volume horaire hebdomadaire			Volume Horaire Semestriel (15 semaines)	Travail Complémentaire en Consultation (15 semaines)	Mode d'évaluation	
	Intitulé			Cours	TD	TP			Contrôle Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 1.1.1 Crédits : 8 Coefficients : 4	Thermodynamique appliquée	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Phénomènes de transfert II	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Fondamentale Code : UEF 1.1.2 Crédits : 10 Coefficients : 5	Chimie du pétrole et du gaz	2	1	1h30			22h30	27h30	100%	
	Procédés de séparation	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Production de matières premières et de monomères	4	2	3h00			45h00	55h00		100%
UE Méthodologique Code : UEM 1.1 Crédits : 9 Coefficients : 5	TP chimie du pétrole	4	2			3h00	45h00	55h00	100%	
	TP procédés de séparation	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Production de matières premières et de monomères	3	2			2h30	37h30	37h30	100%	
UE Découverte Code : UED 1.1 Crédits : 2 Coefficients : 2	Régulation et commande	1	1	1h30			22h30	2h30		100%
	Traitements de Surface	1	1	1h30			22h30	2h30		100%
UE Transversale Code : UET 1.1 Crédits : 1 Coefficients : 1	Anglais technique et terminologie	1	1	1h30			22h30	2h30		100%
Total semestre 1		30	17	13h30	4h30	7h00	375h00	375h00		

Semestre: 1

Unité d'enseignement: UEF 1.1.2

Matière 3: Production de matières première et monomères

VHS: 45h00 (Cours: 3h00) Crédits: 4 Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Le but de cet enseignement est de se familiariser avec les procédés d'obtention des matières premières et des monomères : pyrolyse, craquage thermique et catalytique, reforming, déshydrogénation, alkylation, isomérisation.

Contenu de la matière:

Chapitre 1

Étude des Procédés de séparation et d'obtention des hydrocarbures paraffiniques
Procédés de pyrolyse (steam cracking, visbreaking, pyrolyse avec initiateurs, hydropyrolyse, pyrolyse catalytique)

Chapitre 2.

Craquage thermique craquage catalytique reformage catalytique
(procédés IFP, Isomar, Parex, Cyclar,.).

Chapitre 3.

Procédés de déshydrogénation (obtention de butadiène, isoprène, styrène, etc.),
procédés d'alkylation (isoparaffines, alkylaromatiques).
procédés d'isomérisation (des paraffines et des aromatiques).

Chapitre1: Procédés de Séparation et de Pyrolyse

1- Procédés de séparation

1-1 Généralité sur le pétrole brut, GN et la pétrochimie.

1- le brut: un mélange d'une très grandes variétés de composés (organiques) purs. Ces fractions sont extrêmement difficile à décrire plus que l'atomes de carbone est élevés.

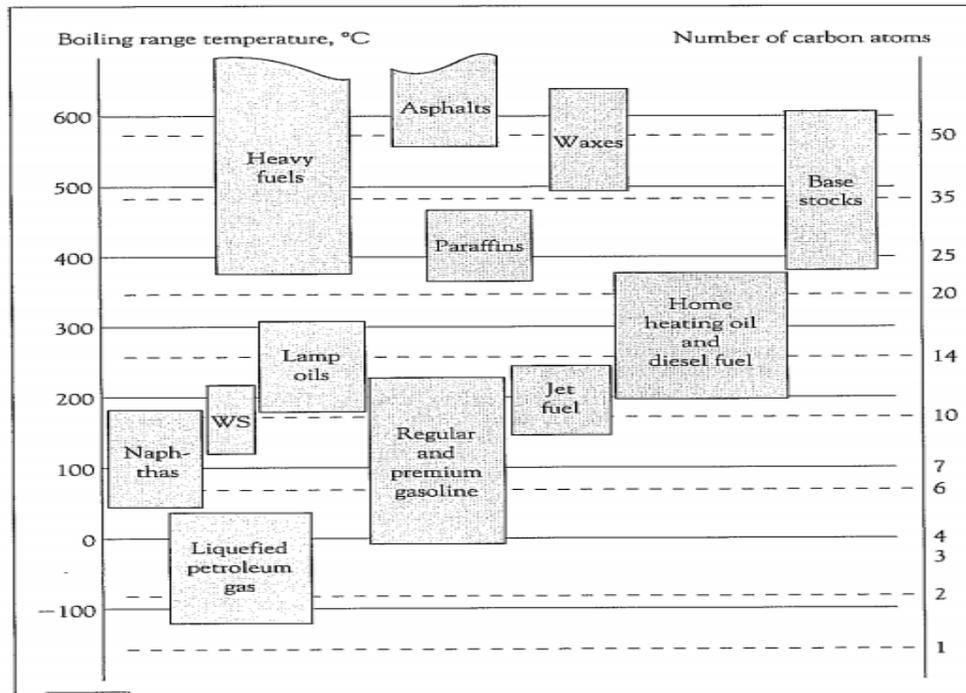


Figure 1.1

Principal petroleum products, their boiling range temperatures and their number of carbon atoms.
(Source: ENSPM-FI).

2- Hydrocarbures (HCs): constitue l'essentiel composé du pétrole, sa molécule ne contient que l'atome de carbone (C) et de l'hydrogène (H).

2-1 Familles chimiques d'HCs:

Un HC est constitué d'atome de C -----» tétravalence
 H-----» monovalence

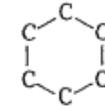
Paraffines 18 à 65% (C_nH_{2n+2}) --- » ane	Linière Parf.norm.	$CH_3-(CH_2)_n-CH_3$
<u>Saturés</u>	Ramifié Isoparf.	$CH_3-\underset{\substack{ \\ CH_3}}{CH}-CH_2-CH_3$

A- HCs aliphatiques

Insaturés

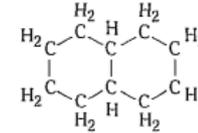
Oléfiniques ou éthyléniques (C_nH_{2n} , C_{2n-2} , C_{2n-4} ..	-Chaîne droite	
	1 (dl)=: Olf.norm;	$CH_2=CH-CH_2-CH_3$
	2 dl: Diolf;	$CH_2=C(CH_3)-CH=CH_2$
	3 dl: Acétylène	$C \equiv C$
	-Chaîne ramifiée iso olf.	$CH_3 \diagdown C=CH_2$ $CH_3 \diagup$

Saturés 25 à 90% (naphtènes) C_nH_{2n}



Cyclohexane
 C_6H_{12}

Exple



Décaline
 $C_{10}H_{18}$

B - HCs Cycliques:

Généralement des cycles
(noyaux) de 6 atomes
de carbones

Insaturés jusqu'à 15%

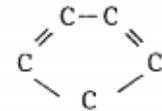
1 dl:

cyclohexène

2 dl:

Cyclopentadiene

C_5H_6



3dl:

Benzene

C_6H_6



C- Composés non HCs

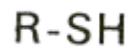
-Composés sulfurés: le soufre (S) peut être présent soit libre soit sous forme de molécules

Crude oil	Origin	Visc. mm ² /s	Asph. wt. %	O wt. %	N wt. %	S wt. %	Ni ppm	V ppm
Hassi Messaoud	Algeria	2.32	0.1	1.93	0.38	< 0.10	< 0.2	< 0.2

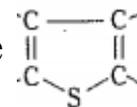
Hydrogène sulfuré



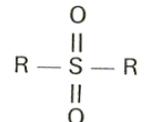
Les mercaptans



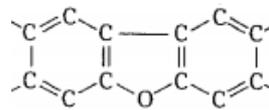
Thiophène



Sulfone



- **Composés oxygénés:** généralement avec des quantités moins que le soufre dans le brut. se présente sous forme de phénols Ar---OH, acides carboxyliques R---COOH , ester R---COO---R' , furane et benzofuranes



- **Composés azotés:** présent dans les fractions de point d'ébullition de plus de 250°C concentré dans les fractions résines et asphaltes
- **Composés organométalliques:** existent dans les fraction lourdes, Nickel et le Vanadium

2-2 Caractéristiques des HCs

Alcanes ou paraffines

- * C₁ à C₄ gazeux
- * C₅ à C₁₇ liquides
- * C₁₈ ---> solides

Totalement **non miscibles à l'eau**

Peu toxiques

Très inflammables, et volatils

Alcènes

- * C₁ à C₅ gazeux
 - * C₆ à C₁₈ liquides
 - * C₁₉ ---> solides.
- Insolubles dans l'eau.

Température d'ébullition un peu plus basse que celles des alcanes

C₂H₄ – Ethylène est le produit le plus important des alcènes non saturé

Très utilisé dans le secteur Pétrochimique

2-3 Classification du pétrole: Elle se fait en fonction de sa densité (d) par rapport à l'eau

- **Pétrole léger** si $d < 0,8$
- **Pétrole lourd** si $d > 1$.

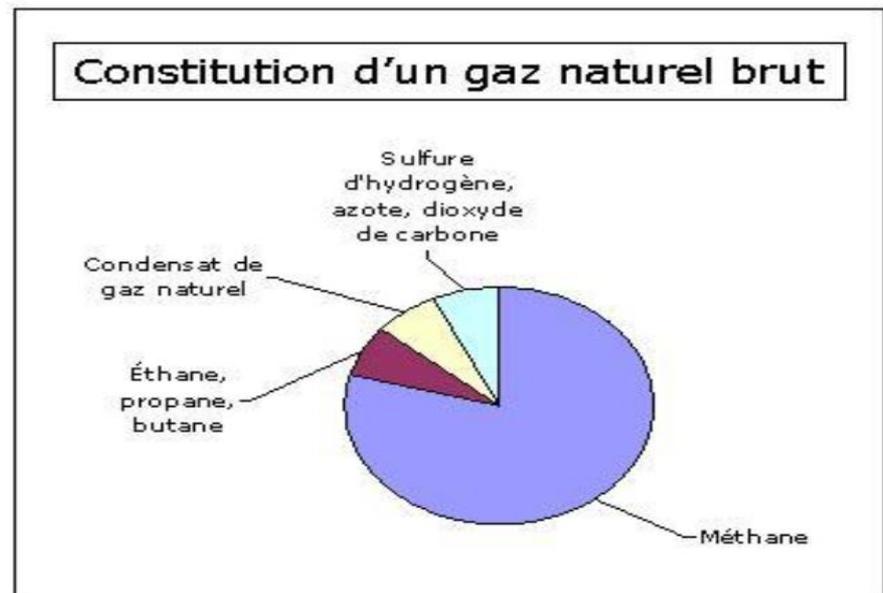
2- Le gaz Naturel: C'est un combustible fossile, composé d'un mélange d'HCs

Caractéristiques

- Incolore, Inodore,
- Contient entre 81 et 97 % de méthane,
- le reste est :
- **Alcane gazeux** : - Ethane
- - Propane
- - Butane
- **Sulfure d'H₂**
- **Azote**
- **CO₂**
- Moins dense que l'air : sa densité est de 0,6 par rapport à l'air et sa masse volumique est d'environ $0,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
- Se présente sous sa forme gazeuse au-dessus de -161 °C à pression atmosphérique,

- Son pouvoir calorifique supérieur
- (PCS) est d'environ $11,5 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$
- Pour des raisons de sécurité
- Un odorisant chimique, à base de tétrahydrothiophène (THT) ou de mercaptan (composé soufré), lui donne une odeur particulière afin de permettre sa détection lors d'une fuite

Composition du GN



La Pétrochimie Science qui s'intéresse à l'utilisation des composés chimiques de base issus du pétrole pour fabriquer d'autres composés synthétiques qui peuvent exister ou non dans la nature. Ces fabrications sont, en général, basées sur des réactions chimiques appropriées en présence ou non d'un catalyseur. Ainsi à partir du pétrole on peut fabriquer des matières plastiques de toutes sortes, employées ensuite comme matières premières dans les secteurs de la construction et dans l'industrie électrique, électronique, le textile, l'aéronautique et autres.



Cplx petroch. Arzew

Industrie Pétrochimique

- Secteur clé de l'industrie moderne. Il se développe considérablement surtout ces dernières années et permet de fournir des matières intermédiaires qui servent de base à la fabrication de nombreux produits Tels que :

- Plastiques, fibres textiles, adhésifs, détergents, cosmétiques, médicaments, emballage.

Le secteur est aussi un maillon indispensable de l'industrie dans de nombreux domaines d'activités (automobile, construction, informatique, santé..)

La pétrochimie connaît des perspectives nouvelles. Au niveau mondial, la demande croissante des pays asiatiques comme la Chine et l'Inde . Très utiliser donc dans les domaines de l'industrie , l'agriculture et la médecine

Structure de l'industrie pétrochimique: On distingue trois niveaux en pétrochimie:

- Obtention des molécules de base à partir des charges hydrocarbonées (coupes pétrolières ou gaz naturel)

- Transformation des molécules de base en intermédiaires de synthèse qui correspond au façonnage du squelette hydrocarboné et à l'introduction éventuelle des hétéroatomes

- Synthèse du produit final possédant les propriétés physiques et chimiques recherchées

Le développement rapide de l'industrie pétrochimique est dû principalement à l'utilisation comme matières premières des oléfines telles que : l'éthylène et le propylène.

La coupe naphtha obtenue à partir de la distillation atmosphérique. Cette fraction peut servir de charge à l'unité de vapocraquage (ou craquage à la vapeur)

Ce type de procédé permet de donner des produits insaturés qui peuvent se transformer en matières plastiques et d'autres produits cosmétiques et pharmaceutiques. En plus du pétrole, le gaz naturel peut également fournir des matières premières, du méthane et de l'éthane pour la pétrochimie

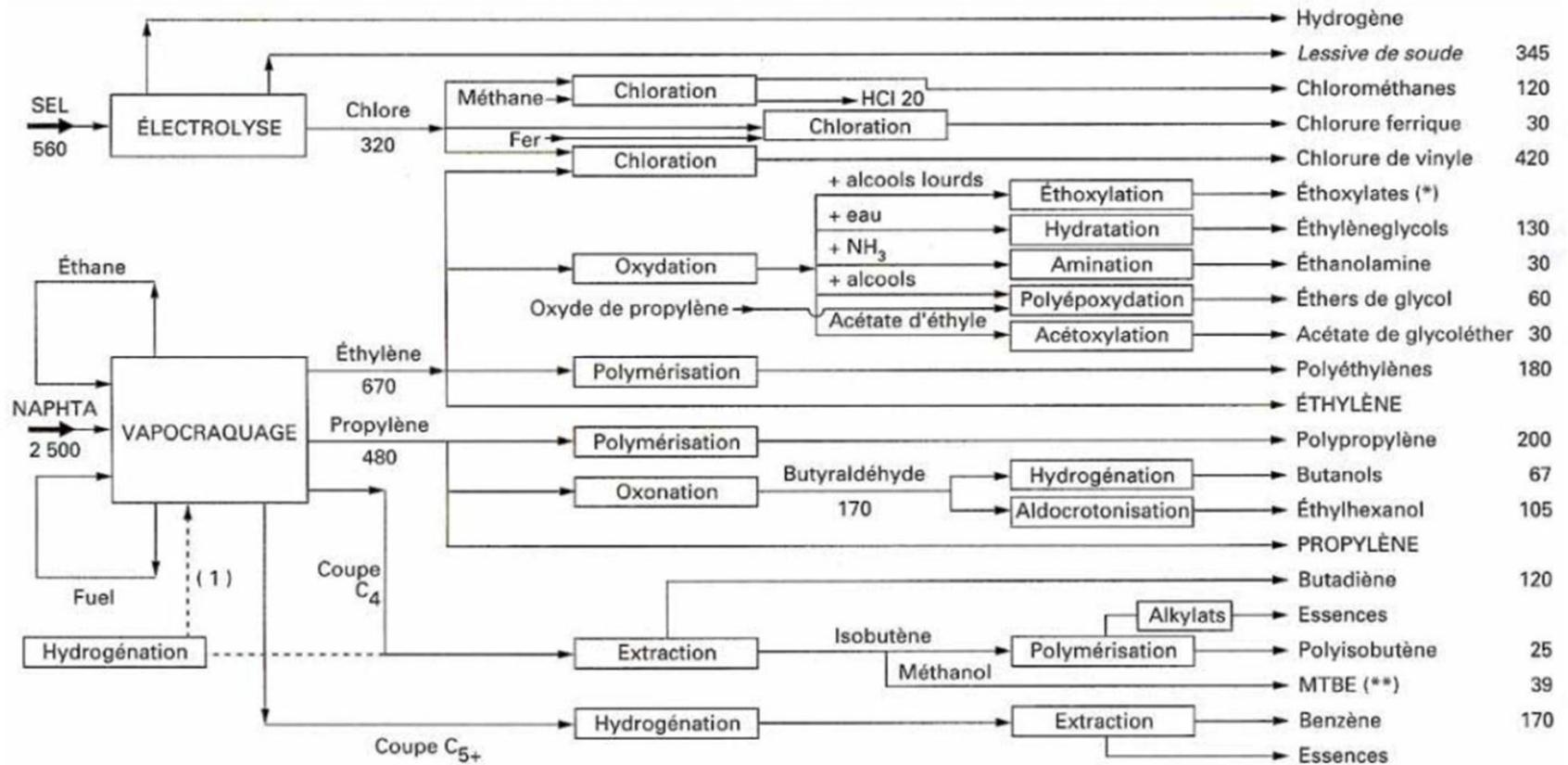
Les produits de la pétrochimie sont regroupés en différentes catégories :

les plastiques, les fibres, les élastomères, les détergents, les solvants et les engrais. Ces produits peuvent être répartis en deux groupes :

- Les produits que l'on utilise pour leurs **propriétés chimiques** tels que les engrais, les détergents, les solvants ;
- Les produits que l'on utilise pour leurs **propriétés mécaniques** tels que les plastiques, les élastomères et les fibres.

★ La pétrochimie est basée principalement sur deux types de procédés :

- le **craquage à la vapeur** qui permet d'obtenir des oléfines
- les **procédés d'extraction** utilisés pour extraire les aromatiques



(1) Recyclage éventuel de l'excès d'isobutadiène ou de butadiène préalablement hydrogénés.

(*) Éthoxylates : produits résultant de l'addition d'oxyde d'éthylène sur une oléfine (*éthoxylation*)

(**) MTBE = Méthyltertiobutyléther

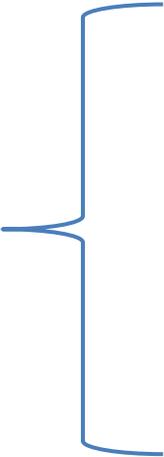
Les chiffres indiqués sont les quantités de produits en kt / an

Exemple d'un complexe pétrochimique centré sur le vapocraquage

Procédés de raffinage

- 1- Procédés de séparation (réduire la charge en fractions primaire)
- 2- Procédés de conversion (génération de nouvelles molécules avec les propriétés adaptables aux conditions d'utilisation)
- 3- Procédés de finitions (généralement par hydrogénation, consiste en élimination des composés indésirables)
- 4- Procédés pour la protection de l'environnement (traitement des effluents et de gaz)

Procédés de séparation (principaux):

- 
- **Distillation**
 - Absorption
 - Extraction
 - Cristallisation
 - Adsorption

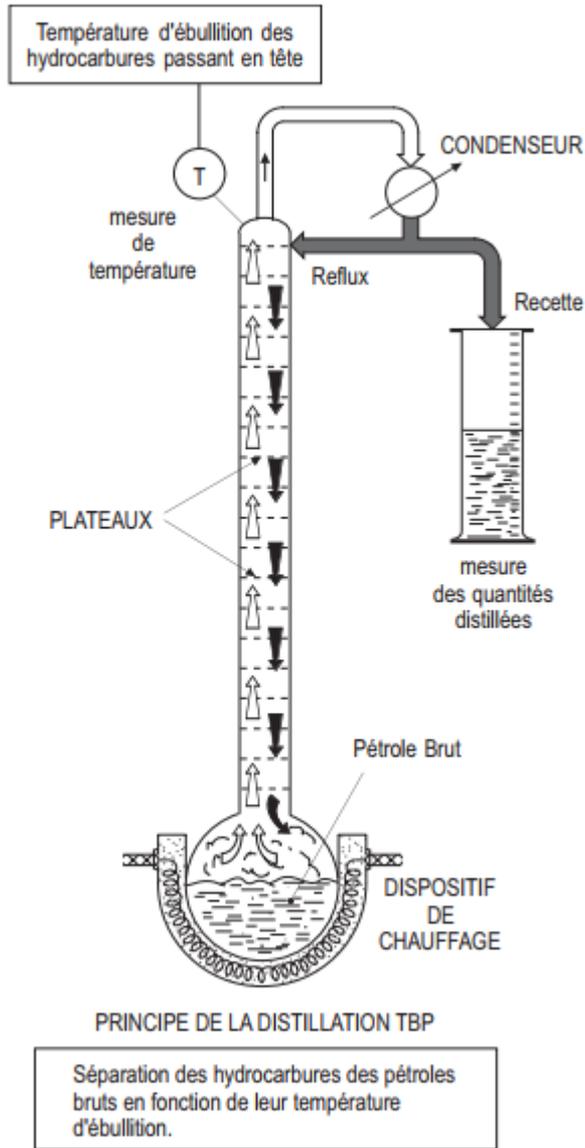
Procédés de séparation:

Distillation (description) :

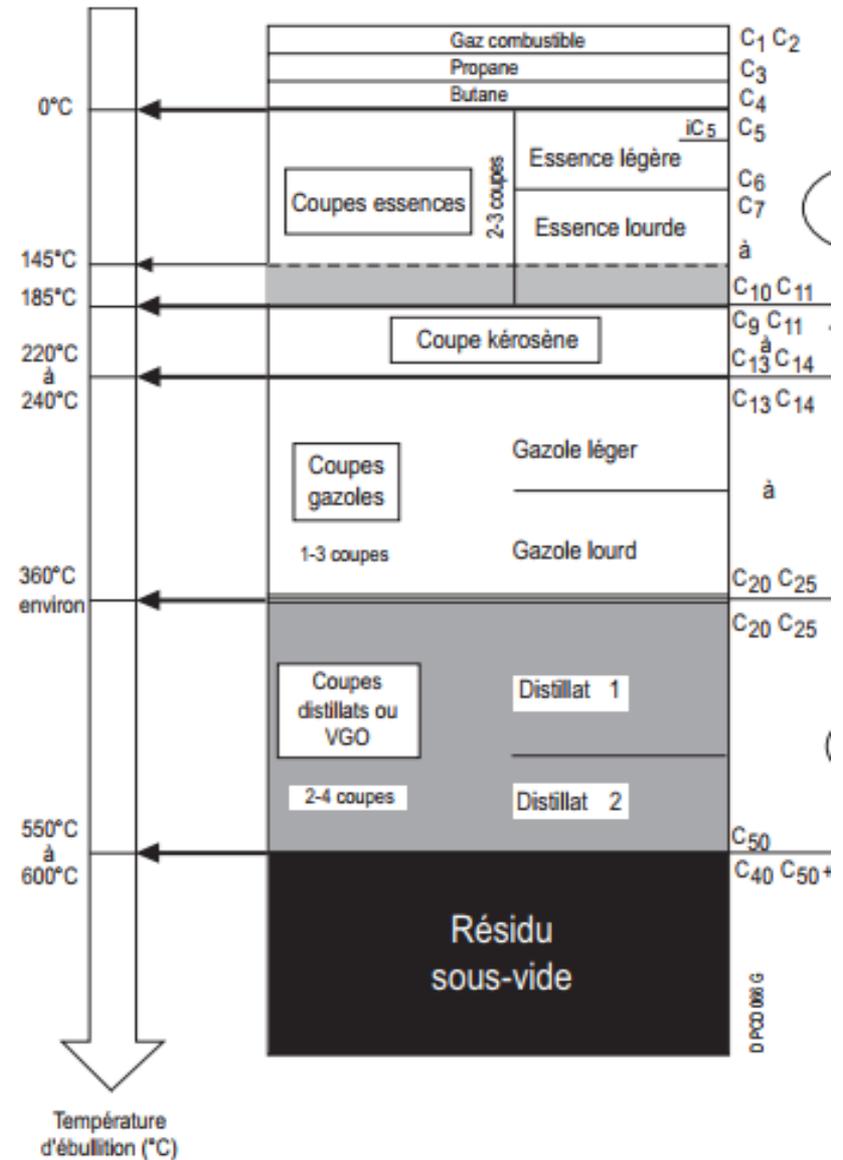
- Une circulation contre-courant entre le liquide et la vapeur est réalisée;
- Reflux liquide externe injecté en tête;
- Vapeur générée par le rebouilleur en bas;
- L'alimentation délimitent les zones de rectification (au dessus) et épuisement (au dessous);
- Les constituants de l'alimentation (charge) sont séparés en fonction de leur volatilité (point d'ébullition);
- Le distillat ou produit de tête est récupéré au ballon de reflux après une condensation partielle ou complète des vapeurs, le résidu ou produit de fond est récupéré sous forme liquide depuis le fond de la colonne;
- Les contacts liquides- vapeur se produisent généralement sur des plateaux ou le long d'un garnissage.

La distillation se fait, généralement à pression atmosphérique (1à 3 bar) suivie d'une autre à pression réduite (50 à 70 mmHg) afin de fractionner le résidu atmosphérique en d'autres produits de valeurs.

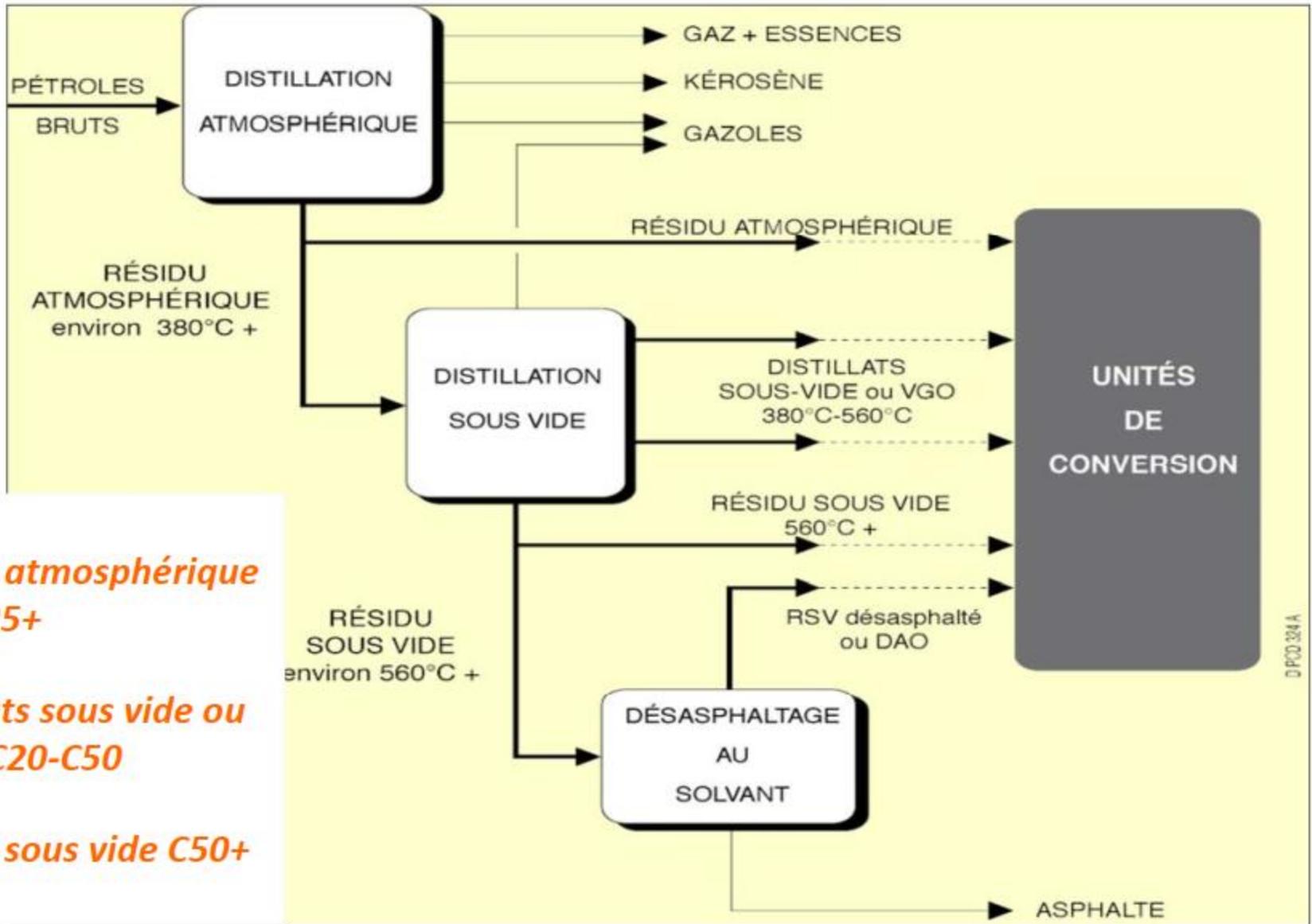
Principe de distillation



Les différentes coupes pétrolières



Conversion des résidus lourds de distillation



- **Résidu atmosphérique C20/C25+**

- **Distillats sous vide ou VGO : C20-C50**

- **Résidu sous vide C50+**

Tours de distillation



Les différentes coupes de la distillation

1 - LA COUPE GAZ COMBUSTIBLE (C₁ - C₂)

Les pétroles bruts contiennent toujours un peu de C₁ et de C₂. Ces hydrocarbures ne correspondent pas à un produit pétrolier commercial. La coupe C₁-C₂ est séparée et elle est utilisée en général comme combustible interne gazeux pour les fours et chaudières de la raffinerie. Elle est aussi appelée coupe "**fuel-gas**".

2 - LES COUPES PROPANE (C₃) ET BUTANE (C₄)

Après d'éventuels traitements d'épuration destinés à éliminer des impuretés gênantes (H₂S-mercaptans-eau), elles servent à constituer les produits **gaz de pétrole liquéfiés (GPL)** : **propane commercial, butane commercial, GPL carburant (GPL-c)**. La coupe butane est également utilisée comme **base carburant** pour ajuster la tension de vapeur des produits commerciaux.

2 - LES COUPES PROPANE (C₃) ET BUTANE (C₄)

Après d'éventuels traitements d'épuration destinés à éliminer des impuretés gênantes (H₂S-mercaptans-eau), elles servent à constituer les produits **gaz de pétrole liquéfiés (GPL)** : **propane commercial, butane commercial, GPL carburant (GPL-c)**. La coupe butane est également utilisée comme **base carburant** pour ajuster la tension de vapeur des produits commerciaux.

3 - LES COUPES ESSENCES (C₅ à C₁₀ - C₁₁)

Elles sont aussi dénommées **naphtas**, et peuvent subir diverses destinations qui sont plus ou moins liées à la **médiocrité de leur indice d'octane**. On distingue ainsi :

- **L'ESSENCE LÉGÈRE** (C₅-C₆ soit 0°C à 80 ou 100°C)

elle peut être vendue comme **naphta pétrochimique** et être utilisée comme charge des **vapocraqueurs (steam cracking)** pour être transformée en éthylène, propylène et autres grands intermédiaires de la pétrochimie.

L'ESSENCE LOURDE (C₇ à C₁₀ / C₁₁ soit 80°C à 180°C environ), d'indice d'octane très bas (RON 20 à 50), mais qui peut être traitée au **reformage catalytique (catalytic reforming)**. Cette unité a pour but essentiel de transformer les hydrocarbures **naphténiques** et **paraffiniques** de l'essence lourde à bas indices d'octane en hydrocarbures **aromatiques** à hauts indices d'octane, et de générer ainsi une excellente base carburant : le **reformat**.

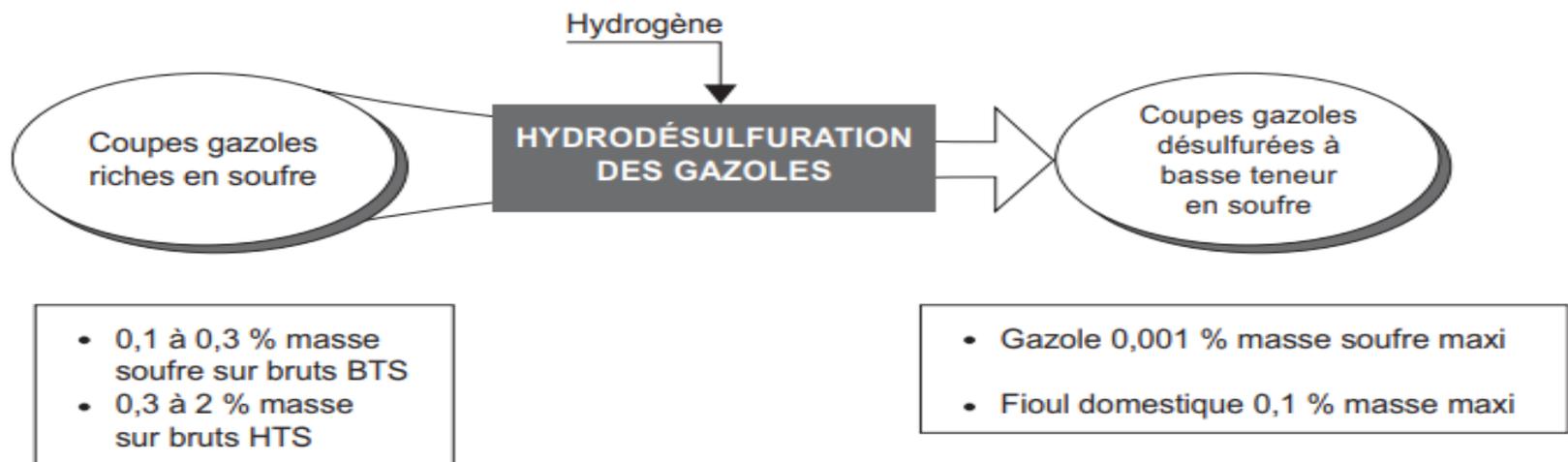
4 - LA COUPE KÉROSÈNE (C₉-C₁₀ à C₁₃-C₁₄)

La coupe kérosène est utilisée pour la fabrication :

- des carburéacteurs, principalement le JET A1
- du gazole et du fioul domestique

5 - LES COUPES GAZOLES (C₁₃-C₁₄ à C₂₀-C₂₅)

Elles sont destinées essentiellement à l'élaboration des **gazoles** et du **fioul domestique**



6 - LES COUPES DISTILLATS (C₂₀-C₂₅ à C₅₀ environ)

Elles correspondent aux fractions les plus légères de la coupe résiduelle 350-380°C+. Elles sont constituées de composés distillables dans une opération sous-vide, à température élevée, ce qui justifie leur appellation de **distillat sous vide** ou **vacuum gasoil**.(V.G.O.)

Ces coupes lourdes se distinguent des fractions résiduelles non distillables par le fait qu'elles contiennent **peu d'asphaltènes et de métaux**.

De ce fait, elles se prêtent plus facilement aux opérations de conversion catalytique.

Leur conversion fait appel essentiellement :

- au **craquage catalytique (FCC)** surtout **producteur d'essences**
- à l'**hydrocraquage** qui génère des coupes **essences, kérosène et gazoles**

7 - LA COUPE RÉSIDU SOUS-VIDE (C₅₀⁺)

C'est la fraction non distillable du pétrole brut. **Elle est constituée d'hydrocarbures et de composés très lourds non vaporisables à haute température et à pression réduite dans les installations de distillation sous vide**. Cela justifie l'appellation **résidu sous vide** ou « **vacuum residue** » ou encore **fond du baril**. Les rendements en résidu sous vide sont très variables selon les pétroles bruts. Ils sont

Un résidu sous vide est un produit lourd, solide à température ambiante, qui doit être **stocké à plus de 130°C** pour devenir suffisamment fluide afin d'être traité dans les unités de raffinage. Il concentre des hydrocarbures très lourds riches en impuretés comme le soufre, l'azote et l'oxygène et aussi les **asphaltènes et les résines** qui contiennent la majeure partie des métaux (nickel, Vanadium essentiellement) contenus dans les pétroles bruts. Ces métaux compliquent considérablement les traitements de conversion des résidus sur catalyseurs. Cela explique que l'on privilégie pour ce type de charge, les unités de craquage thermique comme le **viscoréducteur ou le coker**.

2- Pyrolyse

Processus de décomposition (craquage) des HCs sous l'effet de température (800 °C) et en absence d'oxygène

2-1 Craquage à la vapeur (vapocraquage)(steam cracking):

Le procédé de pyrolyse (vapocraquage), est aujourd'hui le procédé de craquage le plus important et le plus important fournisseur de matières premières pour l'industrie pétrochimique.

Il consiste en la pyrolyse d'hydrocarbures saturés issus du gaz naturel ou du pétrole, en présence de vapeur d'eau. Il produit en premier lieu l'éthylène, mais aussi le propylène et secondairement, selon la charge utilisée, une coupe C4 riche en butadiène et une coupe C5+ (hydrocarbures à cinq carbones ou plus) à forte teneur en aromatiques et plus particulièrement en benzène.

2-2 Caractéristiques des Réactions du Procédé

Les réactions de craquage nécessitent un apport important d'énergie thermique donc un niveau de température élevé. Ces réactions ont lieu dans des fours appelés « fours de pyrolyse ».

Les conditions opératoires du vapocraquage sont les suivantes :

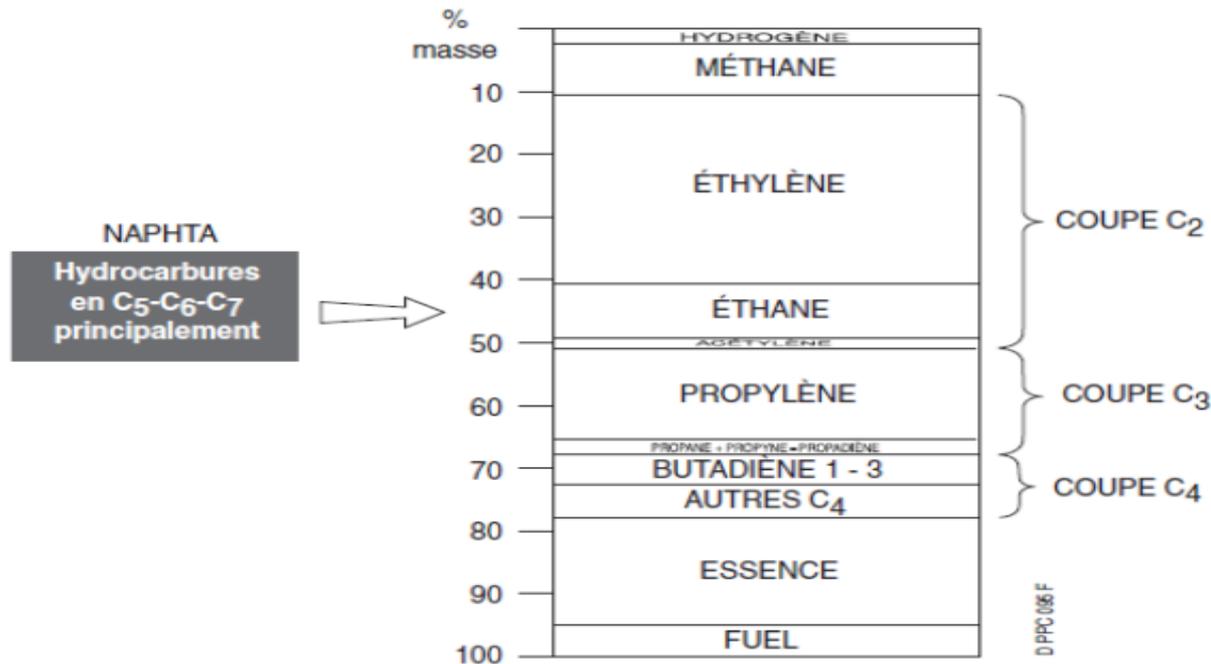
Température : > 800 °C ; Pression : légèrement supérieure à P atm ; Rapport - H₂O/charge = 0,6 t/t ;

Temps de craquage (temps de résidence) : < 1 seconde pour les anciens procédés et quelques millisecondes pour les procédés récents.

2-3 Mise en application du Procédé

Il Consiste à faire passer dans un four tubulaire une charge préalablement mélangée à de la vapeur d'eau portés à haute température pour permettre ainsi de faire le craquage des HCs. Dans cette technique le rôle de la vapeur d'eau est essentiellement d'abaisser la pression partielle des hydrocarbures présents dans le serpentin du four. Cette dilution limite également les réactions parasites conduisant en particulier à des dépôts de coke à l'intérieur des tubes du four. Après une trempe brutale les produits obtenus sont séparés par distillation. On obtient comme produits et avec rendement:

Le schéma ci-dessous représente la gamme des rendements types obtenus à partir de craquage de naphtha.



2-4 Caractéristiques des produits

L'hydrogène peut, après séparation, être utilisé dans des installations d'hydrogénations sélectives des effluents craqués (coupe C₂, coupe C₃, coupe C₄, coupe essence) :

- le **méthane** est un excellent combustible pour les fours de vapocraquage
- la **coupe C₂** représente l'effluent le plus important et contient surtout de l'**éthylène**
- la **coupe C₃** est très riche en **propylène**
- la **coupe C₄** est constituée à peu près pour moitié de **butadiène 1-3**. Elle contient également en proportions notables de l'**isobutène** et du **butène 1**
- la **coupe essence** (C₅ à C₁₀) est très riche en **hydrocarbures aromatiques** et en **dioléfines**. La partie C₆ de cette essence est notamment riche en **benzène** que l'on peut purifier
- le **fuel** très aromatique est un **combustible lourd de médiocre qualité**.

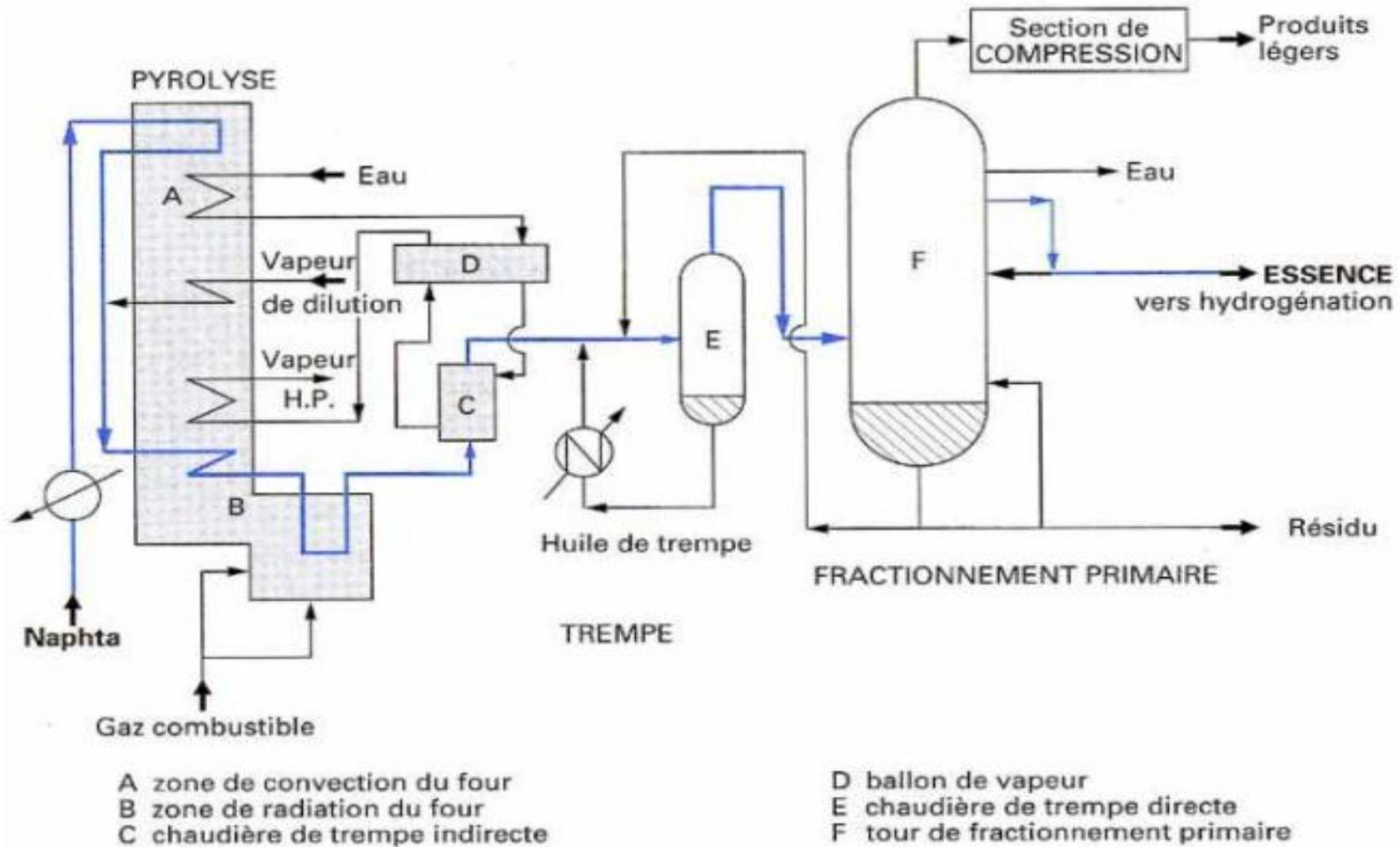
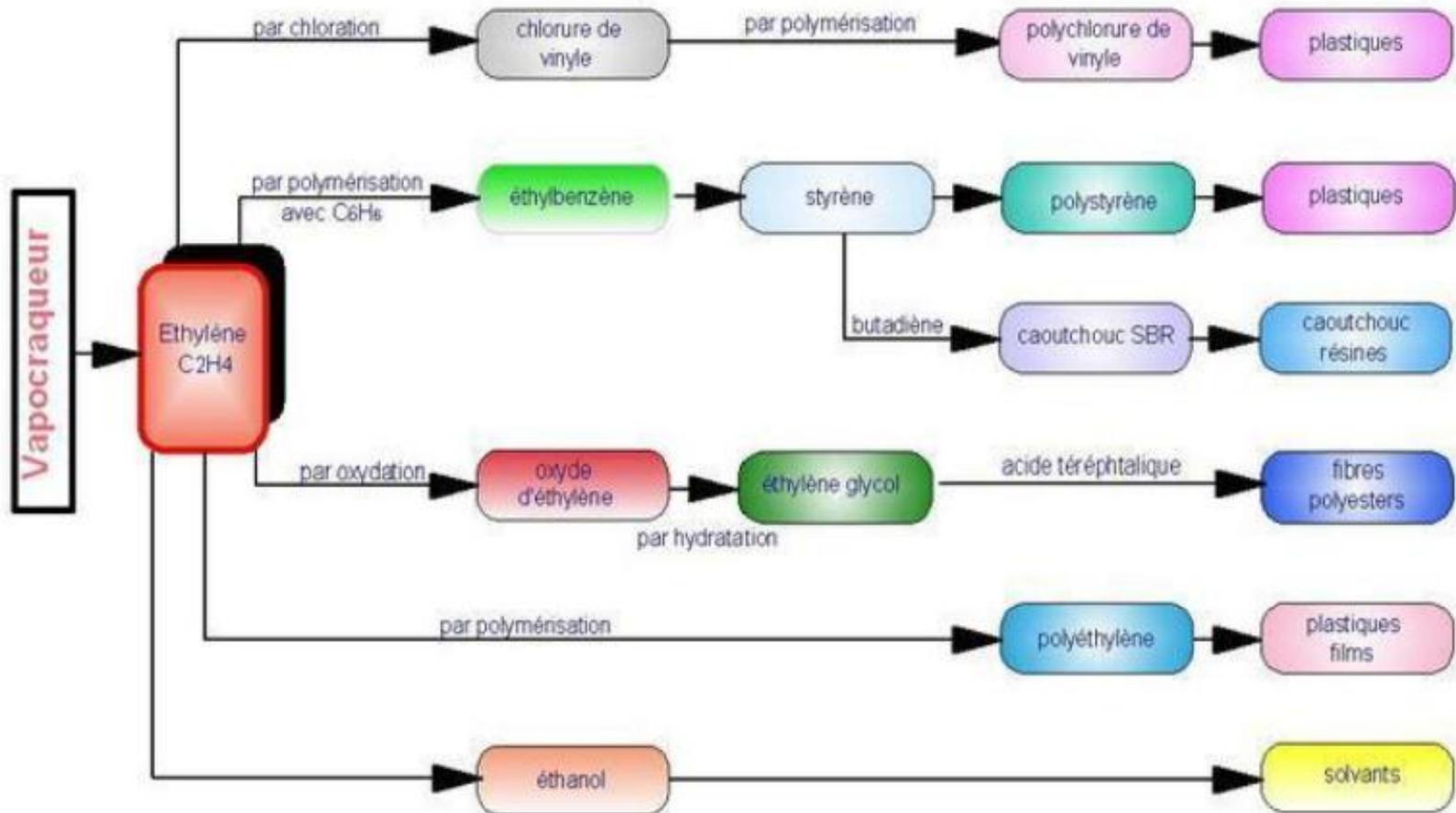


Schéma de la section chaude d'une unité de vapocraquage du naphta

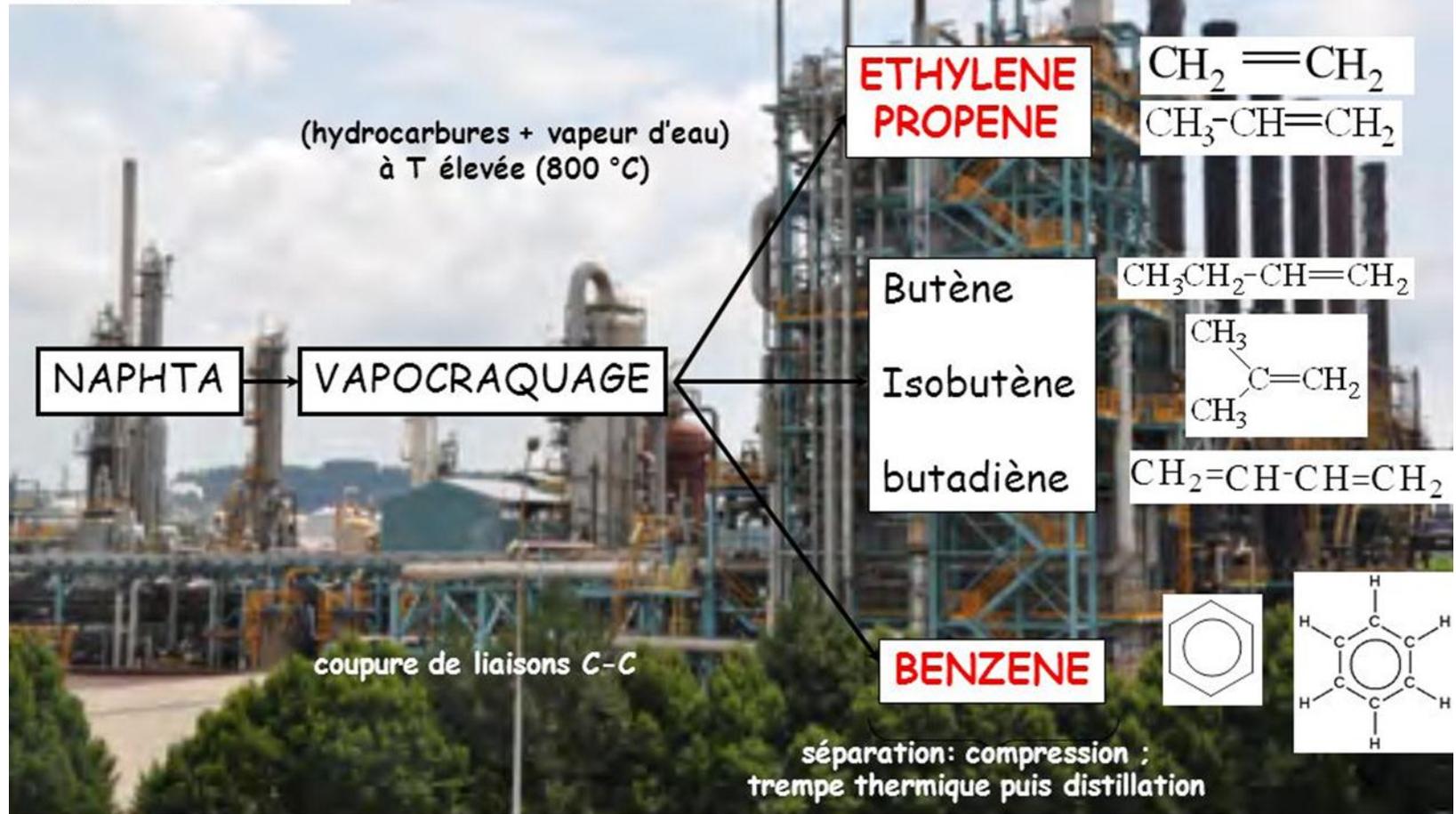
Exemple: industrie de l'éthylène



TRANSFORMATION DE L'ÉTHYLÈNE

1.1 Le vapocraqueur produit les matières premières éthylène;propylène;benzène qui vont permettre d'alimenter les autres unités ou usines du site.

vapocraqueur



3- La viscoréduction

La viscoréduction est un procédé qui fut spécifiquement conçu pour réduire la viscosité des résidus atmosphériques ou sous vide, destinés à être envoyés au Pool de Fiouls Lourds.

Le procédé de viscoréduction est également évalué vis-à-vis des pétroles bruts extra lourds afin de réduire sur place leur viscosité, et de rendre possible leur transport par pipeline.

Ce procédé est utilisé aujourd'hui dans le raffinage et produit jusqu'à 15-20 % d'une coupe pétrolière ayant une volatilité inférieure au gazole sous vide, avec pour résultat une réduction de la production de fioul lourd.

La viscoréduction est un procédé peu coûteux en terme d'investissement.

La viscoréduction est simple et facile à installer à l'extérieur d'une raffinerie.

3-1 Type de la charge

Résidu atmosphérique
Résidu sous vide

3- 2 Conditions opératoires

Température (430-490°C)

Pression (entre 5 et 12 bar selon que le résidu est long ou court)

Taux de conversion (peut atteindre 12%)

3- 3 Types de procédés :

1- Viscoréduction sans chambre de maturation

- Le réacteur est limité aux tubes de chauffage

2- Viscoréduction sans chambre de maturation

Utilisation d'une chambre de maturation pour compléter la conversion déjà engagée dans l'élément chauffant

3-4 Avantages de la chambre de maturation:

Réduction de la consommation du fioul(15%) et abaissement de la température du four (20-30°C)

Augmentation de la durée entre deux décokages

Meilleure sélectivité et réduction du cout.

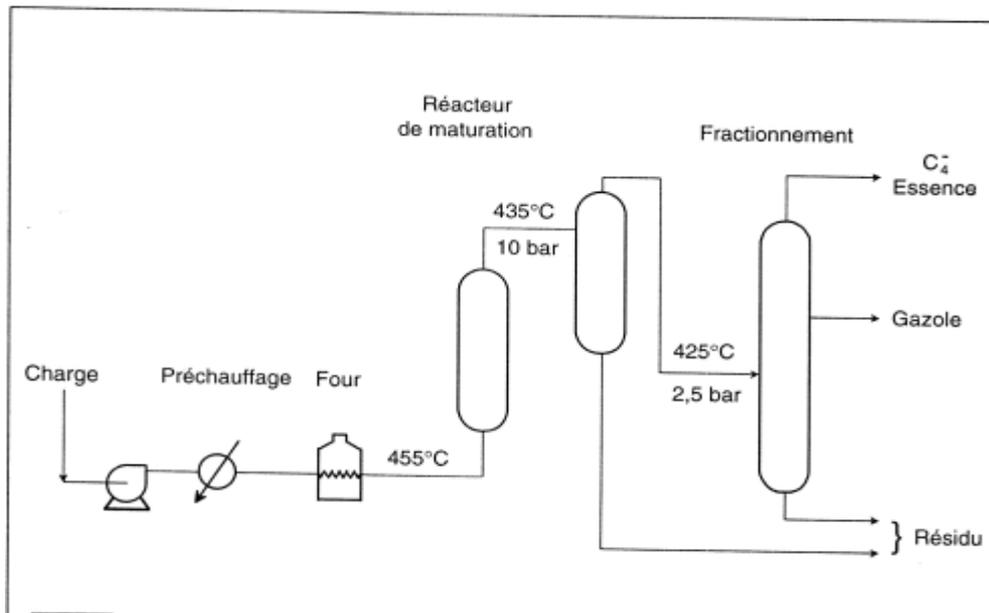


Schéma de principe d'une unité de viscoréduction avec chambre de maturation

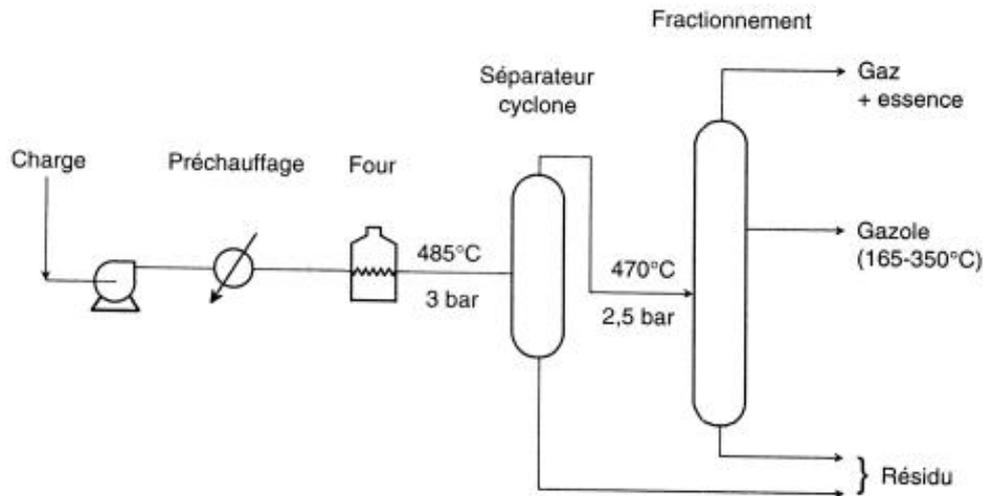
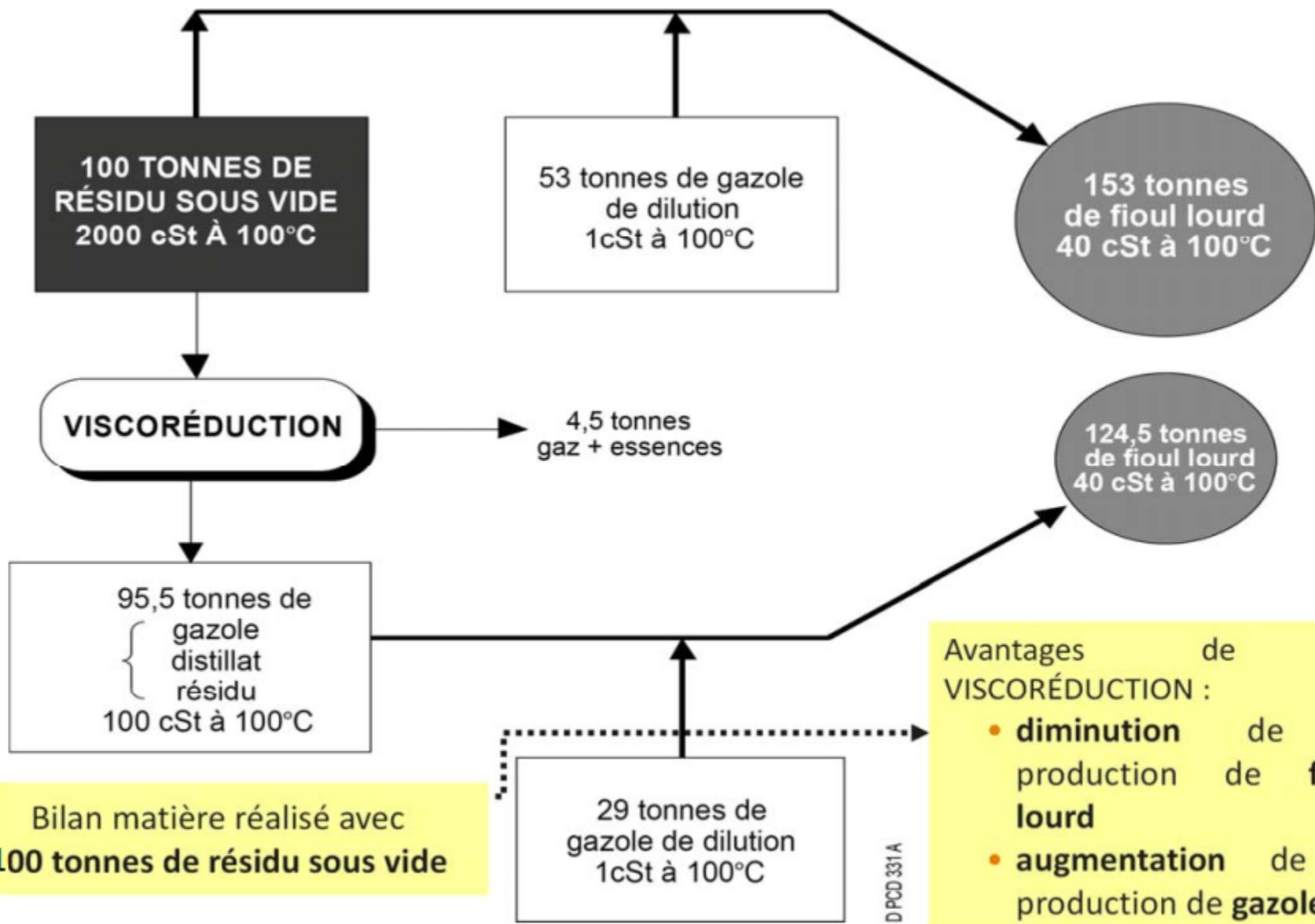


Schéma de principe d'une unité de viscoréduction



Bilan matière réalisé avec
100 tonnes de résidu sous vide

Avantages de la
VISCORÉDUCTION :

- diminution de la production de fioul lourd
- augmentation de la production de gazole

DPCD 331A

3-5 Rendements habituels et destination des produits

1- GAZ : 1 à 3 % masse

Lavage amine pour retirer H₂S et pour récupération de GPL

2 - ESSENCE : 3 à 6 % masse

Naphta HDT et reformage catalytique

3 – GAZOLE Atmosphérique : 8 à 15 % masse

Diesel HDT et mélange avec gazole straight run

4 – GAZOLE sous vide : 10 à 20 % masse (pas toujours recouvré)

**Reste dans le Pool de Fioul, ou charge supplémentaire aux unités FCC
ou hydrotraitements de VGO (Vacuum Gasoil)**

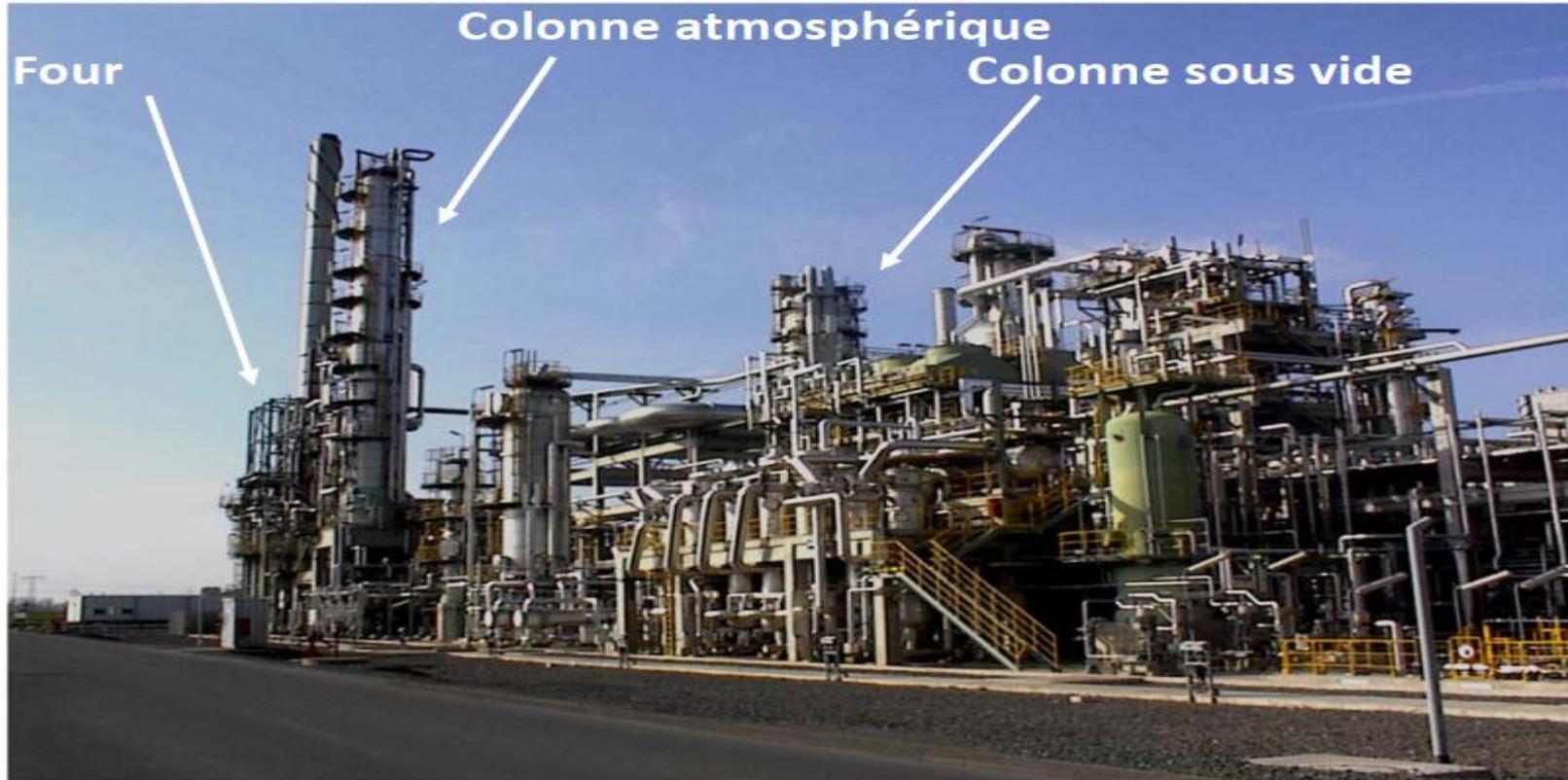
5 – Résidu sous vide : 65 à 80 % masse

Base pour le Pool Fiouls Lourds, parfois ajouté au bitume

Comparaison entre les deux procédés de viscoréduction

Avantages Serpentin / Maturateur	Craquage par serpentin	Craquage par maturateur
Rendements	→ Rendements supérieurs en gaz (+0.5 % masse max) → Stabilité légèrement meilleure du combustible	→ Rendements meilleurs ou plus sélectifs
Opérabilité	→ Opération de décockage plus facile et durée d'exécution plus courte (4-6 mois) → La température de sortie plus élevée rend possible une autre récupération HGO	→ Meilleur contrôle du procédé, plus simple → Durée d'exécution plus importante (1 an) → Moins de perte de chaleur par vapeur
Services		→ 10-15 % de combustible net en moins
Investissement	→ Pas de maturateur	→ Four plus petit → Moins d'équipement pour la récupération de chaleur → Moins d'énergie de pompage en raison d'un Delta P plus faible → Dans l'ensemble, 10 % d'investissement de moins qu'avec le craquage par serpentin

Unité de viscoréduction



Références bibliographiques

- 1- P. Leprice, *Procédés de transformation*, Le raffinage du pétrole, Technip. Paris. (1998).
- 2- M. JJ. Durchon, *Conversion des coupes lourdes*, cours IAP HM. (2015).
- 3- A. Boumaza, A. Menidjel, *Introd. a l'indust. Petro. et gaz*. Cours IAP Skikda. (2015).
- 4- C. Raimbault, G. Lefebvre, *Vapocraquage des hydrocarbures*, Technique de l'ingénieur, **J 5 460**. (1999)