



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

## FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## CONTACT

Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)



19280-F

Distr. LIMITEE

ID/WG.522/1 (SPEC)

28 octobre 1991

FRANCAIS

Original: ANGLAIS

Organisation des Nations Unies pour le développement industriel

Réunion mondiale préparatoire à la Consultation régionale  
sur l'industrie pétrochimique dans les pays arabes

Karachi (Pakistan) 10-13 décembre 1991

**ETUDE RELATIVE AUX TENDANCES EN MATIERE  
DE DEVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE DE  
L'INDUSTRIE PETROCHIMIQUE \***

Etabli par  
Mohammed H. Al-Shukri  
Consultant de l'ONU DI

---

\* Les opinions exprimées dans le présent document sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement celles du Secrétariat de l'ONU DI. La mention dans le texte de la raison sociale ou des produits d'une société n'implique aucune prise de position en leur faveur de la part de l'ONU DI. Traduction d'un document n'ayant pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle.

V.91-30099 (EX)

1/11

Table des matières

	<u>Page</u>
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	1
<b>2. EVOLUTION INITIALE DE L'INDUSTRIE PETROCHIMIQUE</b> .....	1
2.1 Historique .....	1
2.2 Besoin de nouveaux matériaux .....	3
2.3 Disponibilité de matières brutes .....	4
2.4 Impact des charges excédentaires sur l'évolution récente .....	5
2.5 Maturité du développement .....	5
2.6 Rôle du marché et économies d'échelle .....	6
<b>3. EVOLUTION DANS LES ANNEES 50, 60 ET AU DEBUT DES ANNEES 70</b> .....	7
3.1 Percées technologiques .....	8
3.2 Création d'une industrie véritablement globale .....	10
<b>4. CRISE ENERGETIQUE : IMPACT SUR L'INDUSTRIE PETROCHIMIQUE ANNEES 70 ET 80</b> .....	12
4.1 Mutation de la structure des coûts - Renforcement de l'importance du prix des matières premières et de l'énergie dans la structure globale des coûts .....	12
4.2 Prix du naphta .....	13
4.3 Prix du condensat de gaz naturel (GPL et éthane) .....	14
4.4 Baisse de la rentabilité et déclin de la croissance .....	14
4.5 Mutation en matière de stratégie .....	15
4.6 Réponse de la technologie à l'évolution de la situation .....	16
4.7 Développement technologique basé sur les matériaux de départ et passage à des ressources alternatives .....	17
4.8 Promotion d'une technologie permettant d'économiser de l'énergie .....	17
4.9 Rôle émergent des compagnies pétrolières/chimiques .....	19
4.10 Tendances en matière d'implantation : matières brutes et sources d'énergie .....	22
4.11 Déplacement en direction des sources alternatives .....	24
4.12 Complexe raffinerie/usine pétrochimique .....	25
4.13 Mutation en direction des produits spéciaux .....	26
<b>5. REALIGNEMENT DE L'INDUSTRIE</b> .....	26
5.1 Processus de restructuration .....	26
5.2 Réduction de capacité, fermetures et mise au stand-by d'usines .....	27
5.3 Spécialisation dans des lignes de production spécifiques .....	29
<b>6. RECHERCHE DE NOUVELLES CHARGES INITIALES</b> .....	29
6.1 Produits plus légers .....	30
6.2 Utilisation des fractions lourdes .....	30
6.3 Utilisation du charbon .....	32
6.4 Sables asphaltiques et schistes bitumineux .....	33
6.5 Produits d'origine biologique (Biomasse) .....	34

	<u>Page</u>
6.6 Considérations économiques .....	35
6.7 Rôle des produits spéciaux .....	36
6.8 Rôle des matériaux composites .....	37
6.9 Nouveaux matériaux supplémentaires .....	38
<b>7. IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE L'INDUSTRIE PETROCHIMIQUE .....</b>	<b>39</b>
7.1 Toxicité et sécurité .....	39
7.2 Matières plastiques biodégradables - Solution au problème des déchets solides? ..	41
<b>8. QUE NOUS RESERVE L'AVENIR ? ANNEES 90 .....</b>	<b>41</b>
8.1 Tendances au niveau des charges initiales .....	43
8.2 Tendances en Europe occidentale au niveau des charges initiales .....	45
8.3 Tendances aux Etats-Unis .....	46
8.4 Evolution des charges au Japon et dans le reste du monde .....	47
8.5 Evolution en faveur de l'utilisation de charges alternatives .....	48
8.6 Tendances au niveau des produits pétrochimiques .....	49
8.7 Tendances au niveau des autres oléfines (propylène et butadiène) .....	51
8.8 Hydrocarbures aromatiques .....	52
8.9 Tendances au niveau des matières plastiques .....	54
8.10 Nouvelles perspectives pour le méthanol .....	57
8.11 Nouvelles applications du méthanol .....	58
8.11.1 Méthanol en tant que carburant pour les transports .....	58
8.11.2 Méthanol en tant que charge pétrochimique initiale .....	58
<b>9. IMPACT DES PREOCCUPATIONS CROISSANTES EN MATIERE D'ENVIRONNEMENT SUR L'INDUSTRIE PETROCHIMIQUE .....</b>	<b>58</b>
<b>10. CONCLUSIONS .....</b>	<b>59</b>
<b>11. RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>63</b>

## 1. INTRODUCTION

Grâce à toute une série de facteurs, l'industrie pétrochimique a réussi, en relativement peu de temps et sur la base d'une croissance particulièrement rapide, à promouvoir d'importantes innovations technologiques; à fabriquer une vaste gamme de produits de consommation; et à jouer un rôle significatif dans les échanges internationaux.

De plus, entre les années 40 et 60, l'industrie pétrochimique est devenue un des principaux secteurs industriels mondiaux grâce à la fourniture d'une gamme remarquable de produits chimiques intermédiaires, utilisés pour la fabrication de matières plastiques, fibres, caoutchouc synthétique et de nombreux autres produits finaux; tout en offrant de multiples choix de remplacement des produits naturels conventionnels, à des prix avantageux.

L'étude de l'évolution de l'industrie pétrochimique montre qu'il est extrêmement difficile d'identifier une seule raison ou un facteur isolé responsable de l'extraordinaire courbe de croissance et des réalisations accomplies en matière de développement technologique. Toutefois, les progrès spectaculaires qui ont été réalisés peuvent être attribués à une combinaison de circonstances favorables, par exemple l'ampleur de la demande; disponibilité d'approvisionnements abondants en matières premières, peu coûteuses; et nombreuses innovations effectuées en parallèle avec d'autres facteurs traditionnels de support industriel.

Au cours de la période qui s'est écoulée depuis sa naissance dans les années 20, et qui lui a assuré une place prépondérante avant 1973, l'industrie pétrochimique est passée par diverses étapes marquantes, du point de vue de sa croissance et de son développement technologique.

Par conséquent, la présente étude a pour objectif d'analyser l'évolution technologique de l'industrie pétrochimique, depuis sa phase initiale et au cours de ses différentes étapes; d'identifier les facteurs, motifs, forces et stimulants de ce développement, en se penchant sur les réalisations déjà accomplies; d'analyser l'impact des crises pétrolières sur l'industrie en général et en particulier sur les tendances technologiques; et de dégager enfin certains résultats et conclusions concernant les perspectives d'avenir, à la fois pour les pays développés et les pays en développement.

Cependant, lors d'une tentative faite pour étudier tous les domaines d'activité de l'industrie pétrochimique, indépendamment du degré de précision de sa définition et de ses frontières, il est impossible d'éviter un chevauchement de certains éléments ainsi que l'introduction d'autres aspects qui paraissent étrangers au sujet spécifique qui se trouve au centre de la présente étude. Cette situation résulte de l'ampleur inhabituelle de l'industrie pétrochimique; de ses liens avec de multiples activités connexes; ainsi que de sa portée internationale.

## 2. EVOLUTION INITIALE DE L'INDUSTRIE PETROCHIMIQUE

### 2.1 Historique

L'étape initiale de développement de l'industrie pétrochimique remonte aux années 20 et 30, durant lesquelles la distillation fractionnée du pétrole a été utilisée par les compagnies américaines pour produire des substances chimiques qui étaient jusque là obtenues à partir du charbon, des mélasses et du bois. Plusieurs compagnies chimiques et pétrolières ont entrepris de produire des alcools et des cétones; de l'éthylène glycol, du chlorure de vinyle, du styrène et d'autres substances chimiques à partir des oléfines contenues dans les circuits de tête provenant des opérations de craquage thermique des raffineries. Cette période a également été marquée par la première production d'ammoniaque à partir de gaz naturel ainsi que par la commercialisation d'une technologie de craquage à la vapeur d'eau destinée à la production d'éthylène, de propylène et de butadiène, sur base des hydrocarbures dérivés du pétrole.

Bien que l'industrie pétrochimique soit considérée comme un phénomène américain créé par les compagnies pétrolières et pétrochimiques des Etats-Unis durant les années 30 et 40, les

origines techniques de cette industrie peuvent être aussi bien identifiées en Europe qu'aux Etats-Unis. Toutefois, à cette époque, l'industrie pétrochimique était plus spécifiquement américaine (Etats-Unis) en raison des facteurs suivants : abondance de matières premières pétrolières gazeuses, et lipidiques peu coûteuses; existence d'une technologie adéquate; vaste marché et stimulants d'un développement rapide résultant des besoins militaires de la seconde guerre mondiale. Tous ces facteurs ont été suivis par un essor industriel orienté vers les consommateurs, après la fin des hostilités. De plus, la plupart des techniques étaient nées en Europe et en particulier en Allemagne, pays qui avait construit au cours du siècle précédent une industrie chimique destinée à la production de formaldéhyde 1/.

De nombreux produits, qui sont devenus par la suite des "pétrochimiques" majeurs, ont été fabriqués pour la première fois en Allemagne entre 1900-1930, cependant à partir de matières premières autres que le pétrole. Les productions à des fins commerciales sont les suivantes : 1901 - production de phénol par F. Raschig (Allemagne); 1913 - production d'éthylène par Griesheim-Electron (Allemagne); 1913 - ammoniac, par BASF; 1930 - chlorure de vinyle, par Wacker (Allemagne); 1923 - production de méthanol par BASF ainsi que par de nombreuses autres compagnies (Réf. 1/, p. xvii).

Même si après la première guerre mondiale, l'industrie des produits chimiques organiques a considérablement progressé en Grande-Bretagne, en URSS et aux Etats-Unis, il n'en reste pas moins que l'Allemagne a continué d'assumer un rôle de leader jusqu'au début de 1940, en matière d'innovation et de commerce. La découverte des gisements pétroliers du Texas (Etats-Unis) dans les années 20; le développement des procédés majeurs de "craquage"; et l'industrie pétrolière, considérée dans son ensemble, étaient essentiellement orientés vers l'industrie des carburants et le secteur automobile. Entre-temps, les compagnies chimiques des Etats-Unis ont reconnu la valeur des hydrocarbures obtenus grâce à la distillation du pétrole et ont découvert toute une série de procédés industriels efficaces permettant de produire en beaucoup plus grandes quantités les substances chimiques qui étaient autrefois dérivées du goudron de houille. En parallèle, les compagnies européennes ont entrepris de synthétiser des molécules à partir de matières premières dérivées du charbon, sur base d'une utilisation considérable de substances chimiques aromatiques.

De plus, tandis que de nombreux progrès étaient réalisés aux Etats-Unis, où des produits de distillation et du gaz naturel étaient largement disponibles à un très faible coût, l'industrie pétrochimique a été fortement tributaire de la technologie chimique mise au point en Europe, notamment dans les domaines suivants : hydroformage des fractions de naphta pour produire des extraits aromatiques BTX, technologie générale d'hydrogénation et application d'une technologie de séparation à basse température utilisant des cycles de réfrigération.

De nombreux procédés ont été mis au point et de multiples usines produisant des substances chimiques et des résines ont été construites afin d'appuyer les efforts industriels, durant la seconde guerre mondiale. Après la guerre, la demande de nouveaux matériaux a rapidement augmenté et l'on a assisté à un développement effectif de l'industrie pétrochimique, car de nombreux progrès technologiques étaient intervenus au niveau de la plupart des utilisations.

Des procédés efficaces ont été commercialisés, destinés aux grandes usines, ce qui a permis d'améliorer considérablement les paramètres économiques de production ("économie d'échelle"). Le nombre des entreprises a également augmenté dans chaque segment de l'industrie, entraînant une atmosphère de concurrence accrue, très différente de celle qui existait avant la guerre. En conséquence, les prix des produits pétrochimiques ont diminué, tandis que le coût des autres biens augmentait. Cette situation a provoqué une détérioration de la rentabilité de production des substances pétrochimiques en vrac et des matières plastiques d'usage courant. Cependant, jusqu'au début des années 70, il n'y a pas eu de signe de ralentissement du développement de la technologie de fabrication pétrochimique, quels que soient les aspects envisagés.

---

1/ P.H. Spitz "Petrochemicals, the rise of an industry", 1988, p. xi, xvii.

En conclusion, durant la période qui s'est écoulée entre le milieu des années 40 et 1970, l'industrie pétrochimique est passée par de nombreuses étapes de développement technologique. Pendant la période initiale, l'initiative a été basée principalement sur la disponibilité d'un nouveau type de matière première (pétrole et gaz) ainsi que sur la demande du marché (production militaire et biens de consommation). Durant la dernière étape, le développement technologique a été stimulé par une conjonction d'opportunités au niveau des procédés (par exemple, progrès de la catalyse), et par des mesures d'encouragement économique. L'industrie pétrochimique s'est donc développée en assez peu de temps, passant d'une base restreinte - (industrie chimique avant la seconde guerre mondiale) au statut d'industrie mondiale majeure fonctionnant sur la base d'un millier d'unités réparties dans différentes régions, assurant une production correspondant approximativement à une valeur de 350 millions de dollars EU.

Du début des années 70 au milieu des années 80, l'industrie pétrochimique a été gravement touchée par deux crises pétrolières, et une récession économique généralisée a été enregistrée au niveau mondial, après la deuxième crise pétrolière, en 1979. La croissance exceptionnelle de l'industrie pétrochimique a fait place à un faible niveau de la demande et à une rentabilité médiocre. En conséquence, ce secteur a enregistré des coupes sombres en matière de recherche-développement. Afin de s'adapter, l'industrie pétrochimique a adopté toute une série de mesures de restructuration qui seront examinées dans la présente étude et qui lui ont permis d'arriver aujourd'hui à une stabilité relative. La demande a augmenté récemment dans des proportions satisfaisantes. La rentabilité augmente et la recherche-développement a été relancée.

Actuellement, l'industrie pétrochimique est caractérisée, entre autres, par une prise de conscience accrue à l'égard de son impact sur l'environnement. Ce facteur majeur exercera une influence considérable sur l'évolution future de l'industrie pétrochimique, alors qu'il avait été souvent sous-estimé durant les étapes initiales.

La présente étude a pour but d'examiner l'impact des technologies émergentes sur le développement futur de l'industrie pétrochimique, à ses deux stades extrêmes : charge de départ requise pour la production de substances pétrochimiques de base et de produits intermédiaires, d'une part, et fabrication de produits de consommation, d'autre part. L'impact environnemental et la qualité de la vie ont été spécialement traités, car ces aspects revêtent une importance vitale au vu des risques actuels de pollution.

## 2.2 Besoin de nouveaux matériaux

Du point de vue historique, les principaux progrès réalisés par l'industrie pétrochimique ont été liés à l'offre et à la demande de technologies qui répondaient, de leur côté, à des facteurs économiques et politiques <sup>2/</sup>.

Durant la période initiale, les besoins urgents en matière de production d'une essence à forte teneur en octanes, ainsi que de caoutchouc synthétique, ont suscité un essor des activités liées au développement de nouveaux procédés et entraîné la construction d'un grand nombre d'usines produisant des substances pétrochimiques intermédiaires, dans le cadre de l'effort de guerre des Etats-Unis. De nouvelles résines thermoplastiques ont également été fabriquées à cette époque afin de répondre aux besoins militaires, par exemple, polystyrène et polypropylène basés sur les progrès qui avaient été réalisés durant les années 30 dans le domaine des polymères à haute densité <sup>3/</sup>. Cependant, le véritable progrès technologique a résulté principalement de la disponibilité d'un nouveau type de matières premières - pétrole et gaz - ainsi que de la demande enregistrée au niveau du marché. A la fin de la guerre, une vaste

---

<sup>2/</sup> V.R.S. Arni. Emerging petrochemical technology: implication for developing countries, UNIDO/IS.350, p. 7.

<sup>3/</sup> P.H. Spitz. Technology trends in petrochemical manufacture. Douzième congrès mondial sur le pétrole, Houston, 1987, p. (23) 4.

industrie pétrochimique était en place, entièrement diversifiée, permettant d'approvisionner le marché en différents produits de synthèse destinés à remplacer les matières naturelles.

Les décennies qui ont suivi la seconde guerre mondiale ont été marquées par une croissance extraordinaire de la demande de nouveaux matériaux, qui a permis aux compagnies chimiques déjà existantes de passer rapidement à la production de produits pétrochimiques, et qui a attiré dans le même temps un nombre considérable de nouveaux producteurs, lesquels avaient éprouvé des difficultés à pénétrer dans ce secteur industriel durant les hostilités car la technologie était gardée secrète. La conjonction de la demande et de la disponibilité de matières premières a créé un environnement particulièrement propice au développement de procédés, durant les années 50 et 60. Par conséquent, dans une phase initiale de l'industrie pétrochimique, les innovations technologiques ont été encouragées à la fois par la demande et par la disponibilité de matières premières. Au cours de la dernière phase, et jusqu'au début des années 70, la promotion technologique a été suscitée par d'autres facteurs, par exemple, stimulants économiques (conservation de l'énergie) et opportunités technologiques (nouvelles applications des produits).

### 2.3 Disponibilité de matières brutes

Afin de mieux comprendre la façon dont la disponibilité de matières premières a provoqué le développement de nombreux procédés pétrochimiques et la réalisation de progrès technologiques, il est souvent utile de se pencher sur l'historique de cette évolution.

Tout d'abord, la structure du développement industriel a varié selon les régions géographiques (Etats-Unis, Europe et Japon), à la suite des différences enregistrées au niveau de la disponibilité régionale de matières premières, en particulier en ce qui concerne le raffinage du pétrole. Par exemple, le naphta, qui ne peut plus être considéré à l'heure actuelle comme un "sous-produit" en Europe, existait en quantités abondantes dans cette région au début des années 50, car la politique européenne visait à construire des raffineries, sur le continent, orientées vers une production maximale de distillats moyens (gazole) et de mazout (production d'électricité). Cette structure a entraîné la production de volumes considérables de naphta, alors que la demande était inadéquate. En conséquence, en plus de son utilisation alternative comme huile combustible (mazout de chauffage), le naphta s'est imposé en tant que charge de départ potentielle pour l'industrie chimique à condition toutefois de pouvoir être transformé en éthylène par une opération de craquage.

Certaines compagnies européennes - par exemple Hoechst et BASF - exploitaient déjà des unités de craquage basées entièrement sur le pétrole brut, pour obtenir de l'éthylène. Toutefois, ces unités étaient inefficaces et d'un gabarit trop faible. Les compagnies en question ont été attirées par le naphta, qui se vendait à un faible prix, et les unités de craquage ont produit de l'éthylène, dans un premier temps. Cette évolution a également été caractérisée par l'abandon progressif de l'acétylène, qui était jusqu'alors la charge principale employée pour la production de PVC, d'acétate de vinyle, d'acrylonitrite, etc. (Réf. 2/, p. 42).

Au Japon, la situation ne se distinguait pas considérablement de celle qui existait à l'époque en Europe, car, dans ce pays, l'énergie était basée sur l'importation de pétrole brut et les raffineries étaient orientées, du moins durant les années de l'immédiat après-guerre, vers la production d'huiles de chauffage, grâce à un accès facilité aux bruts légers, de coût réduit. Ce schéma a résulté dans de grandes quantités de naphta (en tant que sous-produit), dont la demande était insuffisante, en tant qu'essence 4/.

Aux Etats-Unis, la situation était très différente de celle qui existait en Europe et au Japon. La disponibilité de pétrole brut bon marché a permis à ce pays d'alimenter un marché axé sur de l'essence à l'indice d'octane élevé, ce qui a entraîné la production conjointe de volumes considérables de butane et de propylène liés aux stocks de mélange d'essence à fort indice d'octane

---

4/ Deuxième étude mondiale sur l'industrie pétrochimique et le processus de restructuring, ID/WG.336/3, p. 261.

contenus dans les unités de craquage catalytique fluide (FCC). Dans le cadre d'un développement récent, introduit aux Etats-Unis, les liquides du gaz naturel (NGL) et les condensats - et, plus important encore, leur composante d'éthane -, sont devenus excédentaires, étant donné que les industries énergétiques exploitaient le gaz naturel associé, et de faible coût, provenant des champs abondants du Sud des Etats-Unis. Cette situation s'est traduite par une disponibilité accrue de charge de départ pour la production d'éthylène, qui constitue le fondement même de l'industrie pétrochimique (Réf.4/, p. 260).

Aux Etats-Unis, les firmes de génie chimique, qui disposaient d'une expérience en matière de construction de grandes raffineries et l'élaboration de procédés de craquage thermique, ont apporté une contribution significative au vapocraquage de l'éthane et à la mise au point de procédés tubulaires destinés à la production de polyéthylène à basse densité (LDPE). Toutefois, la technologie de base employée aux Etats-Unis pour le traitement de l'éthylène était principalement européenne. Il en résulte que l'industrie basée sur l'éthylène s'est rapidement développée aux Etats-Unis et a permis de faire passer la consommation d'éthylène de  $\pm 115\ 000$  tonnes en 1940 à 4-5 millions de tonnes, vers le milieu des années 60. (Réf. 2/, p.44).

#### 2.4 Impact des charges excédentaires sur l'évolution récente

Un changement technologique majeur s'est produit à la suite de la disponibilité de matières premières excédentaires : naphta - en Europe et éthane - aux Etats-Unis, à de très faibles prix. Les compagnies européennes, qui avaient l'habitude de craquer du pétrole brut pour obtenir de l'éthylène sont passées au naphta, et le gabarit des unités de craquage s'est mis à augmenter rapidement. Ces compagnies ont bénéficié du passage au naphta, non seulement parce qu'elles pouvaient obtenir une charge de départ à prix réduit, mais également en tirant profit des coproduits de l'éthylène - propylène, butadiène et substances aromatiques -, pour lesquelles il existait peu de sources alternatives en dehors des importations. Etant donné que certains coproduits bénéficiaient de conditions favorables sur les marchés européens et internationaux, le coût net de l'éthylène a baissé, renforçant son adoption en tant que matière première industrielle.

Par conséquent, des économies substantielles ont été réalisées au niveau de la production de charges de départ, ou de matières pétrochimiques de base appartenant à la "première génération".

Tandis que l'acétylène était, comme nous l'avons déjà indiqué, la principale charge de départ utilisée depuis 1940 pour la production de substances chimiques en vrac (par exemple, PVC, acétate de vinyle, acrylonitrile, polychloroprène, trichloroéthylène, etc.), l'éthylène s'est mise à concurrencer fortement l'acétylène, durant les années 50 et 60. Par conséquent, la croissance rapide des produits pétrochimiques d'aval a entraîné une augmentation du taux de croissance de l'industrie chimique. Cette croissance a été d'environ trois fois supérieure au taux de croissance agrégé de l'industrie.

Cependant, en ce qui concerne les technologies du propane/propylène et des butanes/butènes, des contributions majeures et originales ont été faites par l'industrie américaine, qui a été ainsi en mesure de concurrencer les secteurs énergétiques, pour l'acquisition de matières premières. Les autres contributions américaines, dans le secteur de la technologie pétrochimique, sont les suivantes : oxydation à l'ammoniac du propylène en acrylonitrile (Sohio); procédé Halcon-ARCO Oxiran de production simultanée d'oxyde de propylène et de styrène; procédé Goodyear de production d'isoprène; utilisation à grande échelle de l'oxotechnologie basée sur les heptènes obtenus à partir du raffinage par alcoylation; matières premières détergentes à base de trimères et de tétramères de propylène, etc.

#### 2.5 Maturité du développement

Durant les années 50 et 60, le développement de l'industrie du raffinage et du secteur énergétique a mis toute une série de sous-produits d'hydrocarbures à la disposition du secteur pétrochimique. Cette évolution s'est faite à un taux de croissance de 5 à 7 points supérieur au taux

de croissance du PIB, approvisionnant le marché en produits de substitution particulièrement intéressants, du point de vue de la performance, par rapport aux matières et produits traditionnels.

Cette période a été caractérisée par un développement remarquable des produits et des procédés. La plupart de ces percées technologiques initiales ont été réalisées en Europe occidentale et aux Etats-Unis et ont été rapidement diffusées dans les pays développés à économie de marché. L'industrie pétrochimique était parvenue à un haut degré de maturité, et l'on ne s'attendait plus à ce que des découvertes significatives soient faites à moyen terme, au niveau des produits ou des procédés. Il était prévu que tout développement futur porterait directement sur l'amélioration des procédés et des conditions d'exploitation.

## 2.6 Rôle du marché et économies d'échelle

L'industrie pétrochimique est le secteur qui s'est développé le plus rapidement au sein de l'industrie chimique. Durant la période 1950-1970, les exportations mondiales de produits chimiques ont décuplé tandis que les exportations mondiales totales ne faisaient que quintupler. Pendant cette même période, les exportations de substances chimiques organiques ont augmenté (en valeur) d'un facteur de 24 et, dans ce total, les exportations de matières plastiques ont enregistré un indice de croissance de 32.

La valeur unitaire des substances chimiques organiques a décliné d'une manière continue, à la suite du faible coût du pétrole; de l'évolution technologique; et des économies d'échelle. Ces facteurs conjugués ont fait que les exportations mondiales de matières plastiques ont augmenté d'un facteur de 76. La structure des courants commerciaux des produits pétrochimiques a reflété, dans une large mesure, l'évolution de leur production, par exemple, forte concentration dans les régions développées. (Réf. 4/, p. 12 et 13)

Précédemment, (années 50 et 60), la localisation des sources de matières premières pétrochimiques correspondait généralement aux aires des marchés. Le pétrole brut était plus facile et moins onéreux à transporter, et les réserves de gaz naturel ont été exploitées en priorité, chaque fois que la proximité de vastes débouchés permettait de distribuer le gaz dans des canalisations. Les régions les plus fortement industrialisées (Etats-Unis, Europe et Japon) ont été les premières à enregistrer une croissance des marchés des produits énergétiques, en parallèle avec un élargissement des débouchés pétrochimiques.

La décentralisation des sites d'implantation de l'industrie pétrochimique mondiale, c'est-à-dire en dehors des trois principales régions industrialisées, a démarré avant les premières crises pétrolières, à la fin des années 60. Cette évolution a accompagné la première vague d'investissement effectuée dans plusieurs pays en développement, et a légèrement modifié la structure mondiale des marchés de consommation des produits pétrochimiques.

Les premiers pays en développement qui ont mis sur pied leur propre industrie pétrochimique sont ceux qui disposaient déjà d'un secteur de raffinage et d'une demande considérable de produits pétrochimiques, par exemple, l'Amérique latine et les grands pays exportateurs, notamment les nouveaux pays industrialisés du Sud-Est asiatique. Ces pays ont tout d'abord investi en aval de l'industrie pétrochimique (fibres synthétiques, matières plastiques, caoutchouc), et ont ensuite entrepris d'agir en amont, afin de remplacer les produits intermédiaires qu'ils étaient obligés d'importer. A titre d'exemple, il convient de citer les unités de vapocraquage d'éthylène qui ont été construites au Mexique en 1966, et plus tard, au Brésil et en Corée 5/

---

5/ Aspects énergétiques du changement structurel de l'industrie pétrochimique, OCDE, Paris, 7 juin 1984, p. 103.

### 3. EVOLUTION DANS LES ANNEES 50, 60 ET AU DEBUT DES ANNEES 70.

La période qui a précédé 1973 peut être décrite comme représentant l'âge d'or de l'industrie pétrochimique; elle a été ensuite marquée par les événements suivants : croissance rapide des marchés; innovations technologiques; apparition d'usines géantes; arrivée massive de nouveaux acteurs dans le domaine industriel. La combinaison de ces circonstances et l'ample disponibilité de matières premières ont créé une situation particulièrement propice au développement de procédés industriels, dans les années 50 et 60 6/ .

De 1960 au début des années 70, la production pétrochimique des régions développées a enregistré un taux de croissance oscillant entre 10 % et 17 % par an (éthylène - 17 %; propylène - 16,5 %; benzène - 13 % et butadiène - 10 %). Toutefois, durant cette même période, la production industrielle totale n'a augmenté que de 5,6 % par an et la production chimique - de 9 %. En termes de volume, les chiffres de production ont accusé les augmentations suivantes : éthylène - de  $\pm 3$  millions à 24 millions de tonnes; propylène - 1,6 à 12,4 millions de tonnes; benzène - de 2 à 11 millions de tonnes; butadiène - de 1,1 à 3,7 millions de tonnes. Cette évolution spectaculaire résulte de la conjonction de circonstances favorables, essentiellement :

- Croissance rapide de l'ensemble de l'économie, appuyée par de très nombreuses innovations et accompagnée par des mutations significatives de la structure de la demande, principalement en faveur de l'industrie chimique qui est l'un des secteurs qui a enregistré la plus forte expansion durant les années 60.

- Facteurs techniques et industriels qui ont permis au secteur pétrochimique d'occuper une place de choix dans le processus de croissance de l'industrie chimique. Grâce aux activités de recherche-développement entreprises dans le secteur pétrochimique, ou en aval de celui-ci, il a été possible de multiplier les utilisations des produits dérivés à partir du traitement des hydrocarbures, et de créer, par conséquent, des conditions techniques favorables à l'apparition d'une nouvelle demande, susceptible d'être satisfaite dans le cadre de la croissance économique globale, ou permettant de générer une demande à l'égard des produits de substitution. La disponibilité de réserves abondantes de matières premières relativement peu coûteuses a permis, en termes économiques, de développer la demande de produits de ce genre, sur une grande échelle. Par-dessus tout, le niveau relativement faible des prix des produits chimiques a permis de remplacer, dans une proportion extrêmement élevée, les produits naturels par des produits de synthèse obtenus par la chimie organique.

La production globale d'éthylène a enregistré sa croissance la plus marquée dans les pays en développement avec un taux annuel de 17 % (Japon : 35,5 %; Europe occidentale : 22,5 %; Etats-Unis : 11,5 %). La production de propylène a pratiquement augmenté dans la même proportion, tandis que la croissance globale de la production de benzène se situait légèrement en dessous des indices enregistrés pour l'éthylène et le propylène. La demande de butadiène a augmenté moins rapidement que celle des trois autres produits (un taux annuel = 10 %). Pour le butadiène, le taux de croissance le plus faible a été enregistré aux Etats-Unis, avec 5,2 %, comparé au taux observé au Japon (23,4 %) et en Europe occidentale (17,7 %) 7/.

En règle générale, la croissance industrielle a été particulièrement élevée en Europe, aux Etats-Unis et au Japon, par rapport aux indices généraux de la croissance économique. Le phénomène s'explique par le remplacement des matières traditionnelles par des produits de synthèse.

---

6/ Chemical and engineering progress, juillet 1988, p. 26.

7/ L'industrie pétrochimique - Tendances de la production et des investissements jusqu'en 1985, OCDE, Paris, 1979.

Tableau 3.1. Taux de croissance 1965-1973

	Economie	Energie totale	Produits pétroliers	Pourcentage unitaire	
				Ethylène	Plastiques 1960-1975
Europe	4,4	5,3	7,1	21,0	12,6
Japon	10,1	10,5	14,3	23,3	17,0
Etats-Unis	3,7	4,6	5,7	11,1	10,1

### 3.1 Percées technologiques

Durant les années 50 et 60, des technologies nouvelles ont été développées dans presque tous les secteurs de production pétrochimique par des compagnies, des entreprises de construction et des institutions de recherche. Cette période a été la plus féconde du point de vue des innovations technologiques appliquées à l'industrie, en particulier dans les domaines suivants : mise au point de procédés destinés à la production de produits appartenant à la "première génération" - éthylène, propylène et substances aromatiques; produits chimiques intermédiaires (par exemple, oxyde d'éthylène, acrylonitrile, acétaldéhyde, fibres intermédiaires, et surtout, matériaux polymères (polyéthylène à haute densité, polypropylène, PVC en suspension et élastomères, etc.). Grâce à ces technologies nouvelles, le marché a été approvisionné en produits de substitution particulièrement attractifs du point de vue coût/performances, qui ont remplacé les matériaux et les produits traditionnels.

Durant cette période, les innovations technologiques ont été notamment caractérisées par une augmentation du gabarit des usines; l'introduction de procédés simplifiés; et une spécification améliorée de l'action des catalyseurs, de leur efficacité et de leur durée de vie utile. (Réf. 4/, p. 273).

Tableau 3.2 Evolution des unités typiques de production (dimensionnement) entre 1955 et le milieu des années 70 pour des produits de même importance, en milliers de tonnes (Réf. 2/, p. 29)

Produits	1955	1960	1965	1970	1976
Ethylène	20	50	150	300	450
Styrène	10	30	50	150	450
Chlorure de vinyle	30	50	100	150	270
Acrylonitrile	10	15	30	60	180
Oxyde d'éthylène	5	10	20	70	135
Polyéthylène à basse densité	10	30	50	100	100
Polyéthylène à haute densité	5	10	20	60	90

La commercialisation de procédés de plus en plus efficaces dans des usines de dimensions sans cesse élargies, a permis d'améliorer les paramètres économiques de production. Dans le même temps, le nombre croissant d'entreprises participant à chaque segment industriel a créé une atmosphère fortement concurrentielle, très différente de celle qui prévalait avant la seconde guerre

mondiale. En conséquence, les prix des matières plastiques et des fibres synthétiques ont diminué durant toute la période en question, tandis que les prix de la plupart des autres produits ne faisaient qu'augmenter. Cette situation a résulté dans une détérioration de la rentabilité de la production de substances chimiques en vrac et de matières plastiques de consommation courante. Cependant, jusqu'au début des années 70, il n'y a eu aucun signe de ralentissement du développement de procédés technologiques plus performants, dans l'industrie pétrochimique, sur base d'une utilisation de catalyseurs améliorés ou du remplacement des matières premières initiales par des produits alternatifs de coût réduit, utilisés dans une séquence de transformation différente 8/.

Parmi les percées technologiques majeures, il convient de citer le développement par Union Carbide du polyéthylène linéaire à basse densité (LLDPE), en tant qu'extension du procédé UNIPOL mis au point en 1968 (production de polyéthylènes de haute densité). La production commerciale de LLDPE sur lit fluidisé (en phase gazeuse), a démarré au milieu des années 70, marquant une étape décisive dans l'évolution de la technologie du polyéthylène.

Le polyéthylène linéaire à basse densité a des propriétés supérieures à celles du LDPE. Par exemple, les films de LLDPE sont plus résistants que les couches de LDPE de même épaisseur. Les fabricants de films sont rapidement passés à la production de LLDPE, car ils pouvaient ainsi diminuer l'épaisseur de leurs produits tout en obtenant une solidité équivalente ou renforcée, en employant un poids réduit de polyéthylènes. En 1986, la capacité mondiale totale de production de polyéthylène linéaire à basse densité (LLDPE) a atteint 5,13 millions de tonnes.

Tableau 3.3 Capacité de production de LLDPE comparée aux autres types de polyéthylène, en 1986 et en milliers de tonnes/an

	LDPE	HDPE	LLDPE	Total
Etats-Unis	3 175	3 252	1 916	8 343
Canada	305	318	762	1 385
Amérique centrale et Amérique du Sud	1 128	468	280	1 876
Europe	7 141	3 883	811	11 996
Moyen-Orient et Afrique	511	365	439	1 315
Extrême-Orient et Australie	2 775	2 119	761	5 655
Total mondial	15 036	10 405	5 129	30 570

Source : Hydrocarbon technology International 1987.

Durant les années 60, l'acide téréphtalique (TPA) a été introduit par AMOCO en tant que matière première destinée à la fabrication de polyester. Par la suite, l'acide téréphtalique pur a remplacé le diméthyle-téréphtalique (DMT). Ce procédé a offert de nombreux avantages techniques et économiques à l'industrie des fibres en polyester. Au milieu des années 70, environ 25 % de la capacité mondiale de polyéthylène-téréphtalate (polyester) avait été convertie à l'utilisation de l'acide téréphtalique (TPA). En 1985, l'emploi du TPA dans la production de polyester était supérieur à celui du diméthyle-téréphtalate (DMT), à l'échelle mondiale.

8/ P.H. Spitz, Technology Trends in petrochemicals manufacture, Douzième Congrès mondial sur le pétrole, 1987, p. 23 et 24.

### 3.2 Création d'une industrie véritablement globale

Tandis que l'industrie pétrochimique et sa technologie associée restaient concentrées dans les pays développés et appartenaient à un nombre restreint de compagnies, de nouvelles structures ont été mises en place afin d'assurer la diffusion de la technologie durant la deuxième phase de développement de la pétrochimie (milieu des années 50 - 1970). Certaines firmes ont décidé d'autoriser d'autres compagnies, parfois même concurrentes, à utiliser leurs brevets (procédés sous licence), de façon à pouvoir augmenter la rentabilité de leurs efforts de recherche-développement en associant les bénéfices d'exploitation à la perception de royalties (contrats de licence). Cette opération s'est avérée plus gratifiante que la simple utilisation de procédés industriels à des fins internes, même si certaines compagnies ont continué d'utiliser la technologie qu'elles avaient mis au point intra-muros, à leur avantage exclusif.

De plus, il s'est avéré possible d'obtenir une technologie adéquate auprès de firmes d'ingénierie et d'acquérir des procédés de fabrication en s'adressant à des entreprises établies et/ou à des sociétés de recherche et d'ingénierie. En conséquence, les nouvelles techniques ont fait l'objet de très nombreux contrats de licence. De ce fait, l'industrie s'est globalement élargie, malgré un environnement de plus en plus concurrentiel, caractérisé par une très faible marge bénéficiaire. Un autre facteur a également contribué à la diffusion de la technologie : en effet, l'usage exclusivement interne des nouveaux procédés n'est pas toujours une solution réaliste en ce qui concerne un volume considérable de produits (par exemple, ammoniac, méthanol, éthylène, etc.).

La technologie portant sur des produits tels que l'éthylène, le propylène et le butadiène a été principalement concentrée entre les mains de compagnies d'ingénierie qui étaient impatientes de multiplier le nombre des unités de production. Il n'a pas été possible de protéger efficacement les brevets, en ce qui concerne la plupart des produits pétrochimiques intermédiaires (à l'exception par exemple de l'acrylonitrile), étant donné qu'il était impossible d'invoquer une utilisation spécifique (comme pour les pesticides ou les produits pharmaceutiques) ou parce qu'il était possible de développer des méthodes de production totalement différentes.

Dans le même temps, il s'est avéré impossible d'assurer une production exclusive sur base d'une protection des brevets, notamment pour des produits tels que le polyéthylène, le styrène ou le PVC, car la mise au point de ces matières avait été subventionnée par l'Etat, ou que leur développement s'insérait dans le cadre de la divulgation publique de procédés industriels, dans les années qui ont suivi la seconde guerre mondiale.

De même, en raison du coût prévisible des actions en justice intentées pour violation de droits de brevet, de nombreuses compagnies ont continué d'imiter ou de copier des technologies qui seraient autrement restées sous le couvert de brevets durables (polypropylène).

En plus, grâce à d'autres facteurs tels que le "cross-licensing" des brevets (ICI et Dupont), la diffusion de technologie a atteint un niveau à ce point important, qu'elle n'a plus été interdite dans le cadre des activités de libre-entreprise existant dans les économies de marché des pays développés. (Réf. 4/, p. 262 et 263).

En conséquence, à l'exclusion des produits d'aval, par exemple, matières plastiques spéciales, pesticides, produits pharmaceutiques, etc., des technologies d'amont ont été disponibles auprès des firmes d'ingénierie (notamment les procédés relatifs au craquage du naphta), car ces firmes n'avaient pas d'intérêt concurrentiel au niveau de la production. La diffusion de la technologie a ouvert la porte à l'octroi de licences portant sur les produits intermédiaires.

En ce qui concerne les fabricants de produits pétrochimiques, une ligne de démarcation a pu être établie sans difficultés jusqu'en 1973 entre les intérêts commerciaux des grandes compagnies pétrolières et des principales entreprises chimiques, même si certaines compagnies pétrolières (par exemple, Exxon et Shell) ont joué un rôle très actif dans les industries chimiques situées en Europe et aux Etats-Unis. En Europe, des firmes comme Hoechst, Bayer, ICI et Solvay ont réussi à éviter une intégration en amont, aussi bien en ce qui concerne les produits de raffinage que le craquage du

naphta. De même, aux Etats-Unis, des firmes comme Union Carbide, Dupont et Monsanto étaient disposées à dépendre de contrats d'approvisionnement à long terme pour obtenir de l'éthane, du propane et du naphta. Toutefois, comparées à leurs consœurs situées en Europe, les compagnies américaines ne se sont intégrées que dans la mesure où cette action leur a permis d'exploiter des usines autosuffisantes en propylène et en éthylène, par le biais de l'acquisition (propriété) d'unités de craquage de gaz et de naphta.

Avant les années 70, la demande a été supérieure à la production, en ce qui concerne la plupart des produits pétrochimiques et des matières premières plastiques. Le nombre de producteurs est resté fort limité (concentration industrielle par régions). De plus, l'industrie a été caractérisée, dans les pays développés, par une forte abondance de ressources. Les applications étaient arrivées à maturité chez la plupart des utilisateurs. Cette situation a obligé les compagnies à se "globaliser" en faisant appel, dans la mesure du possible, à des économies d'échelle, à des mesures d'intégration, à l'autoproduction de technologies compétitives et de nouveaux produits, à des applications nouvelles, et à des matières premières garanties à des prix avantageux 9/.

En fait, le processus de globalisation se poursuit encore actuellement, car l'industrie pétrochimique s'est particulièrement bien adaptée à cette évolution, ainsi qu'en témoignent les relations réciproques qui se sont établies entre certains groupes commerciaux, par-delà les frontières internationales. Dans une large mesure, les compagnies et les groupes pétrochimiques suivent une stratégie commerciale basée sur la coordination d'opérations intégrées au niveau planétaire. Ces entités globales fonctionnent sur la base de matières qui correspondent à la demande régionale. Elles se chargent de l'acquisition des matières premières et de l'implantation des unités de transformation; et approvisionnent leurs clients en fonction de conjoncture mondiale de leur marché 10/.

Actuellement, les décisions sont prises, en général, sur la base de considérations globales, plutôt que sur des actions qui ne profiteraient qu'à une seule entreprise locale. De nombreux autres détails pourraient être mentionnés en ce qui concerne le processus de globalisation de l'industrie pétrochimique, car il implique de multiples démarches, par exemple, la globalisation de la recherche-développement.

Les investissements effectués à l'étranger constituent un autre aspect de la globalisation des industries, après 1970. Durant cette période, les investissements totaux effectués à l'étranger par l'industrie chimique des Etats-Unis sont passés de 2,7 milliards de dollars en 1973 à environ 7,1 milliards de dollars en 1979.

La contribution principale se situe au niveau des compagnies européennes (71 à 74 %). Une estimation, récemment publiée, indique que près de la moitié des personnes qui sont employées dans l'industrie chimique des Etats-Unis travaillent pour des entreprises étrangères. Dans le même temps, les compagnies américaines injectent des capitaux considérables dans d'autres pays, et se lancent également dans des entreprises mixtes avec des partenaires non américaines.

Les compagnies chimiques japonaises ont elles aussi pris des mesures depuis 1973 pour s'implanter à l'étranger dans des entreprises mixtes créées avec des firmes pétrochimiques locales par exemple, en Arabie Saoudite, Iran; Corée du Sud, Alaska, Canada et Singapour.

---

9/ Restructuring process in the petrochemical industry in 1980-1983, ONUDI.

10/ James E. Fligg, US Perspective on petrochemical industry in Asia. Communication faite à la Oil Diary/International Herald Tribune Petrochemical Conference, Singapour, 16 juin 1989.

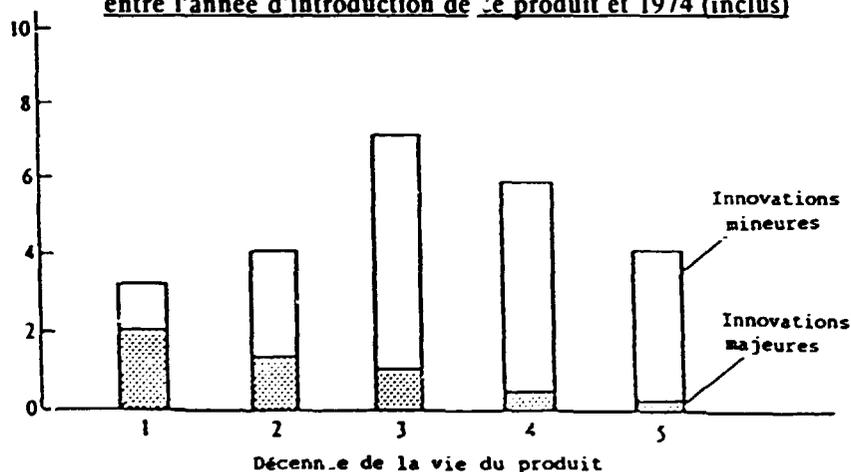
#### 4. CRISE ENERGETIQUE : IMPACT SUR L'INDUSTRIE PETROCHIMIQUE - ANNEES 70 ET 80

Comme indiqué au chapitre III, l'industrie pétrochimique est depuis longtemps déjà un des fers de lance du développement industriel. Elle est toutefois entrée, durant les années 70, dans une phase moins favorable de son évolution, lorsque les conditions essentielles à sa croissance se sont détériorées plus avant. Cette situation a été provoquée par différents facteurs : augmentation des prix des matières premières à la suite de deux crises pétrolières mondiales; ralentissement de la croissance économique globale; saturation des principaux marchés d'utilisation finale; apparition concomitante de nouveaux producteurs, en particulier dans les pays exportateurs de pétrole. Tous ces facteurs ont entraîné une faible rentabilité; un taux médiocre de croissance de la demande et une perte de vitesse au niveau des innovations technologiques.

Les prix élevés du pétrole et du gaz ont provoqué une augmentation des prix des produits pétrochimiques à un taux nettement supérieur au taux général d'inflation. A son tour, l'augmentation des prix des produits pétrochimiques a fait que la production pétrochimique a suivi la croissance du produit national brut (PNB), et plusieurs récessions ont également exercé une influence négative sur les marchés des produits pétrochimiques.

L'absence d'un élargissement des débouchés s'est traduite par une diminution des possibilités d'utilisation des technologies nouvelles. La nature chaotique des marchés a renforcé les risques inhérents au développement de nouvelles technologies. En outre, de nombreux produits pétrochimiques sont devenus plus matures. Cette évolution a entraîné un ralentissement considérable des innovations concernant à la fois les produits et les procédés, après 1973. (voir figure 4.1). Dans les sections ultérieures de la présente étude, nous nous proposons d'analyser d'une manière plus détaillée la caractéristique principale de l'industrie pétrochimique, dans le contexte des crises pétrolières de 1973 et 1979, et de la récession économique mondiale du début des années 80.

Figure 4.1 Mise au point de nouveaux procédés pour chaque décennie de la vie d'un produit, entre l'année d'introduction de ce produit et 1974 (inclus)



Source : Chemical Engineering Progress, juillet 1988, p. 26 et 27.

#### 4.1 Mutation de la structure des coûts - renforcement de l'importance du prix des matières premières et de l'énergie dans la structure globale des coûts

Bien que les matières premières (charges) figurent parmi les éléments majeurs du développement de l'industrie pétrochimique, leur contribution a été moins évidente durant la phase initiale d'évolution de ce secteur, car la demande de matières brutes était limitée, au niveau des réserves énergétiques, et leur prix était extrêmement faible. Cependant, depuis 1973, l'augmentation abrupte du prix du pétrole et de ses dérivés a radicalement modifié la situation existant au niveau des matières brutes et de l'énergie utilisées par l'industrie pétrochimique. Après

1973, des tentatives considérables ont été faites pour encourager un retour à l'utilisation du charbon et d'autres sources énergétiques, afin de réduire la dépendance de l'industrie pétrochimique à l'égard du pétrole brut et de ses dérivés. Les industriels craignaient de ne plus pouvoir s'approvisionner en matières premières et en énergie à un prix adéquat et en quantités suffisantes, tout en restant en mesure d'opérer avec une marge bénéficiaire raisonnable. En conséquence, l'industrie pétrochimique a éprouvé des difficultés à reporter l'augmentation des prix de ses intrants sur les coûts de sa production (produits) sans provoquer une chute abrupte de la demande.

Les difficultés d'approvisionnement en pétrole brut et, donc, en naphta - principale matière brute utilisée en Europe occidentale et au Japon -, ont également entraîné une concurrence latente et des situations conflictuelles entre les deux principaux secteurs d'utilisation de cette matière (carburant pour moteur et industrie pétrochimique).

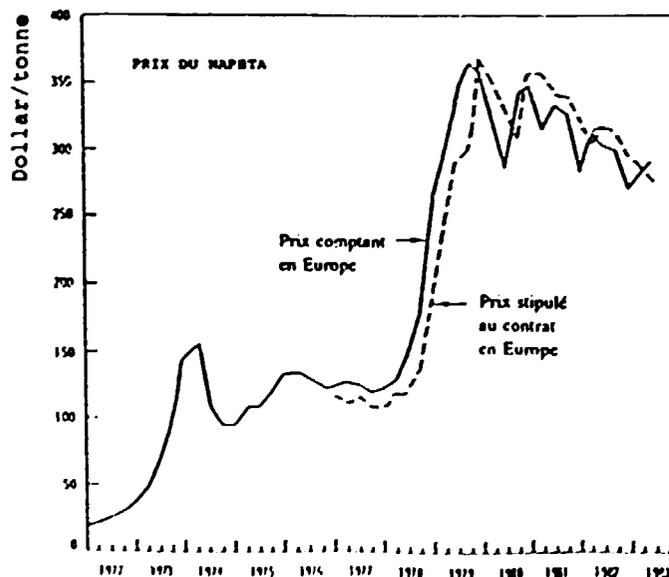
Cette situation s'est traduite par une intensification de la recherche de sources alternatives de matières premières ainsi que par une plus grande flexibilité, permettant de passer d'une source à une autre selon la disponibilité des livraisons et les différences de prix (Ref. 4/, p.17).

L'impact des augmentations du prix du pétrole n'a pas été identique pour tous les pays et pour l'ensemble des matières premières. Aux Etats-Unis et au Canada, les réglementations concernant le pétrole et le gaz ont permis d'atténuer la pression exercée par la conjoncture énergétique mondiale. Au Japon, la pression a au contraire augmenté en raison de la priorité accordée à la consommation de produits d'origine locale, dans le cadre d'une politique destinée à éviter un déséquilibre entre l'offre et la demande de produits pétroliers.

#### 4.2 Prix du naphta

En Europe, les prix du naphta étaient autrefois généralement supérieurs d'un facteur de 1,3 à ceux du pétrole brut, dans des périodes de stabilité des prix (avant 1973). Toutefois, en 1973/74 et à nouveau en 1978/79, ce rapport est passé à 1,8 - 2,2, par suite d'une augmentation abrupte des prix du pétrole et d'une pénurie de cette matière première. A cette époque, les livraisons de naphta étaient insuffisantes, ou en craignait, du moins, qu'elles le deviennent. Aux Etats-Unis, le naphta a joué un rôle moins prépondérant comme charge de départ pétrochimique. Les prix du naphta étaient généralement inférieurs à ceux qui étaient pratiqués en Europe et au Japon, et le fossé a été particulièrement considérable au moment des crises pétrolières de 1973/74 et 1979/80. Par exemple, au milieu des années 80, le prix moyen pratiqué aux Etats-Unis était inférieur d'environ 50 dollars/tonne au prix moyen payé par les producteurs européens, et représentait un bonus de plus de 100 dollars EU par tonne d'éthylène (Réf. 5/, p. 53). Toutefois, la plupart du naphta utilisé aux Etats-Unis est consommé sur le marché accaparé par les compagnies pétrolières intégrées. En conséquence, le marché libre exerce un rôle mineur comparé à la situation qui prévaut en Europe.

Figure 4.2 Evolution du prix du naphta



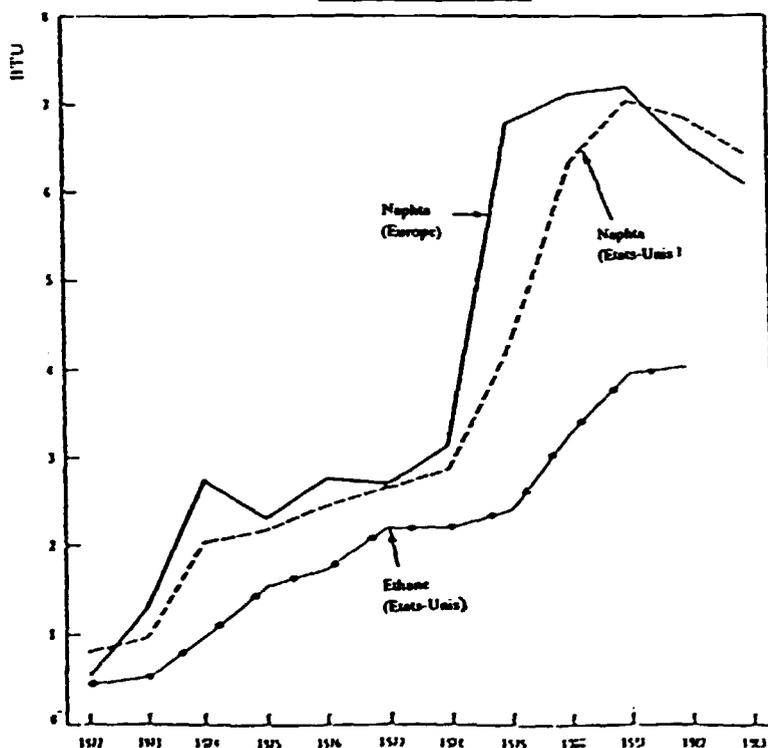
### 4.3 Prix du condensat de gaz naturel (GPL et éthane)

Les prix du condensat de gaz naturel jouent un rôle tout aussi décisif aux Etats-Unis, en ce qui concerne l'économie globale de la production pétrochimique que le prix du naphta, pour ce qui est de la rentabilité de l'industrie pétrochimique, en Europe et au Japon. Aux Etats-Unis, plus de 120 tiers de la production d'éthylène sont basés sur l'utilisation de condensats, en particulier l'éthane.

En général, le prix de l'éthane a toujours été inférieur, calculé en équivalent énergétique, à celui de fractions liquides de raffinage. Le décalage s'est accentué au moment des deux chocs pétroliers, lorsque le prix de l'éthane a atteint 3 dollars EU par million de BTU (unité calorifique anglaise), c'est-à-dire 40 % de moins par BTU que sa valeur relative au naphta relative au naphta. Bien que le taux d'accroissement du prix de l'éthane ait été inférieur à celui des produits pétroliers, il est toutefois resté élevé (augmentation supérieure à un facteur de huit entre 1972 et 1981).

En fait, les augmentations du prix de charge de départ ont durement touché l'ensemble de l'industrie pétrochimique. Partout, celle-ci a été prise entre la nécessité de reporter les augmentations de prix en aval, afin de sauvegarder sa viabilité financière, et la difficulté d'agir dans une mesure suffisante, en période de dépression économique. La figure 4.3 indique les tendances relatives des coûts des matières premières (charge de départ) en Europe occidentale et aux Etats-Unis.

Figure 4.3 Tendances relatives des coûts des charges initiales en Europe occidentale et aux Etats-Unis



### 4.4 Baisse de la rentabilité et déclin de la croissance

En fait, avant même la crise pétrolière de 1973, on pouvait observer certains indices de changement au niveau de la situation favorable dont l'industrie pétrochimique avait bénéficié durant les années 60. Les premiers symptômes ont été liés à la situation du marché de nombreux produits pétrochimiques. Cependant, les effets de cette situation n'ont pas été perceptibles, à cause du niveau élevé de l'activité économique générale, au tout début des années 70. La détérioration de la situation a été plus nette durant la première et la deuxième crise pétrolière, et lors de la récession économique qui a suivi.

La saturation progressive des principaux marchés, accompagnée par un ralentissement général de la croissance économique, s'est traduite par un essoufflement de la demande. Par exemple, entre 1974 et 1980, la production agrégée des principales matières pétrochimiques (oléfines, hydrocarbures aromatiques, matières plastiques et caoutchouc synthétique) n'a augmenté en moyenne que de 1,5 %, c'est-à-dire un niveau particulièrement bas en comparaison de la croissance qui avait été enregistrée pour ce secteur industriel, durant les années 60 (supérieure à 10 %), dans les principaux pays producteurs d'Europe (France, Allemagne, Italie et Royaume-Uni). Cependant, le taux de la croissance est resté légèrement supérieur à celui de la production industrielle totale, durant la période en question, (1,4 %). Les tendances qui ont été observées au Japon et aux Etats-Unis, reflètent une structure identique, mais cependant légèrement atténuée.

De nombreuses causes de ce processus peuvent être identifiées tant au niveau de l'offre que de la demande. En ce qui concerne l'offre, il est vrai que de nombreuses technologies pétrochimiques de base sont arrivées à maturité durant les années 70, et que les avantages escomptés d'une augmentation du gabarit des usines et des méthodes permettant d'économiser de l'énergie avaient pratiquement atteint leurs limites. Du côté de la demande, il s'est produit un rétrécissement des champs des applications potentielles, qu'il s'agisse d'utilisations nouvelles ou du remplacement des autres matières sur les marchés existants, en raison de l'exploitation intensive qui avait été faite de ces matières au cours des 10-15 années précédentes.

Durant les 10-12 années qui ont suivi la première crise pétrolière, les bénéfices ont été inférieurs à ceux qui avaient été enregistrés au cours de la période initiale (milieu des années 50 et au début des années 70). En réalité, le début des années 80 a été particulièrement désastreux : les bénéfices des principales compagnies pétrochimiques des Etats-Unis sont tombés à la moitié de leur niveau de 1973; et les pertes estimées pour l'industrie pétrochimique européenne en 1981-1982 représentaient entre 5 milliards et 7 milliards de dollars EU. De plus, un nouveau facteur est venu assombrir encore plus les perspectives de l'industrie pétrochimique des pays industrialisés : les pays disposant de vastes ressources de pétrole et de gaz naturel ont entrepris de fabriquer des produits pétrochimiques destinés principalement à l'exportation.

En conséquence, le faible niveau des profits, la maturité des marchés et la diminution de la demande des produits pétrochimiques ont, durant plusieurs années, considérablement refroidi l'enthousiasme des producteurs à l'égard de l'introduction de nouveaux procédés industriels. Par exemple, une étude internationale relative au niveau des innovations en matière de procédés (industrie pétrochimique) a énuméré 10 innovations de produits, commercialement importantes, pour les années 60 et seulement 2, au cours des années 70. Une autre étude a confirmé ces conclusions, en répertoriant 9 innovations significatives de produits entre 1961 et 1973, contre seulement 2, entre 1973 et 1982. (Réf. 6/, p. 26)

Cette réduction considérable des activités de développement de procédés était une conséquence inévitable du fait que de nombreuses compagnies ne souhaitaient pas engager des fonds pour rechercher de nouveaux procédés pétrochimiques en des temps incertains. Par conséquent, le budget de recherche a été largement transféré à l'amélioration des procédés existants et au développement des produits.

#### 4.5 Mutation en matière de stratégie

L'industrie pétrochimique est un des secteurs qui consomme le plus d'énergie. Environ 2/3 de l'énergie utilisée par cette industrie (en général, gaz naturel, condensats de gaz naturel et hydrocarbures) sont utilisés en tant que charge de départ pour la synthèse de différents composés. Le solde est employé comme source afin d'obtenir l'énergie requise par divers procédés, sous forme de chaleur ou de vapeur, ou encore d'électricité pour l'énergie motrice ou les opérations d'électrolyse.

Par conséquent, il est évident que l'augmentation du coût de l'énergie exerce un impact considérable sur cette industrie. L'augmentation du prix du pétrole a radicalement modifié la structure de l'industrie pétrochimique dans les trois principales régions du globe où cette

technologie est principalement concentrée, et qui assurent le gros de la production (Europe, Japon et Etats-Unis).

Les producteurs traditionnels ont été obligés de réévaluer leurs opérations pétrochimiques à la suite de plusieurs événements : augmentation du coût des hydrocarbures et des matières premières énergétiques, allant de pair avec d'autres facteurs, en premier lieu les débouchés offerts aux produits en vrac : faiblesse de la rentabilité; augmentation de la capacité et apparition imminente d'une nouvelle industrie dans les pays en développement, durant les années 70 et au début des années 80.

Le problème des matières premières et du coût de l'énergie a accaparé presque entièrement l'attention des industries concernées. Les tendances ont été modifiées de façon à rechercher des sources moins coûteuses de matières premières et d'énergie (passage du naphta au gaz naturel; utilisation éventuelle de charges de départ alternatives par exemple, retour au charbon ou à des matières biologiques, etc.). Cette évolution a permis d'augmenter les rendements, notamment grâce à l'utilisation de nouveaux catalyseurs plus performants et de plus longue vie; économie d'énergie; introduction de produits spéciaux et autres mesures qui sont souvent reprises sous l'appellation de "restructuration industrielle".

#### 4.6 Réponse de la technologie à l'évolution de la situation

Comme indiqué précédemment, l'accent principal - en matière de recherche technologique, a été mis sur le développement de sources alternatives de matières premières; la flexibilité des charges de départ; l'économie d'énergie et l'amélioration des procédés existants. Il s'agissait en fait d'une réaction à l'égard de l'augmentation du prix du pétrole; du déclin de la demande et de la baisse correspondante de la rentabilité. D'autre part, tandis que certaines firmes novatrices protègent leurs brevets en matière de procédés essentiels et de catalyseurs, on observe une pluralisation des sources concurrentes de technologie, par exemple entre différents produits tels que HDPE, LDPE, VCM, PVC etc. Ces technologies appartiennent aux entreprises de production et l'existence d'un marché concurrentiel constitue dès lors la principale motivation qui se trouve à la base de la diversification de la propriété technologique. En conséquence, la diffusion de la technologie, dans les pays à économie de marché, s'est principalement effectuée par un processus d'imitation, plutôt que par l'acquisition de licences. Cette caractéristique permet aux promoteurs de produits identiques (ou pratiquement similaires) d'y ajouter certaines qualités supérieures et, donc, d'attirer des consommateurs ou des segments du marché. Un exemple récent est constitué par le développement du polyéthylène linéaire à basse densité (LLDPE).

En ce qui concerne les principaux produits pétrochimiques (fondements de l'industrie) - éthylène, propylène, benzène et gaz de synthèse -, il est peu probable que la technologie modifiera considérablement les paramètres suivants : charge de départ utilisée; génie chimique; échelle des usines. La compétitivité portera vraisemblablement bien plus sur l'amélioration des catalyseurs, les économies d'énergie, et les taux d'intégration et d'utilisation, que sur la conception des nouvelles usines.

Le progrès technologique le plus remarquable est constitué par la conversion du méthanol en oléfines, produits aromatiques et essences. Ce procédé a retenu l'attention des compagnies pétrolières et chimiques, ainsi que des producteurs situés dans les pays en développement.

A côté des améliorations apportées au génie chimique, certains perfectionnements ont été progressivement introduits au niveau de la performance mécanique des équipements et des matières. Cette évolution a permis, à son tour, d'augmenter l'efficacité de production et d'accroître le gabarit des usines. Il convient de mentionner comme exemples : l'amélioration de la conception des fours utilisés pour la production d'oléfines, qui permet d'assurer une meilleure conversion de la charge de départ en éthylène; l'utilisation de grands compresseurs centrifuges pour la production d'ammoniaque, et l'application des catalyseurs bimétalliques et les fours à lit mobile pour la production d'hydrocarbures aromatiques.

#### 4.7 Développement technologique basé sur les matériaux de départ et passage à des ressources alternatives

A l'exception des pays disposant d'abondantes réserves d'hydrocarbures, les producteurs pétrochimiques ont été fortement préoccupés par leur approvisionnement en matières premières et en énergie après l'augmentation abrupte du prix du pétrole qui s'est produite durant les années 70, et qui a entraîné des pénuries et des incertitudes au niveau des possibilités de livraison. Les stratégies d'utilisation des charges pétrochimiques ont été modifiées. En Europe occidentale, plus particulièrement, les firmes ont entrepris de réduire leur dépendance à l'égard des hydrocarbures qui étaient surtout appréciés sur le marché des carburants pour moteurs, exemple naphta et gazole, et se sont orientées vers la construction d'unités flexibles de vapocraquage permettant de traiter des charges initiales légères (naphta et GPL, naphta et NGL, etc).

Cette situation a renforcé l'attention accordée au développement de nouvelles charges de départ, basées par exemple, sur les technologies suivantes (liste non exhaustive) :

- Technologies permettant d'utiliser les "fraction lourdes des barils de pétrole", par exemple hydrocraquage;
- Production de gaz de synthèse à partir de la fraction de pétrole brut, par exemple oxydation partielle avec développement simultané de technologies en aval destinées à la production d'hydrocarbures oxygénés et d'oléfines. Ces efforts comprennent également l'utilisation de sables asphaltiques et de schiste bitumineux qui sont particulièrement abondants aux Etats-Unis et au Canada;
- Craquage direct des résidus de brut pour produire de l'éthylène (procédé d'injection de vapeur à haute température UCC Kureha-Chiyoda; procédé de craquage au sable et au coke Lurgi et BASF);
- Liquéfaction directe du charbon grâce à toute une série de techniques d'hydrogénation (British Gas Corporation, Lurgi Kellogs, Institute of Chicago, etc.);
- Liquéfaction indirecte du charbon afin de produire des alcools et du méthanol de poids moléculaire plus élevé, etc. selon le schéma de transformation;
- Technologies basées sur la biomasse et destinées à la production d'hydrocarbures oxygénés, principalement éthanol;
- Mécanisme biogénétique de production directe de substances pétrochimiques intermédiaires, par exemple oxydes d'éthylène et de propylène, éthylène glycol, etc. (Standard Oil, Monsanto, Dupont).

Dans la pratique, et à l'exception de celles qui sont destinées à produire du méthanol ou qui font appel à des procédés biogénétiques, biomasse, toutes des technologies ont pour but d'obtenir des charges de départ qui sont identiques, ou ressemblent de près, à celles qui sont généralement utilisées ou pour lesquelles on dispose de technologies confirmées.

Parmi ces matières brutes, le méthanol est apparu aussi avantageux que le naphta, dans presque toutes les applications par exemple. comme carburant destiné aux transports (essence); combustible et autre charge initiale pétrochimique. Il est possible de produire du méthanol à partir de toute une série de sources, d'où son grand intérêt pour les pays non producteurs de pétrole.

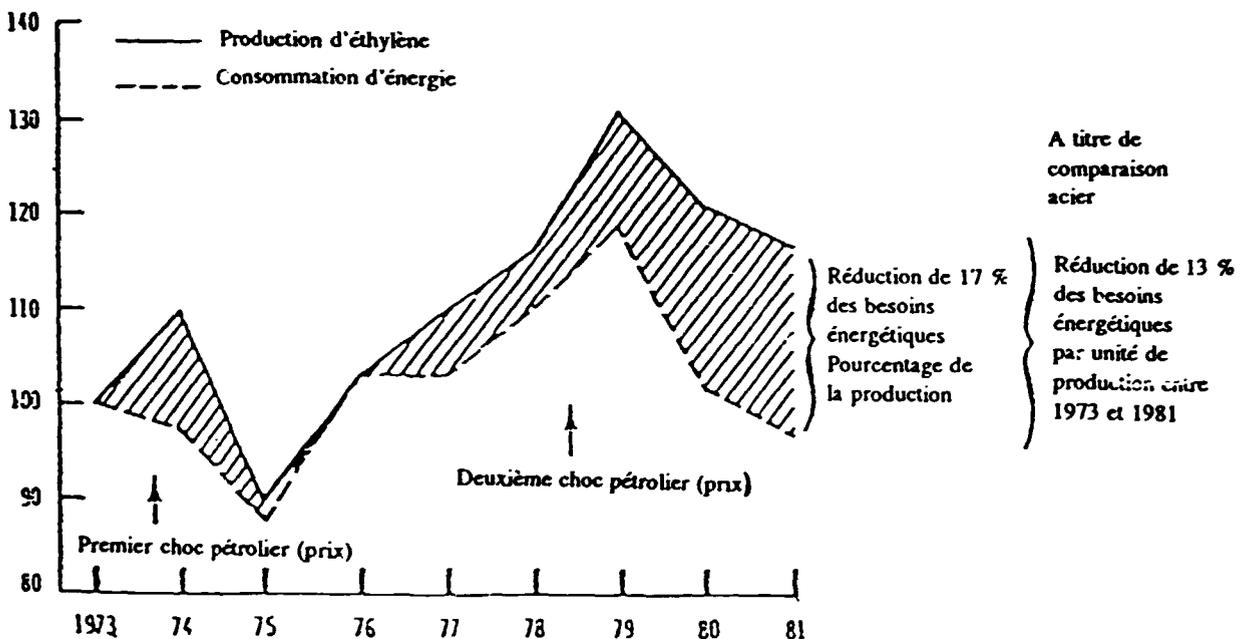
#### 4.8 Promotion d'une technologie permettant d'économiser de l'énergie

Les produits pétrochimiques sont parmi ceux qui utilisent le plus d'énergie. L'impact des deux crises pétrolières a été plus ou moins limité aux prix, et n'a pas influencé la disponibilité physique

de l'énergie. En conséquence, l'industrie pétrochimique a satisfait ses besoins en énergie, mais à un coût plus élevé. La combinaison de divers facteurs - coût élevé de l'énergie et des matières premières; ralentissement de la croissance économique et, donc, rentabilité médiocre de l'industrie pétrochimique -, a débouché, après les chocs pétroliers des années 70, sur de nouvelles tendances industrielles en matière de conservation de l'énergie. Des mesures ont été prises pour utiliser l'énergie d'une manière plus rationnelle et, dans une certaine mesure, l'industrie s'est bien adaptée au changement des conditions régissant la disponibilité relative des différents produits énergétiques. A cet effet, l'industrie pétrochimique a fait appel à d'autres matières de départ. L'absence de statistiques adéquates fait qu'il est assez difficile de procéder à une analyse des tendances de la consommation spécifique d'énergie de l'industrie pétrochimique. La figure 4.4 indique les économies d'énergie réalisées depuis 1973 dans la région de l'OCDE. De plus, elle compare les tendances en matière de production d'éthylène. Cette dernière a été choisie comme indicateur pour l'ensemble du secteur, en tenant compte de la consommation totale d'énergie (y compris charges initiales) de l'industrie pétrochimique, considéré dans sa totalité.

La figure ci-dessous montre que la réduction globale de l'énergie consommée par unité de production a été de l'ordre de 17 % entre 1975 et 1981.

Figure 4.4 Evolution de l'industrie pétrochimique dans la région de l'OCDE: consommation d'énergie (y compris charges initiales) et production (100 = 1973)



Source : Aspects énergétiques de la mutation de structure de l'industrie pétrochimique, OCDE 1984

Parmi les mesures spécialement liées à la consommation totale d'énergie, il convient de mentionner :

- Mesures de gestion destinées à réduire les pertes d'énergie sans apporter de modifications majeures aux procédés existants par exemple, surveillance des fuites et des pertes de chaleur, etc. (liste non exhaustive);
- Améliorations des procédés : cette orientation implique une reconception des procédés pétrochimiques afin de diminuer les charges initiales et la consommation de combustible et

production de méthanol : le procédé original à haute pression a été remplacé par une technique à basse pression introduite en 1967, qui a permis de réaliser une économie de 12 % au niveau de l'énergie utilisée pour les charges de départ et le combustible. Le schéma de fonctionnement (séquence des événements) a été complètement repensé en 1974 afin d'augmenter l'efficacité thermique et de réaliser une économie supplémentaire de 11 %. Après la deuxième crise pétrolière, la section "distillation" du procédé a été modifiée pour économiser de l'énergie thermique. Cette mesure a permis d'obtenir une réduction supplémentaire de 6 % de l'utilisation totale d'énergie. Un autre exemple est celui du polyéthylène : un nouveau procédé de polymérisation (LLPDE), nécessitant beaucoup moins d'énergie que les techniques précédentes, a été récemment introduit dans l'industrie et s'est rapidement diffusé.

- Une approche similaire a été adoptée pour l'ensemble des procédés pétrochimiques de grande échelle et d'usage courant. Depuis la fin des années 70, la plupart des dépenses en capital, effectuées par l'industrie, ont été ciblées sur le remplacement ou l'amélioration des usines, afin de renforcer l'efficacité d'utilisation des sources énergétiques en tant que charges de départ et combustibles. Il convient d'attirer plus particulièrement l'attention sur l'introduction sous tous azimuts du contrôle des procédés par ordinateur.
- Une autre approche adoptée est celle du concept total d'énergie, au niveau de l'usine qui permet de recycler l'énergie à usage interne.

#### 4.9 Rôle émergent des compagnies pétrolières/chimiques

Grâce au contrôle qu'elles exercent sur les approvisionnements en hydrocarbures, les principales compagnies pétrolières sont apparues, dans l'industrie pétrochimique, comme étant les premières bénéficiaires de la situation qui a suivi la crise de 1973. En outre, grâce à leur cash flow considérable, ces compagnies ont réussi à créer des entreprises mixtes avec les principales firmes chimiques qui s'efforçaient de garantir leur sécurité d'approvisionnement en matières premières et d'implanter leurs nouvelles unités de production en aval, principalement dans le domaine des produits pétrochimiques de base et intermédiaires et de quelques autres produits industriels.

En Europe, les compagnies pétrolières ont créé, durant les années 70, des marchés destinés aux produits pétrochimiques primaires et aux principales matières thermoplastiques. Le tableau 4.3 indique la part des compagnies pétrolières dans la capacité totale de production des marchés pétrochimiques européens.

Tableau 4.1 Compagnies pétrolières : part de la capacité totale de production en Europe, exprimée en pourcentage (Réf. 5/ p. 95)

Année	Ethylène	Oxyde d'éthyl.	Styrène	VCM	PVC	P.P	LPDE	HPDE	P.S
1970	50	23	24	9	16	29	28	20	-
1975	53	31	49	12	21	34	28	26	10
1980	60	42	51	19	21	39	41	29	18

Aux Etats-Unis, la pénétration des compagnies pétrolières dans l'industrie s'est développée rapidement à la suite des mesures adoptées par l'OPEP. Cette pénétration s'est également intensifiée dans la pétrochimie, compte tenu du niveau élevé de rentabilité de l'industrie chimique (Réf. 2/, p. 103).

Tableau 4.2 Pénétration des compagnies pétrolières dans l'industrie pétrochimique, aux Etats-Unis a/

Matières	Unité : pourcentage de la capacité totale		
	1974	1978	1980 (estimation)
<u>Plastiques</u>			
Polyéthylène basse densité	39,5	43,3	45,9
Polypropylène	54,1	64,1	62,1
PVC	17,7	19,3	18,8
<u>Prod. chimiques au C3</u>			
Acrylonitrile	24,5	13,8	13,8
Cumène	63,4	60,4	60,4
Oxyde de propylène	29,1	28,8	28,8
<u>Prod. chimiques au C2</u>			
VCM	35,4	25,4	25,4
Ethylène glycol	17,3	17,2	19,4
<u>Produits aromatiques</u>			
Orthoxylène	97,6	97,6	97,6
DMT	10,7	7,9	7,9
<u>Matières premières</u>			
Benzène	80,9	84,8	81,1
Ethylène	48,4	61,1	58,9
Propylène	73,2	79,4	75,7
Méthanol	6,6	8,1	7,0

a/ The Myths and the realities of the oil companies' aggressive move into the chemical business, First Boston Corporation (Etats-Unis) octobre 1977.

Cette pénétration a eu trois implications importantes pour les compagnies chimiques :

- Elles ont été obligées d'entrer en concurrence avec les compagnies qui leur fournissaient des matières premières (naphta, oléfines, matières aromatiques);
- Grâce à leur accès au pétrole brut et à la possibilité d'adapter leur gamme de raffinage à l'éventail du marché, les compagnies pétrolières disposent d'une marge de souplesse interne, en ce qui concerne les matières premières; et bénéficient en outre des économies d'échelle qui résultent d'une intégration en aval;
- Afin de pouvoir conserver leur indépendance traditionnelle (par rapport aux compagnies pétrolières), les entreprises chimiques devraient s'implanter bien plus en aval, dans le domaine des produits spéciaux, ou rechercher des matières premières échappant au contrôle des compagnies pétrolières;
- Comme on l'a indiqué plus haut, pour les compagnies pétrolières, l'industrie pétrochimique présente un certain nombre d'avantages pour les raisons suivantes:
- La production constitue la majeure partie des activités de l'industrie. Il est donc nécessaire de commercialiser les produits en faisant appel à toute une série de méthodes de vente confirmées (plutôt que d'assurer un support technique étroit de la clientèle, comme c'est le cas pour certains produits spéciaux);

- Les pays producteurs de pétrole, en particulier au Moyen-Orient, considèrent qu'une participation à la production pétrochimique leur permettra d'accéder aux ressources pétrolières (quotas pétrole brut) tout en leur ouvrant un marché mondial;
- Dans le cadre d'une industrie basée sur une énergie alternative, ces pays pourraient coproduire des matériaux tels que du gaz synthétique ou de l'éthane, qui sont plus fortement valorisés dans l'industrie chimique comme charges de départ, plutôt que comme sources d'énergie.

Au Japon, la situation est totalement différente. Certains phénomènes qui se sont produits à des degrés divers, en Europe et aux Etats-Unis n'ont pratiquement pas eu cours au Japon, par exemple : fusions de sociétés ; création d'entreprises mixtes avec des compagnies pétrolières; ou intégration au secteur pétrolier par le biais d'acquisitions. Les principales compagnies pétrolières (Exxon, Mobil, Caltex) sont des filiales (en joint-venture) de sociétés pétrolières japonaises, par exemple : la Nippon Oil, qui est la première compagnie pétrolière du pays. Toutefois, aucune grande compagnie pétrolière ne s'occupe de production d'éthylène. L'existence d'une forte concurrence a empêché l'intégration des entreprises pétrolières et chimiques, ainsi que l'augmentation de leur échelle.

Cependant, le Gouvernement japonais a créé une structure de fixation des prix et de distribution spécialement conçue pour le naphta. Cette structure supprime, dans une certaine mesure, la nécessité de conclure des accords d'association secteur pétrole/industrie chimique, du genre BASF-Shell et Bayer-BP (Allemagne).

Au Japon, la formation des prix s'effectue dans le cadre de la "loi sur le pétrole", sur la base du coût supplémentaire, et n'est pas liée aux prix internationaux du naphta. La base du "coût" est alignée sur les coûts locaux de raffinage. Le MITI agit en tant que distributeur, mais la distribution du naphta est basée sur un appel d'offres entre les compagnies pétrolières et les entreprises chimiques.

Depuis 1973, les "trois grands" japonais - Mitsubishi Petrochemical, Mitsui Petrochemical et Sumitomo Chemical - ont pris des mesures en vue de participer à des entreprises mixtes outre-mer. En association avec des entreprises chimiques et des compagnies pétrolières, Mitsubishi a conclu une joint venture avec SABIC-Daw Chemicals, en Arabie saoudite. Mitsui participe à une joint venture avec la National Iranian Oil Company et Sumitomo s'est associé au Gouvernement de Singapour et à quelques sociétés privées pour produire les substances pétrochimiques de base et de charges de départ.

L'industrie pétrochimique japonaise a enregistré des lacunes graves en matière de recherche-développement. En effet, la concurrence entre sociétés a réduit la possibilité de générer des excédents financiers susceptibles d'être utilisés pour la recherche à long terme. De plus, les firmes ont eu tendance à accorder des licences pour des technologies confirmées, plutôt que de procéder à des expériences sur une technologie "de culture locale". Il en résulte que toute amélioration devient automatiquement la propriété du bailleur de licence.

En conséquence, les firmes japonaises ont entrepris de promouvoir la recherche au sein d'organisations privées, dans des régions autres que le Japon, par exemple aux Etats-Unis. De même, sous la direction du MITI, les entreprises chimiques japonaises ont adopté une attitude défensive et ont accepté de constituer des consortiums par exemple, des groupements chimiques qui ont pour objectif de développer des procédés (non pétroliers) pour la fabrication de produits pétrochimiques.

Enfin, étant donné que les entreprises chimiques avaient peu de possibilités de s'intégrer rétrospectivement, elles n'ont pu gagner en influence qu'en procédant à des investissements mineurs dans des compagnies pétrolières. Par exemple, Sumitomo Chemical est actionnaire à 16 % dans Fuji Oil; et Mitsubishi Petrochemical - pour 30 % dans Kashima Oil. Toutefois, en tant que mesures

défensives, les entreprises chimiques ont ensuite développé certaines lignes de spécialisation, en parallèle avec leurs activités commerciales générales.

#### 4.10 Tendances en matière d'implantation : matières brutes et sources d'énergie

Jusqu'à la fin environ des années 60, les différents facteurs énumérés ci-après ont déterminé l'implantation de l'industrie pétrochimique (tous segments confondus) dans les pays de l'OCDE : coût et disponibilité des matières premières; stratégie des entreprises; politiques gouvernementales; caractéristiques technologiques des procédés; structures des coûts de production; nature et configuration des marchés et coût de transport des produits et des matières premières, etc.

Tableau 4.3 Part de l'OCDE dans la production pétrochimique mondiale en 1970 (Réf. 5/, p. 102)

Produits primaires	Pourcentage (%)	Produits finaux	Pourcentage (%)
Ethylène	90,3	Thermoplastiques	89,5
Propylène	94,8	Caoutchouc synthét.	77,2
Butadiène	87,2	Fibres synthétiques	86,4
Benzène	83,2		

A l'exception du développement relativement précoce des capacités de production, qui a été observé dans les pays d'Europe de l'Est, la décentralisation (en dehors de l'OCDE) des sites d'implantation de l'industrie pétrochimique mondiale s'est amorcée avant le premier choc pétrolier, à la fin des années 60 et au début des années 70, et a accompagné la première vague d'investissement dans plusieurs pays en développement. Cette tendance est née, dans une large mesure, du raisonnement qui avait autrefois sous-tendu l'essor des activités pétrochimiques dans les pays de l'OCDE, à partir de leurs foyers américain et européen, à l'époque où les marchés locaux de l'énergie et des produits pétrochimiques avaient atteint une échelle qui justifiait les investissements.

Les premiers pays en développement qui ont créé leur propre industrie pétrochimique sont ceux qui disposaient à la fois de raffineries et d'une demande interne significative (par exemple, Amérique latine), ou qui étaient largement orientés vers les exportations, par exemple, nouveaux pays industrialisés d'Asie du Sud-Est.

La crise pétrolière de 1973 a ouvert la porte à un nouveau type d'investissement dans de nombreux pays disposant de vastes ressources de pétrole et de gaz. Ces pays ont, en effet, converti leurs ressources énergétiques nationales en produits de transformation, souvent destinés à l'exportation. Plusieurs projets de ce genre sont apparus au cours des années qui ont suivi les premiers chocs pétroliers. Cependant, la plupart n'ont été véritablement mis au point qu'après la deuxième augmentation du prix du pétrole, en 1979.

Ce nouveau type d'investissement a considérablement dynamisé le redéploiement des activités pétrochimiques à l'écart des centres traditionnels de production. Certains segments de l'industrie ont été redéployés à proximité de sources de matières premières et d'énergie, principalement gaz naturel. Des programmes de récupération de gaz associé ont été mis en oeuvre dans de nombreux pays producteurs de pétrole (notamment au Moyen-Orient) : le gaz a été utilisé comme combustible ou matière dans la fabrication de produits chimiques (méthane employé pour la production d'ammoniaque ou de méthanol; éthane utilisé pour produire de l'éthylène), ou a été exporté sous forme de GNL ou de GPL.

de l'industrie pétrochimique, au cours des années 80. En conséquence, de nouveaux grands centres d'exportation de dérivés d'éthylène sont apparus : Moyen-Orient/Afrique du Nord et Alberta (Canada).

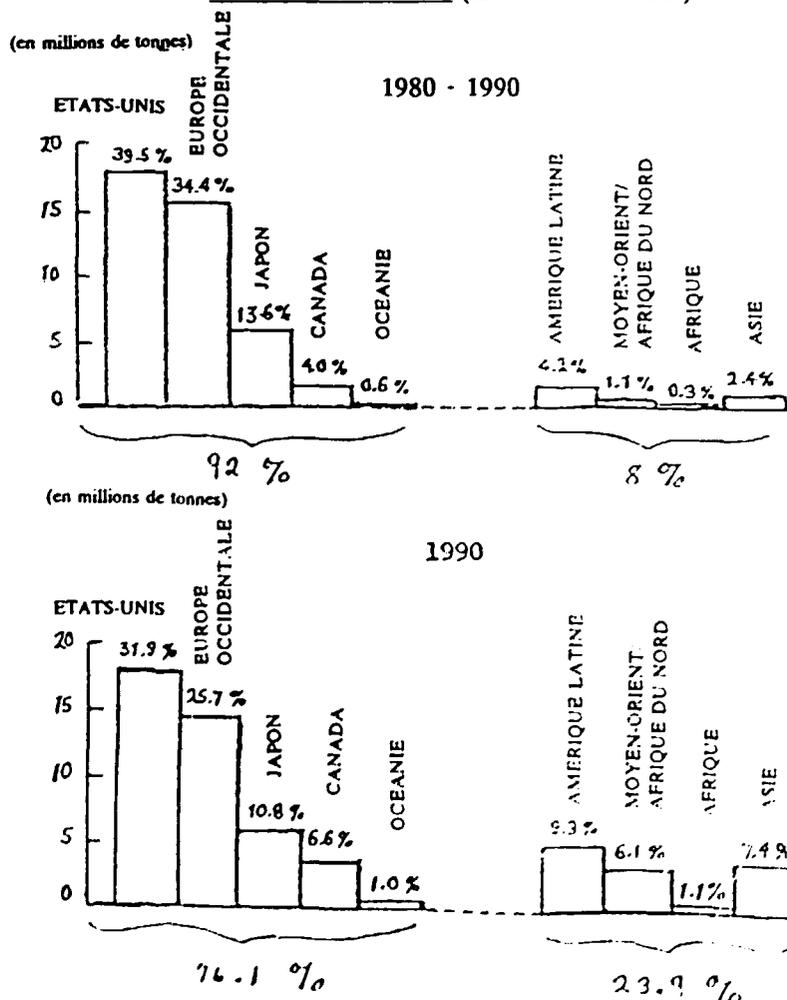
Le tableau 4.4 donne une idée approximative de la croissance de la capacité de production d'éthylène au cours des années 80. La figure 4.5 indique la mutation de la distribution des capacités nominales de production d'éthylène dans le monde occidental (1980-1990). (Réf. 5/, p. 117 et 118)

Tableau 4.4 Capacité de production d'éthylène (millions de tonnes)

Régions	1975 a/	1983	1990
Canada	-	1,8	3,0 - 3,7
Moyen-Orient/Afrique du Nord	0,06	0,5	2,4 - 3,5
Amérique latine	0,74	2,4	3,6 - 4,4
Asie	0,54	1,4	3,2 - 4,1
Autres régions d'Afrique	-	0,15	0,6

a/ Situation mondiale actuelle de l'industrie pétrochimique ONUDI/PC.126, 14 novembre 1985, (annexes).

Figure 4.5 Evolution de la distribution de la capacité nominale de production d'éthylène du monde occidental (millions de tonnes)



#### 4.11 Déplacement en direction des sources alternatives

Les tentatives faites par les pays industrialisés pour s'adapter au niveau élevé des prix et à la disponibilité des hydrocarbures ne se sont pas limitées à l'implantation d'usines ou au développement de possibilités d'accès régional. Elles ont également porté, dans une très large mesure, sur l'étude d'un rapprochement éventuel avec les sources de matières premières et d'énergie. En conséquence, le besoin d'une nouvelle technologie relative aux charges de départ est également apparu.

Dans l'industrie pétrochimique, les hydrocarbures suivants non pétroliers sont généralement considérés comme constituant des charges initiales de substitution : charbon, schiste bitumeux, sable asphaltique et biomasse. Les réserves de ces hydrocarbures sont relativement importantes et les procédés sont principalement divisés en fonction des coûts d'extraction et de transformation. Toutefois, on estime que le charbon est la matière première pétrochimique alternative la plus intéressante, pour plusieurs raisons : 1) ses réserves identifiées sont les plus vastes et il est largement distribué géographiquement, à l'opposé des sables asphaltiques et du schiste bitumeux; 2) il est extrait depuis des siècles et la technologie et l'infrastructure relatives à son exploitation, transformation et transport existent déjà dans la plupart des régions du globe, en particulier, en Europe; 3) son coût de production est extrêmement faible.

Bien que la présente étude soit consacrée aux tendances du développement technologique dans l'industrie pétrochimique, elle aborde également l'interconnexion étroite qui existe entre cette industrie et les sources énergétiques, problèmes qui se chevauchent parfois, notamment au niveau des besoins en énergie et des sources énergétiques alternatives.

Il est établi que l'efficacité technique et économique augmente lorsque le charbon est utilisé simultanément pour produire de l'énergie et des matières premières pétrochimiques. Les volumes des charges de départ pétrochimiques, sont très faibles par rapport à ceux qui sont utilisés comme combustible.

L'autre secteur important de la recherche contemporaine a trait aux charges pétrochimiques alternatives : possibilité de convertir le méthanol et le gaz de synthèse en éthylène et en propylène. La commercialisation de cette technologie dépendra de l'avantage présenté par le méthanol au niveau du prix, en comparaison des charges de départ existantes, par exemple, naphta.

La conversion du méthanol en éthylène peut être économique lorsque le méthanol est produit en grandes quantités. Ce produit devrait par conséquent être vendu en tant que combustible en obtenant de l'essence conventionnelle à partir du méthanol. La Nouvelle-Zélande et l'Argentine ont élaboré un programme important de production d'essence "M".

Aux Etats-Unis, toute activité majeure de production de méthanol sera basée à l'avenir sur le charbon, et le principal problème qui se pose en matière de développement "charbon-méthanol" est l'échelle des investissements nécessaires afin d'obtenir une unité de production de dimension économique. Cette situation nécessite, en général, la création de consortiums.

En Europe occidentale, l'Allemagne est le seul pays qui est à même de produire du méthanol à partir du charbon. Ce pays dispose d'amples réserves de houille, et l'utilisation du méthanol comme combustible réduira la dépendance de l'industrie par rapport aux importations de pétrole. L'autre charge de départ qui peut être envisagée pour produire de l'éthylène et du propylène est le gaz de synthèse, obtenu lui aussi normalement, à partir du charbon. La situation est identique à celle du méthanol, si l'on veut que le gaz de synthèse devienne une source énergétique majeure. Le rôle du gaz synthétique comme source d'énergie est limité par le coût élevé des investissements ainsi que par le problème de la distribution par gazoducs. de plus, il faut tenir compte de la variation de la qualité du charbon.

Récemment encore, il n'existait pas de technologie viable permettant de produire de l'éthylène et du propylène à partir du gaz de synthèse. Toutefois, aucun obstacle ne s'opposait, en théorie, à

la mise au point d'un procédé. En fait, le procédé Fischer-Trapsch, couramment utilisé pour produire du pétrole Sasol dans les usines de charbon d'Afrique du Sud, permet également d'obtenir de l'éthylène sous forme de sous-produit associé aux hydrocarbures. Selon les prévisions de la compagnie pétrolière Shell, 8 % du volume mondial d'éthylène seront dérivés du gaz de synthèse, en l'an 2000. (Réf. 2/, p. 17 à 20).

Au Japon, dont les ressources naturelles sont limitées, des mesures ont été prises à plus long terme, par exemple :

- Synthèse des matières pétrochimiques en utilisant du méthanol et du gaz synthétique comme charges initiales;
- Conversion des fractions lourdes de fond de baril, y compris résidus sous vide (UR), afin d'obtenir une charge initiale pour les usines d'oléfines;
- Utilisation accrue des sous-produits de raffinage;
- Diversification dans des secteurs de technologie avancée, par exemple électronique et biochimie 13/.

#### 4.12 Complexe raffinerie/usine pétrochimique

En raison de sa structure technologique, l'industrie pétrochimique se prête facilement à l'intégration, en particulier dans le sens vertical. Le concept de complexe raffinerie/usine pétrochimique est un exemple remarquable d'intégration verticale allant des matières premières (hydrocarbures) - charge initiale (produits de la raffinerie) jusqu'aux produits pétrochimiques de base, intermédiaires et finis, dans un schéma de production fermé, permettant de tirer un avantage maximal des sous-produits.

L'augmentation du prix du pétrole en 1973 et 1979, et l'élévation qui en a résulté au niveau des prix des charges de départ, de même que l'incertitude des approvisionnements, ont obligé les principales compagnies pétrolières à s'impliquer rapidement dans la production de produits pétrochimiques, en profitant du contrôle qu'elles exerçaient sur les ressources en hydrocarbures. Entre-temps, et en tant que politique défensive, la plupart des grandes entreprises chimiques ont développé leurs activités situées en amont, en se rapprochant des sources d'hydrocarbures. Dans ce contexte, elles ont agi isolément ou de concert avec les principales compagnies pétrolières, afin de garantir leur approvisionnement en charges de départ. En conséquence, plusieurs pays développés ont créé leurs propres compagnies nationales intégrées, pétrolières et pétrochimiques.

Il existe plusieurs liens potentiels entre le raffinage et la pétrochimie. Dans les pays industrialisés, on enregistre une tendance croissante à élargir le secteur pétrolier (grâce à la fabrication de produits finaux légers), de façon à pouvoir alimenter au maximum les deux principaux domaines d'utilisation : transports et industrie pétrochimique. Des procédés de raffinage confirmés - par exemple, craquage catalytique fluide (FCC), hydrocraquage, etc. - ont été de plus en plus souvent adaptés. Ces procédés donnent la possibilité d'augmenter les approvisionnements en charges de départ pétrochimiques conventionnelles.

Actuellement, des facteurs tels que l'adoption croissante de procédés catalytiques, qui relèvent fortement du génie chimique (températures et pressions élevées), et la nécessité de mieux comprendre la nature chimique des effluents de raffinage contribuent à l'établissement d'une interface solide et active entre la transformation du pétrole et l'industrie chimique.

---

13/ A. Yomijama, Restructuring the petrochemical industry in Japan, Douzième Congrès mondial de l'énergie, Houston, Texas, 1987.

Plusieurs facteurs participent à cette interface, qui devient internationale, par exemple intégration rétroactive des entreprises chimiques dans le secteur du raffinage; intégration en avant des compagnies pétrolières dans le secteur des substances organiques traditionnelles et des matières plastiques.

De nombreux exemples peuvent être cités pour illustrer l'interconnexion qui existe entre les opérations de raffinage et les liens potentiels avec l'industrie pétrochimique. Si l'on exclut l'hydrotraitement et la désulfuration, les principaux procédés de raffinage sont :

- Le craquage catalytique;
- L'hydrocraquage;
- L'isomérisation, et
- L'alcoylation.

L'isomérisation et l'alcoylation ne jouent pas un rôle tellement important dans l'industrie pétrochimique, car elles contribuent surtout à améliorer l'indice d'octane. Au contraire, le reformage catalytique est important, à la fois pour la pétrochimie et le raffinage, car il a pour objectif essentiel de maximaliser les substances aromatiques mononucléaires et les paraffines à chaîne ramifiée.

Le procédé fonctionne selon un mode pluridimensionnel :

- Déshydrogénation des naphthènes en substances aromatiques;
- Déshydrocyclisation des paraffines, provoquant la formation de composés nucléaires;
- Isomérisation des paraffines à chaîne directe en composés à chaîne ramifiée;
- Séparation entre la chaîne latérale des alkyles et les composés nucléaires, etc.

Par conséquent, le reformage catalytique est une source d'hydrocarbures aromatiques pour l'industrie pétrochimique. Plusieurs procédés ont été mis au point pour extraire les substances aromatiques (par exemple, Sylpholane/Shell et TETRA/UCC). Le produit de raffinage de ce procédé d'extraction constitue souvent une bonne charge initiale de vapocraquage.

Au niveau de l'industrie du raffinage, le procédé de reformage produit une matière première de mélange essentielle à l'obtention d'essences à haut indice d'octane.

Le craquage catalytique et l'hydrocraquage contribuent largement aux gains de valeurs que l'on peut obtenir à partir des résidus à haut point d'ébullition des fonds de colonnes atmosphériques.

#### 4.13 Mutation en direction des produits spéciaux

Afin d'améliorer les paramètres économiques d'exploitation, la plupart des compagnies pétrochimiques ont pénétré plus activement en aval et se sont spécialisés dans certains produits à plus forte valeur ajoutée, de façon à gagner un nouveau marché tout en limitant au minimum le volume des matières premières nécessaires. De plus, le marché pétrochimique est entré dans l'ère du génie chimique et des polymères à haute performance, et a enregistré un taux de croissance relativement supérieur à la moyenne. Les détails de cette nouvelle vague de polymères seront examinés dans les sections ultérieures consacrées aux perspectives de l'industrie.

## 5. REALIGNEMENT DE L'INDUSTRIE

### 5.1 Processus de restructuration

Les procédés technologiques ont joué un rôle fondamental dans l'aptitude remarquable de l'industrie pétrochimique à s'adapter à la conjoncture mondiale. L'augmentation du coût des matières premières a été progressivement, mais efficacement neutralisée par une augmentation correspondante des rendements totaux ainsi que par des réductions au niveau de la consommation

d'énergie des opérations de craquage. De même, l'arrivée progressive à maturation de toute une série de produits pétrochimiques d'aval a débouché sur une nouvelle génération de produits. L'apparition, sur le marché mondial, de nouvelles matières plastiques et autres produits pétrochimiques (caoutchoucs et fibres) a entraîné des avantages considérables : coûts de production, amélioration de la performance et caractéristiques techniques. Une innovation majeure est représentée par l'introduction des plastiques technologiques et des polymères à haute performance, une tendance qui sera analysée plus en détail dans les sections suivantes. En ce qui concerne la synthèse des polyoléfines, les activités de développement technologique ont été liées à l'introduction de procédés plus versatiles, par exemple méthodes capables de produire un éventail élargi de grades de polymères. D'autres perfectionnements technologiques ont correspondu à l'évolution de la catalyse, à l'extension de la durée de vie et à l'utilisation de comonomères courants.

Un autre exemple de modification apportée à la technologie de production est représenté par l'amélioration du procédé permettant d'obtenir du polypropylène, et par le remplacement du LDPE par le LLDPE. Trois nouveaux procédés de production de polypropylène ont été commercialisés au cours des cinq ou six dernières années, et ont entraîné une réduction des coûts totaux en capital, ainsi qu'une amélioration considérable du rendement, etc. Il convient de mentionner également les autres caractéristiques de ce processus de restructuration : les principales compagnies pétrolières ont consolidé leur présence dans l'industrie pétrochimique, en premier lieu parce qu'elles voyaient leur rôle diminuer au niveau de la gestion des réserves de pétrole; les grandes entreprises chimiques ont redéployé leurs investissements afin d'atténuer l'impact de la concurrence au niveau des produits matures et de garantir de nouvelles bases pour leur cash flow. En conséquence, les principales compagnies chimiques ont élaboré de nouvelles stratégies technologiques afin d'être moins dépendantes des sociétés pétrolières, du point de vue de l'accès aux matières premières et aux ressources énergétiques, par exemple en utilisant des matières premières qui pourraient être obtenues sans participation des sociétés pétrolières (surtout charbon et méthanol). L'autre stratégie, qui peut être qualifiée de "structurelle" concerne l'accès indépendant au pétrole.

Par exemple, Dow Chemical a acquis des réserves de l'ordre de 600 millions de tonnes de lignite et a entrepris de construire une raffinerie d'une capacité de 200 000 barils/jour à Freeport, Texas. De même, Monsanto possède des réserves de 30 millions de barils de pétrole et de 600 milliards de pieds cubiques de gaz naturel. Cette société exploite une raffinerie de brut d'une capacité de 32 500 barils/jour (Conoco Oil, Louisiane). Du Pont a réalisé la plus grande acquisition (fusion) de l'histoire des Etats-Unis en devenant actionnaire majoritaire de Conoco Oil, compagnie disposant d'abondantes ressources de pétrole. Du Pont a également créé la société Syngas en association avec United States Chemical (production de gaz synthétique à partir des fractions lourdes du pétrole brut).

Le processus de restructuration a également ouvert toute une série de possibilités en matière de coopération internationale, dans le but d'assurer une meilleure coordination des approvisionnements globaux en produits pétrochimiques, en tenant compte des besoins et des potentialités des pays concernés et d'optimiser l'utilisation de ressources qui étaient gaspillées ou non exploitées, etc.

## 5.2 Réduction de capacité, fermetures et mise au stand-by d'usines

Le début des années 80 a été marqué par une réduction importante de la capacité industrielle aux Etats-Unis, en Europe occidentale et au Japon. En effet, l'industrie a été obligée de réagir face à une surcapacité considérable et à la stagnation de la demande. L'expansion de la capacité, durant les années 70, a été supérieure à la croissance de la demande, entraînant une surcapacité en 1980. Dans le même temps, les niveaux d'utilisation de capacité suivants ont été enregistrés : Europe occidentale - 60 %; Japon - 65 %; et Amérique du Nord - 70 %. Cette situation a obligé les trois régions développées à réduire leur capacité de production des substances pétrochimiques les plus affectées - éthylène, PVC et polyéthylène de basse densité -, en procédant à une restructuration. Entre 1980 et 1983, les fermetures de capacité nette, dans ces régions, ont représenté 7 520 000 tonnes pour l'éthylène; 1 550 000 tonnes pour le PVC et 2 920 000 tonnes pour

l'éthylène de basse densité (tableau 7.1). Les usines obsolètes et marginales ont été mises définitivement à l'arrêt, tandis que certaines installations âgées étaient réaménagées grâce à l'introduction de technologies nouvelles et de mesures permettant de réaliser des économies d'énergie.

Le tableau 5.1 indique que l'Europe occidentale a enregistré les fermetures d'usines les plus importantes en volume et en pourcentage (20 %). Le Japon s'est situé à la deuxième place, en volume, mais en première position en pourcentage (35 %), tandis que les Etats-Unis fermaient environ 10 % de leur capacité de production d'éthylène.

Tableau 5.1 Réduction de capacité aux Etats-Unis, en Europe occidentale et au Japon, 1980-1983 a/

	Fermeture d'usines		Usines en stand-by
	1000 tonnes par an	Pourcentage de la capacité totale	
<b>Ethylène</b>			
Etats-Unis	1 700	10	3 800
Europe occidentale	3 750	21	250
Japon	2 250 a/	36	520
<b>TOTAL</b>	<b>7 520</b>		<b>4 570</b>
<b>PVC</b>			
Etats-Unis	200	6	500 b/
Europe occidentale	860	14	
Japon	490 a/	24	
<b>TOTAL</b>	<b>1 550</b>		
<b>LDPE</b>			
Etats-Unis	830	21	
Europe occidentale	1 820	27	
Japon	270 a/		
<b>TOTAL</b>	<b>2 920</b>		

a/ Les chiffres relatifs aux fermetures d'usines au Japon englobent les fermetures planifiées jusqu'au mois d'août 1985.

b/ Mesure ajournée.

En Europe de l'est, les chiffres de capacité et de production n'ont pas beaucoup changé entre 1980 et 1983. Les valeurs relatives à l'utilisation de capacité sont pratiquement restées au niveau de 80 %. Dans l'ensemble des pays en développement, la capacité totale de production d'éthylène s'est développée, en fait, durant cette période, et est passée de 4 à 6 millions de tonnes. Toutefois, l'utilisation de capacité a été très médiocre : elle n'a atteint que quelque 60 % en 1983.

D'autre part, il était prévu qu'une nouvelle capacité de production d'éthylène serait mise en exploitation grâce au démarrage des nouveaux complexes pétrochimiques qui étaient en construction en Arabie Saoudite, au Canada et au Mexique. Cette situation a eu pour conséquence de modifier la contribution des régions dans la capacité mondiale 14/.

14/ World changes in the structure of the petrochemical industry, 1980-1983, UNIDO/PC/123, 9 octobre 1985, p. 6,8 et 19.

Néanmoins, le processus de restructuration s'est poursuivi durant les années 80. Malgré le niveau relativement modéré et stable des prix des charges de départ, certaines usines de craquage situées en Europe ont été candidates à la fermeture, alors qu'elles auraient pu être sauvées grâce à un rachat. Malheureusement, aucun producteur n'a manifesté son intérêt. Parmi ces usines, il convient de citer les usines de vapocraquage de CdF Chimie, à Dunkerke, et le complexe Sines de la CNP (Companhia Nacional de Petroquímica)

ICI s'est également retirée complètement de la production de polyéthylène et a abandonné 50 % de ses activités de fabrication de monomère de chlorure de vinyle et de PVC en créant une entreprise mixte avec Enichen, etc. 15/.

### 5.3 Spécialisation dans des lignes de production spécifiques

Compte tenu des forces nouvelles qui influençaient l'industrie, et en tant qu'autre mesure de restructuration, les producteurs traditionnels se sont de plus en plus spécialisés dans les lignes de production spécifiques, en se concentrant sur des produits et activités qui correspondaient le mieux à leurs capacités, plutôt que de considérer qu'ils devraient fabriquer tous les produits pour rester sur le marché. Un nombre croissant de compagnies se sont efforcées de conserver ce qu'elles étaient à même de faire le mieux, et les efforts de consolidation ont reçu la priorité. De plus, les compagnies situées aux Etats-Unis ont décidé d'allier leurs efforts, comme en Europe occidentale : la restructuration a impliqué des fusions et la création d'entreprises mixtes, dans le but de constituer des sociétés plus spécialisées et d'adopter une stratégie de commercialisation plus rationnelle 16/.

Les grandes entreprises chimiques ont accordé la priorité à la production de substances pétrochimiques spéciales à forte valeur ajoutée, par exemple matières plastiques technologiques, fibres industrielles, etc. et ont lentement abandonné leur prédominance dans le secteur des produits chimiques en vrac, de faible valeur ajoutée. Cette évolution a également été accompagnée par une relance des activités de recherche-développement 17/.

## 6. RECHERCHE DE NOUVELLES CHARGES INITIALES

L'industrie pétrochimique était devenue presque entièrement dépendante d'une énergie et de charges de départ basées sur le pétrole et sur le gaz naturel. Elle s'était éloignée du charbon en raison des prix extrêmement bas et de l'ample disponibilité des hydrocarbures. Cette situation a été totalement bouleversée par l'augmentation abrupte du prix du pétrole et de ses dérivés, à partir de 1973. A la suite du deuxième choc pétrolier (1979), associé à des difficultés d'approvisionnement en pétrole brut et donc en naphta (et à l'utilisation concurrentielle du naphta pour l'alimentation des moteurs et la production pétrochimique), l'industrie n'a plus eu la certitude de pouvoir obtenir ses charges initiales et couvrir ses besoins en énergie à des prix et en quantités permettant de conserver une marge bénéficiaire suffisante. En conséquence, l'attention, les efforts et les activités ont été orientés vers la recherche de sources alternatives et l'obtention d'une plus grande flexibilité au niveau des charges de départ, de façon à pouvoir passer d'une source à une autre, en fonction de la disponibilité des approvisionnements et des différences de prix.

Ces matières brutes utilisées par l'industrie pétrochimique peuvent être classées en deux grandes catégories : 1) charges basées sur les hydrocarbures conventionnels, par exemple gaz naturel

---

15/ Chemical Insight N° 346, juillet 1986, p. 7.

16/ C. H. Vervalin, Petrochemical Industry's outlook, Hydrocarbon processing, mai 1986, p. 41 à 43.

17/ The petrochemical industry in developing countries, Prospects and Strategies, UNIDO/IS.572, 24 octobre 1985, p. 47.

et produits de raffinage (fractions légères et lourdes); 2) charges obtenues à partir d'hydrocarbures non conventionnels, par exemple charbon, sables asphaltiques, schiste bitumeux et biomasse.

En ce qui concerne la première catégorie, les efforts ont porté sur les aspects suivants :

### 6.1 Produits plus légers

Alors que les efforts étaient ciblés sur l'accès à des matières de départ plus légères, notamment de la part des compagnies d'Europe occidentale, par exemple GLN, GPL et distillats provenant des gisements de la Mer du Nord, on a enregistré une augmentation des importations de GNL en provenance du Moyen-Orient et d'Afrique, ainsi qu'un accroissement de la production de gazole de raffinage (renforcement de la contribution du craquage catalytique et thermique). Ces tendances permettraient de diminuer la dépendance de l'industrie pétrochimique à l'égard du naphta et, simultanément, d'atténuer le conflit matière de départ/combustible. En conséquence, les Européens pourraient, à moyen terme, introduire un certain degré de flexibilité dans leurs unités de craquage d'éthylène, de façon à pouvoir utiliser des matières brutes plus légères (emploi de co-charges de départ, naphta et GPL), naphta et GNL, etc.).

L'éthane doit être retenu, pour les raisons évidentes, lorsqu'il est disponible, et son rôle sera prédominant au Moyen-Orient et dans d'autres régions riches en pétrole et en gaz. Alors que l'éthane se développe en Europe, son importance est en train de diminuer aux Etats-Unis.

Le gaz de pétrole liquéfié (GPL) est une autre alternative particulièrement intéressante, mais son utilisation dépendra du niveau des prix, car de nombreux clients potentiels sont en compétition pour se le procurer (Réf. 17/, p. 35 et 36).

### 6.2 Utilisation des fractions lourdes

De plus, des efforts sont entrepris au niveau international pour utiliser de plus en plus les fractions lourdes. La technologie est disponible et déjà bien confirmée, aux Etats-Unis. Son introduction est rapide, en Europe, et elle s'implante progressivement au Japon. Cette tendance a été renforcée par plusieurs facteurs :

- La production supplémentaire de pétrole s'effectue de plus en plus sur la base des fractions lourdes. En conséquence, on peut supposer que la contribution de ces dernières sera supérieure à ce que l'on peut obtenir sur la base du pétrole traditionnel (par exemple pétrole léger d'Arabie);
- L'OPEP a pour politique de fournir du pétrole brut en appliquant un rapport léger/lourd. Par exemple, l'Arabie saoudite livre du pétrole correspondant à 65/35 léger/lourd;
- La plupart des pays industrialisés ont l'intention de maintenir la consommation de pétrole aux niveaux enregistrés à la fin des années 70, dans le cadre d'une planification à long terme, même si la consommation augmente durant une période intérimaire. A cet effet, ils adopteront une stratégie permettant d'assouplir la production en obtenant des produits "légers" grâce à la conversion des fractions plus lourdes en matériaux plus légers;
- Les pays de l'OPEP sont en train de construire une capacité très importante de raffinage, qui servira de source nette de résidus lourds;

La technologie qui permet de traiter les fractions lourdes implique l'utilisation des fractions de la colonne atmosphérique et la distillation des produits de la colonne sous vide :

- Résidus de fond de colonne atmosphérique;
- Gazole sous vide;
- Résidus de fond de colonne sous vide.

Parmi les différents procédés confirmés, deux sont particulièrement pertinents du point de vue de leur capacité à fournir des matières brutes à l'industrie pétrochimique, notamment dans une raffinerie intégrée ou une raffinerie chimique : craquage catalytique et hydrocraquage.

Le craquage catalytique est plus important, en ce qui concerne les produits pétrochimiques, en particulier dans sa version moderne, c'est-à-dire le craquage catalytique fluide (FCC), qui est employé au niveau international et qui génère principalement des oléfines : C<sub>3</sub> et C<sub>4</sub>. Lorsque la charge de départ est hydrogénée - par exemple gazole sous vide hydrogéné - , les rendements d'éthylène sont augmentés. En fait, mis à part le craquage du naphta (vapocraquage), le craquage catalytique fluide (FCC) est la seule source disponible pour produire des oléfines plus légères (aux Etats-Unis, il s'agit de la source principale). Alors que le craquage catalytique fluide de type conventionnel était orienté vers la maximalisation du rendement d'essence et du rapport liquides/gaz, les nouvelles versions du procédé donnent la possibilité de maximaliser le GPL oléofinique (tableau 6.1). Etant donné que les catalyseurs FCC sont sensibles au soufre, une charge hydrotraitee est souvent nécessaire, et permet, à son tour, d'augmenter la production d'éthylène.

Tableau 6.1 Rendement FCC, GPL maximalisé

	Charge gazole sous vide du Koweit, 9 000 m <sup>3</sup> /jour	
	Cas A (GPL max.)	Cas B (Essence max.)
<u>Gaz combustible (NM<sup>3</sup>)/jour</u>	630	469
<u>Liquides (M<sup>3</sup>)/jour</u>		
GPL C <sub>3</sub>	1 659	1 086
GPL C <sub>4</sub>	1 902	1 469
Essence, huiles lourdes	5 075	7 215
<u>Compositions gaz combustible</u>		
Hydrogène	11	13
Méthane	42	37
Ethane	15	17
Ethylène	18	15
C <sub>3</sub> S	6	7
Gaz rares	8	11
	100	100
<u>C<sub>3</sub> - GPL, % vol.</u>		
Propylène	75	77
Propane	25	23
<u>C<sub>4</sub> - GPL, % vol.</u>		
Butylènes	59	61
Butanes	41	39
<u>Potentiel d'oléfines</u>		
Ethylène, tonnes/an	48 300	29 700
Propylène	221 100	148 500
Butylène	232 500	180 300

Les pays en développement pourraient utiliser les fractions lourdes et les résidus en tant que sources d'hydrocarbures à prix réduit. Les résidus et les fractions lourdes proviennent de différentes opérations par exemple, distillation sous vide, désasphaltage au solvant, craquage thermique, etc. ainsi que de l'utilisation de différents types de brut, par exemple bruts "métalliques", brut à haute teneur en soufre, bruts asphaltiques.

Toutefois, indépendamment des sources, les pays en développement pourraient éventuellement utiliser les résidus, ainsi que d'autres sous-produits, dans des procédés d'oxydation partielle (Texaco, Shell et autres méthodes de gazéification) qui sont largement appliqués depuis plusieurs années dans les pays industrialisés.

Pour les pays qui ne disposent pas de charbon, les fractions lourdes de "fond de baril" constitueront le plus souvent la source d'hydrocarbures la moins coûteuse. De plus, le transport de ces matières n'implique aucun problème de sécurité.

La deuxième catégorie de charges de départ alternatives non conventionnelles comprend l'utilisation de charbon, sables asphaltiques, schistes bitumineux et biomasse.

Depuis plus de 50 ans, les pays industrialisés s'efforcent de développer - dans la plupart des cas - avec succès, des technologies permettant d'utiliser toute les sources d'hydrocarbures disponibles et elles sont nombreuses, par exemple charbon, schistes asphaltiques et schistes bitumeux, sur la base de leur disponibilité stratégique, de leurs prix relatifs et de leur adéquation. Cependant, la plupart de ces technologies ont été mises au fond d'un tiroir, en raison de l'ample disponibilité de sources conventionnelles d'énergie provenant de la découverte de gisements de pétrole en Arabie saoudite (1951), de nappes de gaz en Algérie (1956), en Alaska (fin de 1960), de réserves de pétrole en Mer du Nord (1963) et de gisements de gaz en Sibérie (UR'S) (1965/1966), etc. D'autres facteurs sont intervenus par exemple élévation du niveau de vie dans les pays industrialisés qui a entraîné la fermeture des mines de charbon, renforcement de la prise de conscience à l'égard de l'environnement.

L'augmentation du prix du pétrole, en 1973, a entraîné pour la première fois depuis la seconde guerre mondiale, dans les pays à économie de marché, une relance des efforts déployés afin d'étudier les sources alternatives d'énergie et de matières brutes, et les technologies s'y rapportant (Réf. 2/, p. 189 et 190).

### 6.3 Utilisation du charbon

En matière de recherche sur des sources alternatives d'énergie et de matières brutes, l'activité a porté principalement sur la gazéification des combustibles fossiles solides, en premier lieu charbon, afin de produire un mélange de gaz de synthèse. Les procédés en question étaient connus depuis les années 30 et avaient été confirmés à l'échelle industrielle. Au cours des années 70, les pays non membres de l'OPEP qui disposaient d'amples réserves de charbon, ont entrepris de développer des technologies permettant de transformer le gaz de synthèse provenant du charbon en matières "pétrochimiques", basées en général sur les distillats de pétrole brut ou le gaz naturel liquide. Dans certains cas, il a fallu repenser les anciennes technologies, par exemple le procédé de carbonylation du formaldéhyde en éthylène glycol, ou rechercher de nouveaux procédés destinés à convertir le gaz de synthèse ou le méthanol en produits pétrochimiques, par exemple, éthylène, éthanol, styrol, paraxylène et acétate de vinyle (Réf. 3/).

Il est certain qu'il existe plus de charbon que de pétrole ou de gaz dans les pays industrialisés (y compris Australie, Canada et Afrique du Sud), comme source principale d'énergie. En conséquence, les efforts technologiques ont été ciblés sur l'utilisation du charbon. Les réserves mondiales de charbon s'élèvent approximativement à 67,3 % des réserves confirmées de combustible fossile; contre 18,1 % seulement pour le pétrole, et 14,6 % pour le gaz.

Bien qu'il existe un grand nombre de procédés permettant d'obtenir des charges de départ pour la production pétrochimique à partir du charbon, des substances liquides et du gaz, les obstacles principaux à l'utilisation du charbon et de certaines autres sources alternatives (sables asphaltiques, schiste bitumeux et biomasse) sont de nature économique. Ces sources sont plus coûteuses, à la fois en investissements et au niveau de l'exploitation. Dans le cas du charbon, les principales difficultés sont liées aux aspects suivants :

- La manutention de grandes quantités nécessite des investissements considérables;
- Les hydrocarbures provenant du charbon ont besoin d'hydrogène, car le charbon a une teneur faible ou zéro en hydrogène; et
- En général, l'efficacité obtenue avec des matières solides, dans tous les procédés chimiques, est inférieure à celle des liquides.

Tableau 6.2 Réserves mondiales de pétrole, gaz et charbon (milliards de barils d'équivalent pétrole) au 1er janvier 1990

	Pétrole brut	Gaz naturel	Charbon
Amérique du Nord (Etats-Unis et Canada)	32	52	1 068
Amérique latine	125	51,8	72
Afrique	58,8	53,3	316
Europe occidentale	18,8	38,4	431
Moyen-Orient	660,1	253,2	2
Asie-Pacifique	22,6	49,5	324
CPES	84,1	312,6	1 504*
Total mondial	1 001,3	810,9	3 717

\* Y compris Chine

Source : Plusieurs sources - pour le pétrole brut et le gaz, il s'agit principalement de revues spécialisées; numéros de décembre 1989. Les chiffres relatifs au charbon sont extraits des informations de BP et de l'AIEA).

En ce qui concerne les procédés utilisés pour produire des charges initiales pour substances pétrochimiques à partir du charbon, et à l'exception des méthodes basées sur la carbonisation du charbon (qui est employée depuis longtemps pour obtenir principalement des hydrocarbures aromatiques), tous les autres procédés produisent des précurseurs de l'éthylène : procédé Bergius, procédé COED (EMC Corporation) pyrolyse par vaporisation (Occidental Research Corporation), procédé au solvant par contribution d'hydrogène (Exxon), procédé H-charbon (Hydrocarbon Research Inc.), procédé Fischer-Tropsch, procédé Mobil, extraction au solvant (National Coal Board).

#### 6.4 Sables asphaltiques et schistes bitumeux

D'autres sources alternatives d'hydrocarbures et d'énergie pourraient être obtenues grâce à l'exploitation des gisements de sables asphaltiques et de schiste bitumeux.

Les sables asphaltiques et les schistes bitumeux sont des catégories de sable qui contiennent des hydrocarbures particulièrement vicieux. L'huile (goudron) qui se trouve dans les sables doit être extraite, à l'opposé du pétrole qui s'écoule par sa propre pression ou en injectant de la pression. Il existe quelque 3 milliards ( $3 \times 10^{12}$ ) de barils de pétrole dans les gisements mondiaux de sable asphaltique, pour la plupart situés au Venezuela, en URSS, au Canada (Alberta) et aux Etats-Unis.

Un des principaux problèmes posés par les sables asphaltiques est la teneur élevée en soufre du pétrole récupéré (3,5 - 5 % poids). Le pétrole est fortement aromatique et constitue, par conséquent, une matière brute de choix pour la production d'essence. Toutefois, les compagnies canadiennes utilisent ce pétrole pour la "production pétrochimique".

Le schiste bitumeux, ou pétrole contenu dans la roche, est un hydrocarbure à structure complexe, assez semblable à l'asphalte. Ses réserves sont plus importantes que celles de sable asphaltique, selon les études faites par Shell Oil. Dans de bons gisements, la teneur en pétrole est en moyenne de 10 %. Aucun obstacle technologique n'empêche son utilisation comme source commerciale d'énergie et/ou de charge de départ. L'extraction du schiste bitumeux est pratiquée depuis plusieurs décennies en Estonie. De petites opérations de récupération existent également au Brésil et en Chine.

Le naphta obtenu à partir du schiste bitumeux a une teneur élevée en paraffine et donne, par conséquent, un excellent niveau d'éthylène et de propylène, dans des opérations conventionnelles de vapocraquage.

#### 6.5 Produits d'origine biologique (Biomasse)

En tant que matière première destinée à l'industrie pétrochimique, la biomasse (matière d'origine biologique) peut être transformée de différentes façons, principalement par fermentation, gazéification, pyrolyse, hydrotraitement et autres méthodes chimiques.

Les seuls dérivés de la biomasse pour lesquels il existe une technologie de conversion en produits chimiques intermédiaires utilisables sont l'éthanol via la fermentation; le gaz de synthèse par oxydation partielle; et les liquides de pyrolyse.

La fermentation est la méthode la plus ancienne et la mieux éprouvée, qui permet d'obtenir les deux produits finaux : alcool et méthane. L'alcool, qui est un bon matériau de départ et qui a été utilisé autrefois comme source principale d'éthylène, a été obtenu depuis le début à partir du sucre. Actuellement, ce procédé est utilisé sur une grande échelle industrielle pour produire de l'alcool en tant que carburant pour moteurs. Des activités de recherche-développement sont en cours dans le but d'utiliser des matières premières moins coûteuses, par exemple amidon et cellulose, uniquement par des procédés biologiques.

La production de méthane par fermentation des déchets organiques est également un procédé confirmé, mais il ne peut être utilisé que sur une faible échelle pour la production de combustible, et ne sert que rarement de charge industrielle de départ.

Du point de vue économique, les produits obtenus grâce à ces procédés - y compris gaz de synthèse, liquides de pyrolyse et éthanol -, ne sont généralement pas considérés comme étant eux-mêmes des matières pétrochimiques de base. Par conséquent, il est nécessaire de prévoir leur conversion supplémentaire en produits pétrochimiques (par exemple éthylène), afin d'évaluer la compétitivité économique de la biomasse par rapport aux charges de départ basées sur le pétrole.

Par exemple, on peut obtenir de l'alcool éthylique à partir de la fermentation du grain, à un coût de 780 dollars EU par tonne (considérant que le blé coûte 230 dollars EU/tonne et la paille destinée à l'énergie - 35 dollars/tonne). Si l'on convertit cette quantité en éthylène (une tonne d'éthylène nécessite 1,7 tonne d'alcool éthylique), le coût de l'éthylène est de l'ordre de 1 453 dollars EU/tonne.

Dans un pays comme le Brésil, qui utilise de la canne à sucre en très grandes quantités, la situation est encore plus prometteuse : sur la base de ce procédé, le coût de l'éthylène produite a été estimé à 980 dollars EU/tonne, aux prix de 1980.

Un développement intéressant, dans ce domaine, est constitué par le procédé d'Oxo-synthèse (par réaction de gaz de synthèse) qui est utilisé pour produire des oxo-alcools destinés à la fabrication de plastifiants. L'hydrolyse des déchets de bois ou de céréales donne du sucre, et le sous-produit organique est gazéifié pour obtenir un mélange riche en CO. Grâce à des séries de réactions complexes et enchainées, il est possible de produire de l'acétate de vinyle ou d'éthyle, à partir du sucre et du gaz riche en CO.

Les principaux problèmes liés à l'utilisation de la biomasse en tant que source d'énergie et de matières brutes pour l'industrie chimique, sont les suivants : difficulté de collecter des quantités suffisantes de matière première; transport; problèmes logistiques associés aux intrants; faible concentration des produits, car les procédés biologiques entraînent finalement des coûts élevés.

On peut s'attendre à des percées technologiques, à des surprises et même à des résultats novateurs et révolutionnaires, grâce aux procédés biologiques. Cependant, en raison de leur nature, il faudra attendre vraisemblablement une dizaine d'années pour que ces procédés soient généralement acceptés et commercialisés.

#### 6.6 Considérations économiques

En conclusion, il est clair que des charges initiales alternatives sont disponibles pour l'industrie pétrochimique et qu'il existe des procédés commerciaux correspondants, qui permettent de produire des substances pétrochimiques primaires. Plusieurs usines d'échelle industrielle sont en exploitation dans le monde; les activités de recherche se poursuivent; et de nouveaux progrès seront certainement réalisés. Toutefois, l'utilisation effective de toutes ces charges de départ alternatives est fortement liée à l'hypothèse selon laquelle le pétrole deviendra de plus en plus cher, et que son prix se maintiendra à un niveau supérieur à celui des ressources alternatives. De même, cette hypothèse prévoit que le coût de production sera compétitif. Une méthode d'estimation a été élaborée afin d'évaluer l'aspect économique de ces sources alternatives pétrochimiques et énergétiques. De plus, en traitant toutes les technologies d'une manière uniforme, Shell a été en mesure d'estimer le coût de production de combustibles liquides à partir du charbon, du sable asphaltique et du schiste bitumeux. Cette estimation a été mise à jour par European Chemical News (1979).

Tableau 6.3 Coût de production des combustibles liquides à partir du charbon, du sable asphaltique et du schiste bitumeux

	Prix par baril de pétrole en dollars EU (1979)
- Combustibles liquides à partir du charbon, Etats-Unis	30 - 37
- Combustibles liquides à partir du charbon importé en Europe	30 - 34
- Combustibles liquides à partir de sables asphaltiques a/	15 - 25
- Combustibles liquides à partir de schiste bitumeux	15 - 35

a/ Procédé déjà commercialisé au Canada.

Les données qui précèdent ont été basées sur les prix suivants : pour le charbon :

	Prix par baril d'équivalent pétrole en dollars EU (1979)
- Charbon indigène aux Etats-Unis	3 - 5
- Charbon importé en Europe du Nord-Ouest	8 - 14
- Charbon indigène en Europe	10 - 15
- (comme référence, importation de GNL en Europe)	10 - 25

Ces prix ont incité Shell (et d'autres compagnies) à prévoir des niveaux substantiels de production de "liquides-charbon" et de schiste bitumeux aux Etats-Unis.

La viabilité de ces technologies est étroitement liée aux investissements requis. Pour des projets de "dimension économique", les chiffres indicatifs d'Exxon et de Flower sont les suivants :

	Schiste bitumeux	Sables asphaltiques	Liquéfaction du charbon
Taille de l'usine	50 000 barils/j	150 000 barils/j	58 000 barils/j
Investissement (milliards de dollars EU)	2 - 3	3 - 4	4 - 5

De tels niveaux d'investissement constituent une contrainte, même pour les plus grandes compagnies (Réf. 2/, p. 196 - 198).

### 6.7 Rôle des produits spéciaux

Le processus de restructuration qui a démarré en réalité au milieu des années 70, et s'est poursuivi durant les années 80, a impliqué toute une série de mesures destinées à redresser l'industrie après la période particulièrement difficile à laquelle elle avait été confrontée de 1973 au début des années 80. Une de ces mesures, qui a été discutée précédemment, est la diversification des matières brutes. Il convient également de mentionner la diversification des produits. Les producteurs situés dans les pays développés ont estimé que le marché qui s'offrait à la plupart des produits pétrochimiques de base était arrivé à maturité, que la marge était étroite et que le domaine des applications nouvelles ne pouvait pas être suffisamment élargi pour garantir leurs bénéfices. En conséquence, l'attention s'est portée sur des lignes de spécialisation à plus forte valeur ajoutée, alors que le secteur des applications était encore peu développé.

Les matières plastiques standard (PE, PP, PVC et PS), qui représentent 95 % du marché avec une valeur inférieure à 2 dollars EU par kilogramme, sont parvenues à maturité. Seules les polymères technologiques à forte valeur ajoutée et à performance élevée enregistreront une croissance supérieure à la moyenne, à cause de leur forte performance, de leur solidité/rigidité élevée et de leur résistance à la chaleur. Les prix des matières plastiques technologiques sont nettement plus élevés, allant de 2 dollars à 5 dollars EU par kilogramme. Dans le cadre d'une classification générale, ces matières comprennent les produits suivants : polyamide, polycarbonate, polyacétyle, oxyde de polyphénylène, polyester et alliages de polycarbonate. Les "polymères" à haute performance comprennent en premier lieu les produits suivants : polyarylate, imide de polyester, polymère en cristal liquide, polysulfone, polyester sulfone, sulfure de polyphénylène; polyéthacétone et polyacrylimide.

Le développement des polymères technologiques est caractérisé par certaines modifications par exemple utilisation de filtres et de matériaux d'armature, fusion ou mélange de polymères. De leur côté, les polymères à haute performance sont caractérisés par la rotation de leurs propriétés mécaniques et électriques, même à des températures supérieures à 200 °C, ainsi que par leur résistance inhérente au feu. La consommation de polymères à haute performance est faible en comparaison des polymères technologiques. Cependant, leur prix est très élevé, de l'ordre de 50 dollars EU par kilogramme et au-delà.

En termes de volume, les polymères à haute performance représentent moins de 2,5 % du marché total des polymères technologiques. Le marché le plus important, pris individuellement, est celui du sulfure de polyphénylène, suivi par le polysulfone.

Les principales applications des polymères technologiques sont énumérées ci-dessous, sur base des données disponibles en 1988.

- Transports 27 %
- Electricité et électronique 22 %
- Machines et industrie 11 %
- Consommation et loisirs 11 %

- Tôles et pellicules	10 %
- Appareils ménagers et outils	8 %
- Monofilaments	2 %
- Autres	9 %

Les fournisseurs mondiaux de polymères technologiques sont encore peu nombreux et sont principalement concentrés en Amérique et en Europe. General Electric vient en première position, suivi par Hoechst, Bayer Dupont et BASF 18/.

Au Japon, durant la période 1978-1985, la production des cinq principales matières plastiques technologiques (polyamide, polyester, polyacétal, polycarbonate, polyphénylène éther) a enregistré un taux de croissance moyen de 14 %, contre 5,5 % pour les cinq principales résines commerciales (LDPE; HDPE, PP, PVC et PS). Cette tendance a encouragé les entreprises pétrochimiques japonaises à accélérer la mise au point et la commercialisation des matières plastiques technologiques, en tant que produits spéciaux à forte valeur ajoutée.

Au niveau international, les prescriptions de plus en plus contraignantes en matière de qualité et de coût, applicables aux matières plastiques industrielles et exigées par les utilisateurs finaux, par exemple pour les automobiles et les appareils électro-ménagers, ont contribué à l'amélioration de la qualité des produits de fabrication locale, leur conférant un avantage considérable du point de vue de la qualité par rapport aux produits étrangers. En conséquence, très peu de produits importés sont actuellement utilisés, dans des domaines d'application faisant l'objet de normes strictes de qualité.

Les compagnies japonaises ont mis au point toute une série de technologies ayant pour but de différencier les produits, par exemple alliages de polymères et copolymères solides.

#### 6.8 Rôle des matériaux composites

Le matériau composite peut être défini comme étant un ensemble de deux ou plusieurs matériaux, donnant un produit final qui possède des caractéristiques avantageuses, lesquelles ne peuvent généralement pas être obtenues à partir d'un seul de ses composants, pris isolément.

La catégorie de matériau qui concerne principalement l'industrie pétrochimique est constituée par les matières plastiques renforcées à la fibre, dont le développement s'est plus particulièrement orienté vers des composites renforcés unidirectionnellement, destinés à des composantes qui sont soumises à des fortes tensions mécaniques et thermiques. De nombreux polymères peuvent être utilisés pour produire des matériaux composites, et différentes fibres sont également employées.

Parmi les matériaux composites conventionnels, le polyester renforcé à la fibre de verre est le plus largement utilisé dans la construction et les canalisations. Les matières premières sont des résines de polyester insaturé, ainsi que différentes catégories de fibre de verre. L'industrie des matières plastiques renforcées à la fibre existe depuis plus de 30 ans et s'est développée d'une manière ininterrompue.

Les principaux marchés restent concentrés dans les pays industrialisés (80 %), tandis qu'environ 20 % de la production mondiale de matières plastiques renforcées à la fibre sont utilisés en Amérique latine (9,3 %), en Afrique, en Asie occidentale et dans d'autres régions. Aux Etats-Unis et en Europe, les principales applications se situent dans les secteurs de la construction maritime; des équipements résistant à la corrosion (cuves, canalisations, etc.) des transports, etc. Au Japon, on enregistre des différences considérables au niveau des modes d'utilisation : emploi considérable des matériaux dans la construction de logements et le secteur maritime; faible utilisation dans le domaine des transports et des biens de consommation.

---

18/ Chemical Week, 1er novembre 1989.

On a récemment enregistré un accroissement record de l'utilisation de ces matériaux, en Asie occidentale, dans les systèmes d'adduction d'eau et de décharge des effluents (par exemple, résistance à la corrosion). Dans les autres pays en développement, l'utilisation de ces matériaux a progressivement augmenté, et sera encore renforcée lorsqu'il faudra remplacer les matériaux conventionnels.

La caractéristique majeure des plastiques renforcés à la fibre est la mise au point de matériaux composites avancés, grâce à l'utilisation de différents types de fibres, principalement de fibres de carbone et d'aramide.

Les matériaux composites, qui comprennent une seule fibre ou plusieurs fibres hybrides, sont utilisés très largement dans toute une série d'industries : aéronefs militaires; hélicoptères; pales de rotor; navettes spatiales; moulins à vent et volants de commande; équipements sportifs (raquettes de tennis, cannes à pêche, skis, canoës, etc.); bateaux commerciaux et militaires; aviation civile (le Lear Fan sera construit entièrement en plastique avec une quantité considérable de carbone/aramide, ce qui permettra d'économiser de 30 à 40 % de poids par rapport à une construction conventionnelle. Le Boeing 767 utilise environ 3 tonnes de matériaux composites, qui représentent 3 % du poids total de son fuselage); construction automobile (réduction de poids et consommation d'énergie); industrie mécanique (les matériaux composites avancés procurent une rigidité spécifique élevée et une haute résistance, notamment les composites époxydes au carbone qui sont particulièrement bien adaptés aux applications dynamiques (augmentation de la vitesse et réduction du bruit) 19/ (Réf. 18/).

#### 6.9 Nouveaux matériaux supplémentaires

Dans les secteurs de l'électronique, de l'informatique, de l'espace, etc., les polymères sont utilisés pour assurer des fonctions spécifiques, par exemple conductivité électrique ou propriétés optiques, qui constituent un nouveau marché. Les polymères à cristal liquide (PCL) ont conféré une nouvelle dimension aux polymères à haute performance. Ils possèdent à la fois les propriétés des liquides (viscosité) et des cristaux (anisotropie). A cause de cette structure moléculaire, les polymères à cristal liquide sont capables de résister à des forces beaucoup plus considérables que les polymères conventionnels partiellement cristallins. Les applications, notamment en électronique, comprennent les raccordements, les calibres de bobines et les résistances.

Une autre catégorie de polymères comprend les matières thermoplastiques en cétones de polyester aromatique (PEK), qui possèdent la plus forte résistance à la chaleur et sont capables de fonctionner pendant de longues périodes à des températures élevées. En raison de leur combinaison remarquable de propriétés, ces matériaux sont utilisés dans toute une série de nouvelles applications : éléments fonctionnels des compteurs d'eau chaude; composantes des véhicules à moteur; construction de conteneurs; appareils pour l'industrie chimique; éléments de moteurs électriques; relais; isolation des fils et des câbles.

Ces polymères ne sont pas seulement utilisés en raison de leurs propriétés mécaniques et thermiques : ils possèdent également certaines caractéristiques fonctionnelles, par exemple propriétés optiques ou conductivité électrique. La transmission visuelle des informations par moyen optique est assurée par des guides d'ondes par exemple, câbles en fibres optiques. Comparés aux câbles conventionnels à fibres allongées, ces systèmes optiques offrent les avantages suivants : entretien réduit; meilleure transmission des données; allègement du poids; diminution de la sensibilité aux interférences

Ce marché s'est développé d'une manière dynamique. Les progrès les plus récents concernent le remplacement du quartz qui était utilisé jusqu'à présent pour fabriquer des fibres optiques, par un matériau de substitution : principalement du méthacrylate de polyméthyle (PMMA).

---

19/ E. Anderson et B. Lux, Potential applications of composite material and associated technology in developing countries, 1986.

De nombreux autres exemples de mise au point et d'application de nouveaux matériaux peuvent être cités, par exemple l'utilisation de polymères à haute performance comme éléments de photorésistance dans la fabrication de circuits intégrés, etc.

Ces polymères à performance spéciale viennent de faire leur apparition sur le marché global et les activités de recherche se poursuivent. Il est donc prématuré d'envisager l'avenir, car, pour citer M. Akira Yomiyana, Asahi Chemical Industry, Japon) : "L'histoire démontre que l'on peut toujours s'attendre à ce qui est plus imprévu", ce processus de découverte étant pratiquement illimité.

## **7. IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE L'INDUSTRIE PETROCHIMIQUE**

L'industrie pétrochimique comporte actuellement plus de 500 séquences différentes de transformation, pour la plupart chimiques, débouchant sur une grande diversité de produits pétrochimiques. Cette situation provoque la formation de divers polluants qui contaminent l'atmosphère et l'eau, ainsi que de déchets solides provenant des procédés de fabrication ou de l'évacuation des produits usés. Ces déchets peuvent avoir toute une série d'effets négatifs pour la santé humaine et l'environnement. Les différents procédés engendrent divers types de polluants, dont nous ne pouvons pas donner ici une liste exhaustive, mais uniquement des exemples : goudron, acide chlorhydrique, anhydride carbonique et oxyde de carbone, anhydride sulfureux, oxyde nitrique, hydrogène sulfure, cyanides, mercaptans, acide sulfurique, acétone, benzène, aldéhydes, différents hydrocarbures, huile, acide nitrique, méthanol, formaldéhyde, noir de carbone, acide phosphorique, solides dissous, soude caustique, chlorure de calcium, etc. La plupart de ces déchets causent un préjudice grave à la santé humaine et à l'environnement : certains sont fortement toxiques, même en microgrammes.

Les matières organiques biodégradables, qui sont rejetées dans les eaux, peuvent créer des conditions d'anaérobiose dans les réservoirs récepteurs. Cette situation est susceptible d'entraîner la mort ou la migration des organismes vivants y compris des poissons et des autres animaux plus développés. La décomposition anaérobique peut également créer des problèmes d'odeur et de coloration.

La pollution thermique affecte aussi les réservoirs d'eau et peut entraîner la mort des organismes, et diminuer la productivité de nombreuses espèces aquatiques.

### **7.1 Toxicité et sécurité**

L'industrie pétrochimique implique la manipulation de nombreuses matières toxiques hautement inflammables, souvent explosives, dangereuses en grandes quantités et dans des conditions extrêmes de pression et de température. De par sa nature inhérente, cette situation nécessite un maximum de mesures de sécurité. Par conséquent, l'industrie pétrochimique a toujours été caractérisée par un degré élevé d'instrumentation et d'automatisation.

Alors que d'autres branches industrielles peuvent adopter un niveau de mécanisation moins complexe et limité, pour s'adapter aux conditions existant dans certains pays en développement, et plus particulièrement pour diminuer les coûts d'investissement et les problèmes d'exploitation, les procédés qui caractérisent l'industrie pétrochimique exigent, pour leur part, une automatisation de qualité maximale, dans toutes les régions sans distinction, pour des raisons de sécurité.

Cependant, malgré quelques accidents spectaculaires, qui ont reçu une publicité considérable, le dossier de sécurité du secteur pétrochimique peut être considéré comme positif. Les taux d'accidents, par rapport au nombre total d'heures de fonctionnement et à la valeur des produits, font que cette branche industrielle est parmi les plus sûres malgré les risques mentionnés ci-dessus. (Réf. 18/, p. 60).

Cependant, il importe de signaler que les restrictions de plus en plus strictes qui sont imposées en matière d'émission de polluants, d'évacuation des déchets solides et autres risques pour la santé

et l'environnement provoqués par les substances pétrochimiques, font que l'industrie a dû faire face à des dépenses considérables et à des préoccupations croissantes. En conséquence, il sera sans doute nécessaire de réévaluer les plans futurs de développement des nouveaux procédés et produits. Il ne s'agit pas de diminuer l'importance de la protection de l'environnement et la sécurité du public, car ces aspects doivent, au contraire, recevoir la plus haute priorité. Néanmoins, ces règles et le calendrier de leur exécution devraient être considérés et appliqués de façon à ne pas entraver le développement de l'industrie. Nous donnerons plus loin d'autres détails concernant l'impact de la protection de l'environnement sur l'avenir de l'industrie pétrochimique.

De plus, l'industrie pétrochimique continue de mettre l'accent sur la protection de l'environnement, en ciblant ses efforts sur l'évacuation en sûreté du goudron, soufre, oxydes nitriques et différentes substances toxiques générées par les usines chimiques. Ces matières potentiellement dangereuses doivent être contrôlées dans l'atmosphère, dans les eaux et dans les rejets solides de chaque usine. L'industrie doit collaborer d'une manière continue avec les agences réglementaires gouvernementales, au niveau international, afin de préparer des limites acceptables d'exposition; préciser les procédures de contrôle et planifier leur application.

Le développement le plus important, dans l'industrie chimique, est l'accent mis récemment par la législation sur l'identification et le contrôle des différentes substances toxiques. En 1976, les Etats-Unis ont adopté deux textes de loi majeurs, qui ont pour objectif de réduire le danger d'exposition à ces produits. Le "Toxic Substances Control Act" a pour but d'éliminer les substances chimiques les plus dangereuses qui se trouvent dans l'environnement et d'interdire la commercialisation de nouveaux produits chimiques particulièrement toxiques. De son côté, le "Resource Conservation and Recovery Act" réglemente d'une manière stricte l'évacuation des déchets dangereux.

En Europe, une liste des substances chimiques particulièrement préoccupantes, présentes dans les eaux résiduelles, a été proposée aux fins de contrôle par la Commission des communautés européennes et approuvée par le Conseil des ministres. Au Japon, une réglementation contraignante a été mise au point afin de couvrir les substances toxiques susceptibles de contaminer le sol ou les eaux. Au Canada, des règlements sont en cours de préparation, afin de contrôler les effluents de l'industrie pétrochimique. Il est estimé que la protection de l'environnement absorbe entre 10 et 15 % des investissements totaux effectués par l'industrie chimique, aussi bien en Europe qu'aux Etats-Unis.

En conclusion, la nécessité de protéger l'environnement est une des premières priorités de l'industrie pétrochimique. Une partie substantielle des crédits à la recherche-développement et des investissements en capital est actuellement consacrée à cet objectif majeur, et l'industrie collabore activement avec les autorités gouvernementales, dans cette perspective, au niveau mondial 20/.

Grâce à cette prise de conscience collective et à l'attention des pouvoirs publics, le problème de l'impact écologique de l'industrie pétrochimique est extrêmement bien géré : les montants engagés sont utilisés d'une manière efficace et les nouvelles usines seront intégrées et bénéficieront de toutes les mesures nécessaires de sécurité et de protection de l'environnement. En conséquence, les pays nouvellement industrialisés et les pays en développement pourront certainement profiter des résultats obtenus jusqu'à présent, car ils obtiendront des usines équipées de tous les dispositifs essentiels de sécurité et de protection de l'environnement qui ont été déjà prévus au stade de la conception, même si ces mesures signifient que le coût des installations est plus élevé.

---

20/ M. James F. Mathis, Exxon Chemical Co., Intensified use of petroleum and natural gas for petrochemicals.

## 7.2 Matières plastiques biodégradables - solution au problème des déchets solides ?

Alors que le recyclage de certaines matières plastiques - HDPE, PET, PVC et PS - qui est encore dans sa prime enfance, est régi par des motivations économiques; par des considérations liées aux relations publiques; et par la législation sur l'environnement, le problème de l'utilisation de matières plastiques dégradables (photo ou biodégradables) est presque entièrement déterminé par la politique gouvernementale et la prise de conscience sociale.

Malgré les progrès réalisés au niveau des méthodes de recyclage des matières plastiques, qui font maintenant partie intégrante des opérations des entreprises chimiques, ces procédés impliquent encore un degré considérable d'incertitude, en raison de nombreux facteurs évidents, par exemple collecte, séparation générique, niveau des prix des matériaux recyclés, etc. Les procédés sont encore à leurs débuts et leur devenir sera étroitement lié au développement de techniques spécifiques, de collecte et de séparation, ainsi qu'au besoin de charges de départ alternatives.

Il est cependant certain que l'industrie des matières plastiques devra réagir efficacement - grâce au recyclage et autres moyens - vis-à-vis des préoccupations du public et à l'égard du problème des déchets solides. Toutefois, une solution économique durable n'a pas encore été trouvée.

L'autre orientation, qui est préconisée pour résoudre le problème des déchets solides, est la production de matières plastiques par photodécomposition, biodégradation ou autres procédés, en ajoutant des composants qui rendent les produits plastiques sensibles à la dégradation (photo ou bio). Les principaux produits biodégradables sont à base d'amidon; ils sont de plus en plus souvent utilisés par le compostage des sachets, des langes et des sacs poubelles.

Aux Etats-Unis, environ 289 millions de livres de matières plastiques dégradables ont été produites en 1988. De plus, il est projeté que ce total atteindra un peu moins de 2 milliards de livres en 1993. En l'an 2003, la production de matières plastiques dégradables, aux Etats-Unis, pourrait dépasser les 8 milliards de livres (plastiques contenus dans la litière du sol et les décharges).

Les défenseurs des matières plastiques dégradables considèrent que les technologies offrent, en fait, des applications multiples à long terme. Les produits photodégradables, qui sont censés être exposés aux rayons solaires, ne permettent cependant pas de résoudre le problème des décharges, mais bien la question des ordures en surface. Le groupe Polysar (environnement et matières plastiques), Massachusetts (Etats-Unis) commercialise un copolymère en cétone de vinyle qui rend le polyéthylène et le polystyrène dégradables sous l'effet des rayons solaires.

Toutefois, certains observateurs de l'environnement se posent des questions à propos de la performance de certaines matières plastiques dégradables, qui ne sont pas fournies sous la forme prévue. Le but n'est pas de fabriquer un additif dégradable, mais bien de l'incorporer dans des produits qui se décomposent rapidement.

Enfin, compte tenu des nombreuses questions soulevées, des critiques et des incertitudes concernant la viabilité du recyclage; l'efficacité à long terme; l'impact et les types de polymères biodégradables, il est tout à fait prématuré de tirer des conclusions définitives au sujet de l'évolution de la situation. Un délai supplémentaire s'impose.

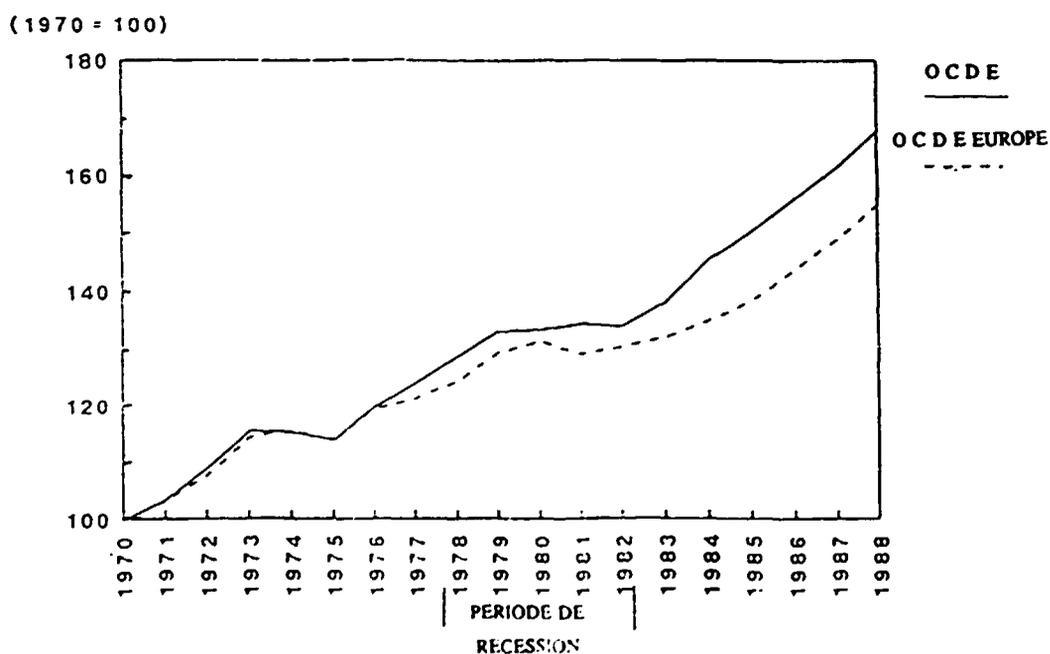
## 8. QUE NOUS RESERVE L'AVENIR ? ANNEES 90

Pour prévoir l'avenir, il faut tout d'abord tenir compte de l'état passé et présent de l'industrie pétrochimique. En conséquence, l'évolution de ce secteur a été étudiée en détail dans les sections qui précèdent, depuis sa création jusqu'au milieu des années 80, époque à laquelle elle a commencé à montrer des signes de stabilité relative, et de meilleures perspectives d'avenir.

Les marges bénéficiaires dépassent progressivement des niveaux qui rendent les investissements intéressants. Tous les producteurs ont simultanément pris conscience de ce fait et, par conséquent, l'industrie pétrochimique mondiale est aujourd'hui à la veille d'un essor majeur. Environ 29 usines d'éthylène ont été mises en adjudication entre 1986 et 1989. Un nombre équivalent a été réhabilité ou débloqué. Une situation similaire peut être prévue en ce qui concerne la majorité des principaux dérivés 21/.

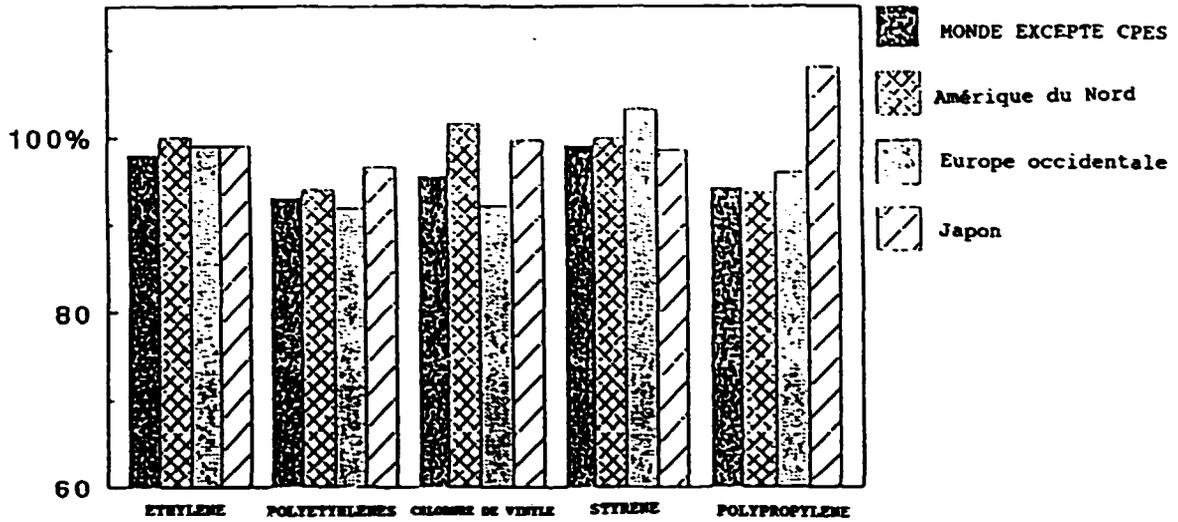
L'affaiblissement de la croissance de la demande et les bénéfices médiocres qui ont caractérisé l'industrie à la fin des années 70 et au début des années 80, ont refroidi l'enthousiasme des fabricants à l'égard des nouvelles technologies de production. De nombreuses lignes de production de substances pétrochimiques essentielles ont pratiquement atteint leurs limites, du point de vue de l'efficacité des catalyseurs et de la conception des réactifs. Un déclin à long terme des innovations a été enregistré au niveau des polymères et des monomères. Cette situation signifie qu'un plafond technologique sera bientôt atteint et que toute dépense supplémentaire, consacrée à la recherche-développement, ne donnera que de maigres résultats. Ces phénomènes correspondent au fait que les grandes lignes de production pétrochimique ont été construites il y a plusieurs dizaines d'années déjà. Bien que des changements importants aient été apportés aux procédés (par exemple, passage de procédés de fabrication de polymères basés sur des solutions à des procédés au gaz et utilisation de procédés à basse pression, pour le polyéthylène, au lieu de procédés à haute pression); ces mutations n'ont pas permis de surmonter la crise des innovations. Les quelques rares innovations qui se produiront au niveau des procédés seront vraisemblablement mineures et, par conséquent, peu de nouveaux produits pétrochimiques seront commercialisés. Afin d'augmenter leurs recettes, les entreprises pétrochimiques devront adopter une nouvelle stratégie ciblée sur l'amélioration du rendement des usines; continuer de différencier leurs produits en développant de nouvelles catégories de matières plastiques existantes, fibres et élastomères; fournir un support technique et promouvoir les applications. Par conséquent, elles devront rechercher des possibilités d'innovations dans d'autres secteurs, c'est-à-dire dans le domaine des produits chimiques "spéciaux", en particulier les catégories qui sont censées se développer deux à trois fois plus vite que le PNB, par exemple substances chimiques utilisées pour fabriquer les produits suivants : puces, réactifs de diagnostic, lubrifiants synthétiques et nouveaux matériaux avancés y compris polymères à haute performance, matériaux composites et céramiques (Réf. 11/).

Figure 8.1 Indice de la demande intérieure réelle 1970-1988



21/ Philip Leighton, Petrochemical Investment - Are we headed towards overcapacity ?  
Londres, Trichem Consultants, 4 juillet 1985.

Figure 8.2 Coefficient d'exploitation des vapocraqueurs et des principales unités de production de dérivés, 1988



D'autre part, le niveau de la technologie de transformation, qui augmente à nouveau, est dirigé vers des objectifs identifiés, par exemple utilisation de l'éthane et du propane comme charges initiales pour la production de certains dérivés d'oléfines (chlorure de vinyle); d'acrylonitrile et de substances aromatiques. De même, les efforts de recherche-développement sont réorientés vers des problèmes à plus long terme, et ne portent plus sur des objectifs immédiats. La concurrence accrue des nouveaux venus, disposant de vastes ressources énergétiques, dans le secteur des matières premières et des produits de base, a entraîné un déplacement de la recherche-développement vers des activités situées en aval. Dans les pays où les matières brutes sont rares, par exemple Japon, la recherche-développement est ciblée, à long terme, sur l'acquisition de charges de départ alternatives, par exemple, synthèse de substances pétrochimiques faisant appel au méthanol et au gaz synthétique comme matière initiale (chimie du carbone); conversion des fractions lourdes et des résidus sous vide comme charge de départ dans les unités d'oléfine; diversification dans certains domaines de technologie avancée, par exemple électronique et biochimie.

Un autre facteur important régit le développement des innovations : il s'agit de la réglementation appliquée à l'environnement et à la santé des travailleurs, en particulier dans les pays industrialisés.

Une politique plus rationnelle permettrait d'encourager les compagnies pétrochimiques à déplacer leurs ressources vers des activités à plus forte valeur ajoutée, c'est-à-dire vers des secteurs où les pays industrialisés sont comparativement avantagés. Il s'agit, en l'occurrence de la découverte de nouveaux produits chimiques.

### 8.1 Tendances au niveau des charges initiales

En ce qui concerne l'industrie pétrochimique, la disponibilité et le coût des charges de départ continueront comme par le passé de jouer un rôle important dans la configuration future de ce secteur. Historiquement, le charbon a été pendant plus d'un siècle la principale matière première, non seulement pour la chimie organique y compris les produits pétrochimiques, mais également pour de nombreuses autres industries chimiques.

Actuellement, l'industrie pétrochimique est presque totalement dépendante des matières premières basées sur le pétrole et le gaz - naphta, GPL et gaz naturel - utilisées principalement pour produire de l'énergie. En conséquence, la disponibilité et les prix des charges de départ pétrochimiques seront largement déterminés par la conjoncture énergétique globale. Le bilan

énergétique mondial indique, en ce qui concerne les décennies à venir, qu'il ne sera pas nécessaire de pousser l'industrie pétrochimique internationale à modifier radicalement sa base de matières premières, et à s'écarter des hydrocarbures.

Le naphta, qui était la matière initiale prédominante dans le secteur pétrochimique, en particulier en Europe occidentale et au Japon, continue globalement d'être la principale charge de départ pour la production d'oléfines et de substances aromatiques, et ne perdra pas son rôle de leader. Toutefois, sa contribution diminue constamment en Europe, en faveur d'autres hydrocarbures à la fois plus lourds et plus légers, alors qu'elle augmente aux Etats-Unis et ne change pratiquement pas au Japon.

En 1988, le naphta représentait environ 54 % de la charge initiale globale utilisée pour la production d'éthylène, et son niveau sera probablement le même en 1995 (Tableau 8.1) 22/.

L'éthane constitue un choix évident pour la production d'éthylène, lorsqu'il est disponible, et son rôle est prédominant dans les pays en développement qui possèdent de vastes réserves de pétrole et de gaz (Moyen-Orient, Afrique du Nord). Son utilisation se développe en Europe et diminue aux Etats-Unis.

Tableau 8.1 Charges globales d'éthylène (pourcentage)

	1988	1995
	(en pourcentage)	
Naphta	54	56
Ethane	26	24
GPL	12	14
Gazole	6	5
Gaz de raffinage	2	1
	100	100

Le gaz de pétrole liquéfié (GPL) constitue une alternative très avantageuse, mais son utilisation dépend des prix, car de nombreuses autres industries sont en compétition pour l'acquérir. Le coût de transformation du fuel-oil et des autres fractions lourdes est plus élevé, à la fois du point de vue des investissements et de l'exploitation. En conséquence, le rôle joué par ces charges de départ dépendra de leur rapport de coût.

Compte tenu de cette situation et de la découverte de nouveaux gisements de pétrole et de gaz, les ressources en hydrocarbures à base de pétrole et de gaz naturel continueront de dominer le secteur des charges de départ de l'industrie pétrochimique durant toutes les années 90 et, sans doute, au début du XXI<sup>e</sup> siècle, en particulier si le marché pétrolier reste favorable et si les prix du gaz et des produits de raffinage se stabilisent à des niveaux assez raisonnables.

Cependant, des déplacements pourront se produire en faveur des différents hydrocarbures à base de pétrole et de gaz, en fonction de leur disponibilité régionale, des prix et des types de politique de rendement appliqués dans les unités de craquage d'éthylène. Cette tendance apparaîtra plus clairement dans l'analyse des charges initiales par principales régions de production. Il est toutefois possible de dégager une image de l'utilisation mondiale des charges pour oléfines, en 1986, comme indiqué au tableau 8.2.

---

22/ Arthur D. Little, International Business Planning, juillet 1989.

Tableau 8.2 Utilisation mondiale des charges pour oléfines, 1986 a/

	Naphta Gazole	Propane Butane	Ethane/gaz de raffinerie	Autres	Total
Europe occidentale	86	9	5	0	100
Etats-Unis	23	22	55	0	100
Amérique latine/Canada	38	2	57	2	100
Moyen-Orient/Afrique	11	0	72	-	-
Asie/Pacifique	86	14	0	0	100
Japon	93	7	0	0	100
Total	55	13	31	1	100

a/ Bulletin de l'OPEP, novembre 1987, p. 15.

### 8.2 Tendances en Europe occidentale, au niveau des charges initiales

En Europe occidentale, le naphta est le produit de départ le plus souvent utilisé dans l'industrie pétrochimique. Les oléfines sont les principales composantes du craquage du naphta : éthylène, propylène, butadiène et butènes. L'extraction des hydrocarbures aromatiques fait appel à deux produits de base : l'essence obtenue par pyrolyse dans les usines d'oléfines et le reformage provenant des opérations de raffinage. De plus, l'objectif majeur des unités de reformage est de produire un circuit riche en substances aromatiques, pour le mélange de l'essence. Environ 1/7 de ce volume est utilisé pour extraire des hydrocarbures aromatiques destinés à l'industrie pétrochimique.

En Europe occidentale, la tendance qui vise à utiliser des produits de départ plus légers, est apparue il y a quelques années seulement (1978-1979) à une époque où le prix du naphta était supérieur à 300 dollars EU par tonne - c'est-à-dire 1,3 - 1,4 fois le prix du pétrole brut de base -, et lorsque du gaz de pétrole liquéfié (GPL) est devenu disponible en Mer du Nord, au Moyen-Orient et en Afrique du Nord. La concurrence accrue à laquelle les firmes se livraient pour obtenir du naphta destiné à augmenter leurs réserves d'essence, a également accéléré le passage à des hydrocarbures plus légers.

Au milieu des années 60, les unités de craquage d'éthylène fonctionnaient à pratiquement 100 % sur la base d'une charge en naphta. En 1978, le naphta (matière brute) représentait approximativement 90 % de la charge; le gazole - 7%; le GPL - 2 % et l'éthane - 2 %. En 1985, l'abandon du naphta a été plus prononcé : sa contribution dans la charge de départ des unités d'éthylène est tombée à 70 % et celle du gazole à 10 %. La part du gaz de pétrole liquéfié a atteint 12 %, et l'éthane - 7 %. Il est prévu que cette évolution se poursuivra à l'avenir (années 90), mais toutefois à un rythme beaucoup plus lent qu'au cours des dernières années<sup>22/</sup>.

En Europe, l'utilisation de l'éthane ne peut pas être facilement justifiée sur des bases économiques, en comparaison du naphta, car il n'existe pas d'excédents. L'éthane devrait être considéré comme équivalent de combustible. Toutefois, il est prévu que son volume augmentera lorsque les nouvelles unités (Moss Morran au Royaume-Uni) renforceront leur capacité et leur coefficient d'exploitation.

<sup>22/</sup> A profile of the West European Petrochemicals Industry, Association des producteurs de produits pétrochimiques en Europe (APPE), 1986.

Tableau 8.3 Liste des charges utilisées pour la production d'éthylène en Europe occidentale  
(pourcentage) a/

	Naphta/Gazole	Propane/Butane	Ethane/ Gaz de raffinage
Milieu années 60	99 (98+1) b/		< 1 %
1973	98 (94+4)	1	1
1978	97 (90+7)	2	1
1982	90 (84+6)	8	2
1985	81 (70+11)	12	7
1986	82,8	9,9	7,3
1990	80,3	11	8,7
1995	79,7	11,3	9

a/ Compilé à partir de plusieurs sources.

b/ Le chiffre élevé entre parenthèses, représente le naphta; le chiffre bas indique le gazole.

L'augmentation des excédents mondiaux de gaz de pétrole liquéfié devrait néanmoins justifier un accroissement des investissements consacrés aux unités de craquage de GPL (principalement pour le propane), en Europe, en tant qu'alternative relativement souple par rapport à l'emploi du naphta, notamment dans la région méditerranéenne. De son côté, l'utilisation du GPL dépendra de l'obtention de paramètres économiques satisfaisants : le prix de livraison du propane (ou du butane) devrait être inférieur à l'indice de rentabilité de la charge, en comparaison du naphta. Dans le cas du propane, cette valeur de rentabilité est généralement inférieure à 0,9 fois le prix du naphta, alors que pour le butane, cette valeur est plus proche du prix du naphta 24/.

### 8.3 Tendances aux Etats-Unis

Aux Etats-Unis, les produits de départ légers ont toujours constitué la source principale de production d'éthylène. Jusqu'en 1970, ces produits (éthane et gaz de raffinerie, propane et éthane) ont représenté environ 85 % de la charge des unités de craquage d'éthylène, tandis que le naphta et les distillats moyens sont restés dans une fourchette de 13 à 17 %. Au cours des dernières années, les tendances ont été à l'utilisation accrue de naphta et de distillats moyens, marquant un changement significatif non seulement dans la structure des charges utilisées, mais également dans le spectre global de l'industrie pétrochimique.

Cette mutation entraînera une augmentation de la production de propylène et de butadiène à partir des unités de craquage fonctionnant au naphta. Elle se traduira, en fin de compte, par la fermeture des unités de déshydrogénation de butadiène, étant donné que le butadiène provenant de charges plus lourdes couvrira la demande totale des Etats-Unis. De plus, les livraisons de benzène à partir des usines d'oléfines feront plus que doubler.

Aux Etats-Unis, l'utilisation de l'éthane diminuera considérablement, car son prix atteindra l'équivalent combustible et la disponibilité sera limitée. Le tableau 8.4 indique la mutation des charges utilisées aux Etats-Unis pour la production d'éthylène depuis 1970, ainsi que les prévisions faites jusqu'en 1995.

24/ Middle East energy and chemicals, Séminaire de Bahrein, 12 avril 1988.

Tableau 8.4 Evolution et prévision de l'utilisation de charges destinées à la production d'éthylène aux Etats-Unis, années 60 à 90 (pourcentage)

	1970	1976	1982	1986	1990	1995
Naphta et Gazole	13	21,8	30	30,9	29,8	33
Ethane et gaz de raffinerie	52	53,9	45,7	48,6	41,8	36,6
Propane	33) )35,0	19,1	) )24,3	) )20,5	) )28,4	) )30,4
Butane	2)	5,2	)	)	)	)
Total	100	100	100	100	100	100

Selon les prévisions, le naphta et le gazole verront leur contribution augmenter aux Etats-Unis bien au-delà de l'an 2000, traduisant une mutation considérable en faveur du craquage en phase liquide de fractions lourdes dans les unités existantes ou projetées. Cette situation reflétera sans doute les perspectives médiocres qui existent en matières d'augmentation des approvisionnements en GNL. La diminution des ressources de gaz naturel et le coût élevé d'extraction des GNL dans les nouvelles unités de gaz limiteront également la disponibilité de l'éthane destiné au vapocraquage.

En ce qui concerne les charges alternatives, par exemple résidus lourds de pétrole, aucune technologie attrayante du point de vue économique n'a été commercialisée à ce jour, qui pourrait être mentionnée comme source principale de charges pétrochimiques.

Toutefois, il semblerait que le rendement du gazole sous vide soit assez comparable à celui du naphta.

#### 8.4 Evolution des charges au Japon et dans le reste du monde

Ne disposant que d'approvisionnements minimaux en combustibles fossiles, l'industrie japonaise, en particulier l'industrie pétrochimique, dépendent presque totalement de sources situées outre-mer. Le naphta est la charge prédominante (93 %), au Japon, comme en Europe occidentale. Cependant, le Japon n'a pas accès à des produits de départ plus légers (alors que l'Europe occidentale a tiré profit des gisements situés en Mer du Nord et en Afrique du Nord).

Le naphta et les autres charges dérivées du pétrole sont importés par une association spéciale d'importateurs, intitulée PFIC (Petrochemical Feedstock Importing Company). Au Japon, les charges alternatives sont très limitées, à cause de la deuxième crise pétrolière, durant laquelle ce pays a été très durement touché, en raison de sa situation énergétique (importations de pétrole et de naphta). De plus, il existait une différence considérable de prix par unité de conversion d'énergie, entre le pétrole et le charbon. Cette différence de prix entre l'utilisation du pétrole ou du charbon, comme source énergétique, a entraîné un abandon radical du pétrole et le passage au charbon, considéré comme plus économique, dans des industries telles que la production d'électricité, la sidérurgie et le ciment. En conséquence, la consommation de fuel-oil lourd s'est effondrée, et de plus en plus de raffineries ont entrepris de développer activement leur capacité de FCC (craquage catalytique fluide). De cette façon, l'industrie pétrochimique a été en mesure d'utiliser efficacement le propylène et le butylène récupérés à partir du gaz résiduel, comme nouvelle charge de départ.

Pour toutes ces considérations économiques, les stratégies à moyen et à long terme du Japon ont été orientées vers la réalisation d'économies de produits de départ (charges) grâce à l'amélioration des catalyseurs (par exemple, l'amélioration des catalyseurs a entraîné une réduction d'environ 13,5 % de la consommation de propylène par tonne dans la production d'acrylonitrile,

entre 1974 et 1985); la diversification des charges (par exemple, production de méthacrylate MMA à partir de l'isobutène extrait des fractions lourdes du craquage du naphta, au lieu d'utiliser le schéma cyanhydrine d'acétone); le passage des produits de base aux produits spéciaux à forte valeur ajoutée; la concentration sur des produits à croissance élevée, par exemple nylon 66, qui a enregistré une hausse de 12 % par an; synthèse des substances pétrochimiques grâce à l'utilisation du méthanol et de gaz synthétique comme charges (chimie du carbone); l'emploi accru des sous-produits de raffinage; et la diversification dans des domaines de haute technologie, par exemple électronique et biochimie 25/.

En ce qui concerne le reste du monde, les tendances varient. En Extrême-Orient (Corée, Chine, etc.), l'accent est mis sur le naphta. Dans des régions comme le Moyen-Orient, l'Afrique du Nord et le Canada (Province d'Alberta), l'utilisation de l'éthane a été favorisée, mais l'emploi de charges plus lourdes est en augmentation.

En Amérique latine, du gaz naturel à faible coût est disponible au Venezuela, au Chili et en Argentine. Le Brésil a enregistré une amélioration de ses approvisionnements en gaz et dispose d'excédents de naphta. Par conséquent, cette région connaît en général moins de difficultés, au niveau des charges de départ et la capacité de production installée d'hydrocarbures aromatiques est nettement supérieure à la demande régionale.

La capacité de méthane dépasse également la demande et, suite à la mise en exploitation d'une nouvelle unité au Chili, la capacité régionale sera de loin supérieure aux besoins.

En conclusion, la somme globale des charges de départ destinée à la production d'éthylène sera marquée par un abandon progressif de l'éthane en faveur du gaz de pétrole liquéfié; l'utilisation du naphta restera pratiquement constante. On assistera à une diminution de l'emploi du gazole. Le pourcentage de propylène obtenu comme sous-produit de l'éthylène augmentera, notamment aux Etats-Unis, tandis qu'en Europe, les besoins croissants en propylène devront être couverts à partir de sources provenant du raffinage.

On enregistre une quantité croissante de produits mélangés au C<sub>4</sub> dans les circuits des unités situées aux Etats-Unis et en Europe. Ce volume devra faire l'objet d'un co-craquage (ou être converti en combustible), car la demande de butadiène augmente plus lentement que les approvisionnements des unités de vapocraquage et les prix diminuent jusqu'à atteindre des équivalents proches de la valeur du naphta, dans le circuit mélangé au C<sub>4</sub>. En conséquence, l'évolution sera la suivante : augmentation des excédents mondiaux de butadiène; arrêt définitif des procédés de déshydrogénation aux Etats-Unis; diminution de la quantité limitée de butadiène produite en Europe de l'Est et en Amérique latine.

#### 8.5 Evolution en faveur de l'utilisation de charges alternatives

L'utilisation de schémas alternatifs, au niveau de charges pétrochimiques, principalement charbon et biomasse, est étroitement liée aux paramètres économiques de ces procédés. Même si de nouveaux procédés pénètrent dans l'industrie durant les deux prochaines années, les différences enregistrées au niveau des coûts de production continueront probablement de favoriser l'utilisation des hydrocarbures.

Cependant, dans tous les cas, qu'il s'agisse du charbon ou de la biomasse, et quel que soit le schéma de production adopté, le problème majeur à résoudre sera lié à la production de combustible, et la question des charges pétrochimiques ne jouera qu'un rôle secondaire. Cette situation est clairement illustrée par le Brésil : l'éthanol provenant de la biomasse (canne à sucre) est devenu important pour résoudre les difficultés d'approvisionnement en carburant de moteurs, mais l'industrie pétrochimique se base toujours principalement sur les hydrocarbures résultant de la transformation d'hydrocarbures locaux ou importés.

---

25/ Hydrocarbon processing, mai 1987 et référence 13/, p. 36.

Par conséquent, en examinant la matrice globale des charges de départ, on constate que le bilan de ces charges est plus favorable pour les pays en développement qui disposent de ressources en hydrocarbures utilisables en vue de l'expansion de leur industrie pétrochimique nationale.

#### 8.6 Tendances au niveau des produits pétrochimiques (produits pétrochimiques de base)

Il est prévu que la demande mondiale d'éthylène augmentera à un taux de 3,2 à 3,4 % par an jusqu'en 1995, année durant laquelle la demande totale mondiale devrait, selon les estimations, atteindre 64 millions de tonnes, en regard d'une capacité nominale de 75 millions de tonnes (tableau 8.5). Il est prévu que la capacité nominale de production d'éthylène des pays en développement atteindra 15,9 millions de tonnes en 1995, à partir d'un niveau de 9 millions de tonnes enregistré en 1985. Par conséquent, la part des pays en développement dans la capacité mondiale d'éthylène passera de 17,6 % en 1985 à 21,3 % en 1995 (tableau 8.6).

Tableau 8.5 Analyse de l'offre/demande mondiale d'éthylène 1988-1995  
en millions de tonnes d'éthylène a/

Régions	1988		1995	
	Capacité	Demande	Capacité	Demande
Amérique du Nord	19,0	19,0	25,7	22,0
Europe occidentale	14,6	14,7	18,9	17,5
Asie et Océanie	7,7	7,8	12,4	11,0
Amérique latine	3,0	2,7	4,2	3,4
Moyen-Orient et Afrique du Nord	2,9	2,2	4,6	3,9
Europe de l'Est	7,4	4,8	9,2	6,1
Total	54,6	51,2	75,0	63,9

a/ Estimation un peu plus optimiste du taux de croissance en Europe de l'Est durant la période 1990-1995 (cependant, les données relatives à l'Europe de l'Est constituent une estimation basée sur les statistiques disponibles en 1985 et en 1987).

Selon les prévisions; la croissance de la demande sera plus forte en Extrême-Orient, notamment dans les nouveaux pays industrialisés (NPI), en Asie, au Moyen-Orient, en Afrique et en Amérique latine. En dehors des Etats-Unis et de l'Europe occidentale, la demande globale augmentera en moyenne de 5 % par an. En Europe occidentale, la croissance sera influencée par la poursuite de la diminution des exportations de produits dérivés. Cette tendance contribuera à maintenir la demande d'éthylène à un niveau de croissance inférieur à 2 %. Les Etats-Unis enregistreront également des taux de croissance médiocres (1,8 - 2 %). Toutefois, en Europe occidentale, le bilan de l'offre et de la demande restera stable jusqu'en 1991/1992, date à laquelle de nouvelles capacités seront mises en exploitation.

Il existe un autre aspect au niveau de l'évolution du secteur de l'éthylène : celui des différentes charges, qui a été examiné en détail dans la section du présent rapport traitant des charges et des alternatives. La situation peut être décrite, en résumé, comme étant caractérisée par la poursuite de l'utilisation de charges, en Europe, mais à des taux beaucoup plus lents qu'au cours des dernières années. Aux Etats-Unis, l'utilisation d'éthane pourrait accuser une diminution, et il est probable que celle du naphta augmentera. En ce qui concerne le reste du monde, la situation dépendra des caractéristiques régionales. Néanmoins, on peut dire que le bilan global sera

caractérisé par un abandon progressif de l'éthane en faveur des charges au GPL, et que le niveau d'utilisation de naphtha restera pratiquement constant (54-56 %).

Tableau 8.6 Capacité mondiale d'éthylène 1985-1995 en millions de tonnes métriques

Régions	1985 <u>a/</u>	1988	1990	1992	1995
Amérique du Nord	17,40	19,00	20,60	24,30	25,70
Europe occidentale	14,00	14,70	15,20	16,60	18,90
Europe de l'Est	6,50	7,19 <u>b/</u>	7,55	7,93	8,75
Japon	4,30	4,295	4,296	4,795	5,30
Total pays développés	42,20	45,185	47,65	52,50	58,65
Asie	3,42	3,645	4,90	5,60	7,10
Moyen-Orient et Afrique	2,67	2,90	3,00	3,20	4,60
Amérique latine	2,91	3,00	3,70	4,20	4,20
Total pays en dévelop.	9,00	9,545	11,60	13,00	15,90
Total mondial	51,20	54,73	59,25	65,50	74,55
Part en pourcentage des pays en développement	17,60	17,44	19,60	19,90	21,30

a/ Base de données de l'ONUDI 1985.

b/ Les données relatives à 1987 ont été reprises pour 1988. Les prévisions ont été basées sur un taux de croissance annuel de 2,5 %, les autres informations ont été compilées à partir de différentes sources.

Du point de vue technologique, il y a en fait peu de choses à signaler concernant la conception des procédés et les techniques d'exploitation. Le vapocraquage reste le principal procédé de production d'oléfines, en tant que matière de base (éthylène, propylène et butadiène). L'opération de craquage a atteint un degré de développement élevé. Dans la pratique, le procédé initial de fabrication d'éthylène n'a pas fondamentalement changé au cours des 35 dernières années. Cependant, de nombreuses améliorations technologiques ont été introduites, de pair avec une augmentation de la capacité individuelle des unités (supérieure à un facteur de 10), ce qui a entraîné une réduction considérable des besoins totaux en ressources nécessaires pour produire un volume unitaire d'éthylène (diminution de la quantité d'acier et autres matériaux de construction; des charges et de la consommation d'énergie; de la main-d'oeuvre d'exploitation; et récemment, un renforcement de la souplesse de manoeuvre grâce à l'utilisation d'un éventail élargi de charges de départ). Des calculateurs de processus ont été introduits dans de nombreuses unités modernes d'éthylène, allant d'un simple enregistrement de données et système d'alarme au contrôle indispensable à une performance optimale de l'ensemble de l'usine.

L'augmentation significative de la taille des usines d'éthylène reflète les avantages économiques qui résultent de l'échelle adoptée. Ceux-ci proviennent principalement de la réduction du coût en capital par unité d'éthylène produite. Dans quelques cas isolés, les usines d'éthylène à ligne de production unique (sans doublage des compresseurs ou autres équipements, sauf en ce qui concerne le four de pyrolyse) atteignent actuellement une capacité allant jusqu'à 700 000 tonnes par an. Cependant, l'économie d'échelle diminue lorsqu'on passe à de très grandes capacités : dans ce cas, il convient de fabriquer sur place de grosses pièces d'équipement plus coûteuses, et l'exploitation implique des risques économiques accrus, provenant d'une exposition

éventuelle à des retards de démarrage; des interruptions de production imprévues; et des changements au niveau des conditions du marché.

### 8.7 Tendances au niveau des autres oléfines (propylène et butadiène)

Il est assez difficile d'évaluer avec précision la production de propylène. Les approvisionnements en propylène dépendent de la production des unités de craquage d'éthylène (en tant que sous-produit) et des opérations de raffinage. Dans la plupart des régions, l'unité d'oléfines est la principale source de propylène, à l'exception des Etats-Unis, où environ 47 % de propylène proviennent des opérations de raffinage (tableau 8.7).

Tableau 8.7 Distribution de la production de propylène (pourcentage)

	Coproduit éthylène	Raffinerie	Déshydrogénation
<b>Europe occidentale</b>			
1986	85,3	14,7	
1990	82,5	17,5	
1995	80,2	19,8	
<b>Etats-Unis</b>			
1986	73,7	46,3	
1990	57,6	42,4	
1995	61,0	39,0	
<b>Global</b>			
1986	74,7	25,3	
1990	75,8	24,2	
1995	76,1	23,9	0,7

Si l'on poursuit l'analyse des tendances, on constate que moins de propylène et de butadiène seront produits, car les nouvelles unités de craquage utiliseront des charges plus légères (par exemple, éthane et liquides de gaz naturel). Cette évolution suivra la mutation générale des charges de départ utilisées dans les unités de craquage d'éthylène. Toutefois, la structure d'utilisation peut aller dans la direction opposée, par exemple, en ce qui concerne le propylène. Les dérivés du propylène, notamment le polypropylène, se développent plus rapidement que les dérivés de l'éthylène.

En Europe, la demande de propylène est supérieure à celle d'éthylène. Il sera donc nécessaire de réduire la sévérité du craquage (mesure de transformation) et d'augmenter les livraisons des raffineries et, peut-être, les importations. De plus, le propylène est utilisé dans les raffineries pour renforcer l'indice d'octane du carburant pour moteurs, conformément aux règlements qui limitent la teneur en plomb dans l'essence. Aux Etats-Unis, l'inverse est vrai : le propylène provenant des raffineries (46,3 % contre 14,7 % en Europe occidentale en 1986) diminuera vraisemblablement, en pourcentage de la production totale, pour atteindre environ 39 % en 1995 (tableau 8.7 ci-dessus).

Toutefois, les Etats-Unis restent une source majeure, en cas de pénurie globale de propylène (on prévoit une augmentation du pourcentage de propylène obtenu en tant que coproduit de l'éthylène). Au niveau mondial, le rapport de la demande de propylène/éthylène sera pratiquement de 50/50 en 1995; plus élevé en Europe occidentale (0,627); légèrement supérieur au rapport mondial, aux Etats-Unis (0,518); et plus faible que dans le reste du monde (0,445). Le tableau 8.8 indique la consommation de propylène, le taux de croissance et la prévision pour la demande en 1995.

Tableau 8.8 Projection de la consommation de propylène (millions de tonnes métriques)

				Croissance annuelle moyenne (pourcentage)	
	1986	1990	1995	1986-90	1990-95
Europe occidentale	7,5	8,3	8,9	2,6	1,5
Etats-Unis	7,6	8,8	10,1	3,6	2,9
Reste du monde	8,4	10,3	12,9	5,3	4,5
Total	23,5	27,4	31,9	3,9	3,1

En ce qui concerne le butadiène, il n'existe pas de problème d'approvisionnement, car il y aura un excédent croissant de ce produit au niveau mondial, en particulier, en Europe occidentale. Des quantités croissantes de mélange au C<sub>4</sub> devront être co-craquées ou couvertes en carburant : en effet, la demande de butadiène augmentera plus lentement que les fournitures des vapocraqueurs, comme indiqué dans le paragraphe ci-dessus (tendances des charges de départ).

Un des progrès techniques les plus remarquables réalisés dans le secteur du propylène est la déshydrogénation du propane pour obtenir du propylène. La première unité commerciale utilisant cette technologie démarrera bientôt ses opérations en Thaïlande, sur base du procédé UOP (Universal Oil Products).

Grâce à ce procédé, il est possible de produire du propylène séparément des opérations destinées à l'éthylène ou du raffinage. L'économie de ce procédé est liée au prix du propane, et il est mieux indiqué dans les régions riches en ressources de gaz.

### 8.8 Hydrocarbures aromatiques

Les hydrocarbures aromatiques de base comprennent le benzène, le toluène et les xylènes (BTX). Ils sont utilisés pour produire une grande variété de composés, dont la plupart disposent de nombreux débouchés et applications. Les tendances mondiales en matière d'hydrocarbures aromatiques sont, en fait, régies par leurs principaux dérivés : polystyrène, nylon 66 et 6, caoutchoucs, détergents (LAB), cumène et phénol, anhydride maléique, polyuréthane, résines alkydes, plastifiants, et les produits particulièrement importants que sont le TPA et le DMT (fabrication de fibres en polyester).

Dans la présente étude, les tendances existant dans le secteur des hydrocarbures aromatiques seront principalement représentées par le benzène. En théorie, celui-ci pose les mêmes difficultés de prévision que le propylène, car il tire son origine à la fois du raffinage du pétrole et des opérations pétrochimiques, et est nécessaire pour la pétrochimie et de nombreuses autres utilisations.

Les usines pétrochimiques et les raffineries de pétrole reforment du naphta dans les unités BTX. Dans la plupart des pays industrialisés, cette opération représente plus de la moitié de la capacité de production d'hydrocarbures aromatiques. De plus, les raffineries de pétrole produisent des hydrocarbures en tant que sous-produits du coke de pétrole et des opérations destinées à obtenir de l'essence par pyrolyse.

En Europe, environ 50 % du benzène est produit par extraction, à partir de l'essence de pyrolyse, qui est un sous-produit de l'éthylène. Le solde provient du reformage et de l'hydrodésalkylation.

La demande de benzène a augmenté très lentement dans les pays industrialisés, où les nombreux débouchés qui s'offrent à ce produit et à ses dérivés se situent dans des industries matures par exemple : logements, textiles et autres secteurs possédant une infrastructure bien développée. Une croissance rapide ne peut être attendue que dans des domaines comme les thermoplastiques mécaniques. Le dérivé principal du benzène est l'éthylbenzène, matière première utilisée pour le polystyrène, qui est lui-même un produit qui dispose d'un vaste marché dans l'industrie des matières plastiques et du caoutchouc. On fabrique des produits intermédiaires TPA et DMT à partir du para-xylène. Le TPA et le DMT constituent les matières premières qui sont utilisées pour fabriquer des fibres en polyester. Le benzène dispose de perspectives considérables dans les régions en développement, en particulier dans les nouveaux pays industrialisés. De fait, les taux de croissance ont été élevés, en Amérique latine et en Asie. La demande de xylène (en particulier P-xylène) est principalement liée à la demande de fibres synthétiques. Parmi les compagnies chimiques spécialisées, AMOCO a considérablement renforcé ses opérations dans la région asiatique. China American Petrochemical Co. Ltd., entreprise mixte, portera sa production d'acide téréphtalique purifié (PTA) à 1 million de tonnes métriques par an, au début de 1990. Une autre entreprise mixte, destinée à la production de PTA, est implantée en Corée du Sud.

En conclusion, les approvisionnements de benzène ne connaîtront pas de pénurie et il ne sera peut-être pas nécessaire d'élargir la capacité de production avant le deuxième semestre de 1990. La demande mondiale est estimée à 18,1 millions de tonnes pour 1990 et à 22,6 millions de tonnes pour 1995. Cependant, les volumes de benzène seront encore plus excédentaires si la loi relative à la non pollution de l'atmosphère est adoptée aux Etats-Unis.

Récemment, le secteur des hydrocarbures aromatiques a enregistré plusieurs augmentations abruptes de prix et des restrictions d'approvisionnement, en particulier, pour le benzène, le toluène et le para-xylène aux Etats-Unis et en Europe, après quelques années de faible croissance de la demande et de production médiocre. De plus, certains facteurs combinés semblent intervenir dans ce changement. Le décalage, aux Etats-Unis, de la demande d'essence sans plomb a entraîné une montée en flèche des besoins des raffineries en hydrocarbures aromatiques, afin de correspondre à l'augmentation de l'indice d'octane. La demande des principaux dérivés du benzène - styrène et cumène/phénol - s'est maintenue, et plusieurs mises à l'arrêt d'usines ont permis de maintenir la pression à un niveau élevé. En Allemagne, l'incident survenu, en novembre 1988, dans l'unité de production d'hydrocarbures aromatiques de la compagnie Shell, à Godorf, et d'autres accidents enregistrés par la suite aux Etats-Unis, n'ont fait qu'aggraver le problème 26/. (Il s'agit d'un incendie survenu dans une unité de reformage de l'usine AMOCO de Texas City; d'incidents dans l'usine TX de Phillips/Sweeny; dans la raffinerie LA de Tenneco Chalmette, et de problèmes survenus dans des usines appartenant à Lyondell, Amerada Hess, Sun Canada, Cain, Koch, Dow, Shell et Exxon. Auxquels il convient d'ajouter des problèmes de production dans plusieurs usines situées en Asie (Japon, Inde et autres pays).

Le prix du benzène s'est maintenu à un niveau élevé, après une longue période de stagnation et plusieurs arrêts de production. Selon les prévisions, aucune capacité supplémentaire ne sera mise en marche, et les taux d'exploitation suivront la conjoncture industrielle et passeront de 78 % (valeur échelle) à 85 % en 1992. La demande de benzène augmentera suite au démarrage des unités de production de xylène, et l'on assistera à un resserrement considérable des approvisionnements en benzène. La différence de prix entre le benzène et le toluène est suffisamment importante pour justifier le démarrage des unités d'hydrodésalkylation du toluène qui sont en stand-by. Cette mesure permettra d'augmenter dans une certaine mesure les livraisons de benzène nécessaire pour répondre à la demande de l'industrie chimique.

Le paraxylène fait partie des nombreux produits pétrochimiques de base qui ont récemment enregistré une croissance satisfaisante. Certains de ces produits devraient augmenter de plus du double de la moyenne du secteur. Cette évolution est principalement liée à l'utilisation du

paraxylène comme matière première destinée aux fibres de polyester, résines et films. Au niveau mondial, on a assisté à une augmentation de la capacité de production de dérivés du papaxylène; la demande a été particulièrement forte en ce qui concerne le polyester. Aux Etats-Unis, les producteurs ont tiré profit de la demande du marché local émergeant de polyester. Des expansions majeures ont été annoncées dans le but d'augmenter les approvisionnements à destination de ces régions de consommation 27/.

### 8.9 Tendances au niveau des matières plastiques

La branche des matières plastiques est le secteur le plus vaste et le plus important de l'industrie pétrochimique, au niveau mondial. Elle dispose de multiples applications, d'une grande diversité de produits et de technologies bien confirmées, dans la plupart de ses domaines. La demande de matières plastiques est forte, et aucun signe ne permet de supposer que cette tendance sera inversée, malgré les pressions qui sont exercées en matière d'environnement, et qui s'opposent à l'emploi des plastiques.

En 1988, la consommation mondiale totale de thermoplastiques a été estimée à 70 millions de tonnes métriques. En ce qui concerne les plastiques technologiques, le chiffre est évidemment beaucoup plus faible : 2 millions de tonnes, soit environ 3 % de l'ensemble des matières thermoplastiques. (Réf. 18/)

Les cinq principaux polymères thermoplastiques - appelés également polymères de base, plastiques de base ou plastiques standard sont HDPE, LDPE, PP, PVC et PS. En 1989, la consommation mondiale totale de ces cinq polymères représentait approximativement 62,6 millions de tonnes (tableau 7.9). La demande de ces polymères de base augmente dans le monde entier, bien que les tendances varient, pour chaque produit et région. Selon les prévisions, la consommation mondiale totale sera légèrement supérieure à 81 millions de tonnes en 1995 (PVC - 20 millions de tonnes; HDPE - 13,92; LDPE - 15,57; LLDPE - 8,14; PP - 13,57 et PS 12,14 millions de tonnes).

Si l'on tient compte des tendances globales des différents polymères de base, pris individuellement, on prévoit que jusqu'en 1995, le polyéthylène à base densité enregistrera le taux de croissance le plus faible, soit 1 %, suivi par le polystyrène (PS) et le chlorure de polyvinyle (PVC), tous deux avec des taux de croissance de 3 % par an. Le polyéthylène à haute densité (HDPE) et le polypropylène devraient augmenter de 5 % selon les prévisions. Pour sa part, le polyéthylène linéaire à basse densité (LLDPE) enregistrera le taux de croissance le plus élevé avec 11 %.

Si l'on considère l'importance relative des principaux marchés (régions) pour matières thermoplastiques en vrac, on constate que le LLDPE a considérablement progressé aux Etats-Unis. Cette situation résulte de toute une série de causes, dont le prix de vente de ce polymère. Parce qu'il possède un vaste choix d'applications, le HDPE est un produit important au niveau global. En ce qui concerne le PP et le PS, les régions industrialisées représentent environ 2/3 de la consommation globale et 1/3 est consommé par le reste du monde. En effet, la moitié de la consommation de polypropylène (PP) est utilisée dans le moulage par injection d'articles à usage industriel, par exemple industrie automobile et appareils électroménagers, dont la production est concentrée dans les régions développées. Il en est de même pour le polystyrène (PS), qui est employé principalement pour l'emballage et la production de biens de consommation, pour lequel des prescriptions commencent à être mises au point dans les nouveaux pays industrialisés. Le chlorure de polyvinyle (PVC) est un des tout premiers polymères; il est largement utilisé dans les tuyaux et les produits laminés flexibles. Les régions situées en dehors des Etats-Unis, de l'Europe occidentale et du Japon représentent environ la moitié de la consommation globale de PVC.

En raison de la faible rentabilité relative des polymères de base, il est prévu que les producteurs de matières plastiques chercheront à améliorer leurs technologies et à développer leurs

activités de recherche-développement. Il sera nécessaire d'apporter des innovations en matière de technologie de transformation, de façon à réduire au minimum les coûts de production, et de développer certaines catégories de résines à partir de polymères, pour obtenir une plus forte valeur ajoutée. En fait, de nombreuses catégories spéciales de thermoplastiques de base peuvent remplacer les polymères technologiques, en particulier lorsque les applications sont sur-spécifiées. Par exemple, de nouvelles catégories de polystyrène ultrarésistant aux chocs remplacent actuellement l'ABS et le polycarbonate dans les appareils ménagers et la construction automobile.

Entre-temps, les polymères de base continuent également de se remplacer mutuellement,; surtout en fonction des prix. Le polyéthylène à haute densité et le polypropylène obtenu par injection tendent à se remplacer réciproquement dans de nombreuses applications correspondant à des biens de consommation, en fonction du matériau qui est le moins cher, tandis que ces deux produits se substituent au polystyrène (PS), plus coûteux, dans le secteur de l'emballage 28/.

En ce qui concerne les plastiques technologiques et les polymères à haute performance, les tendances sont évidentes : les matières plastiques standard ont atteint leur maturité de marché. Les polymères spéciaux sont des produits à plus forte valeur ajoutée, qui enregistreront vraisemblablement à l'avenir des taux de croissance supérieurs à la moyenne.

Dans les pays développés, de nombreux producteurs se sont orientés vers les polymères technologiques, qui se distinguent des catégories standard par leur performance plus élevée, en termes de résistance accrue, globale, à la flexion et à la chaleur. Les prix moyens des polymères technologiques sont très élevés, allant de 2 à 5 dollars EU par kilogramme. Les polymères technologiques comprennent notamment les produits suivants : polyamide (nylon), polyacétal, polycarbonate, oxyde de polyphénylène et polyester. Il convient également de mentionner certaines catégories spéciales de polymères standard par exemple polyéthylène, PVC et PP renforcé.

Les progrès réalisés à l'intérieur du groupe des polymères technologiques sont caractérisés par certaines modifications par exemple utilisation de substances pulvérulentes (charges) et de matériaux d'armature; alliage de fusion des polymères.

Les polymères à haute performance sont caractérisés par la rétention de leurs propriétés mécaniques et électriques, même à des températures supérieures à 200 °C, ainsi que par leur résistance inhérente au feu. Le volume qui est vendu est faible, mais les prix sont très élevés (environ 50 dollars EU/kilogramme). Ces matériaux englobent le polyacrylate (PAR), le polysulfone (PSU), le polyéthercétone (PEK), etc., qui ont été discutés précédemment d'une manière plus détaillée. Le développement de matières plastiques renforcées à la fibre s'est orienté vers la production de certaines formes spéciales de composites renforcés unidirectionnellement destinés à des composantes soumises à des niveaux élevés de tension mécanique et thermique.

Malgré le prix élevé et la forte valeur ajoutée de ces groupes de polymères technologiques et à haute performance, leur production et leur consommation se situent presque exclusivement dans les régions développées, et les quantités consommées sont très faibles en comparaison des polymères standard (comme indiqué plus haut, la consommation de plastiques technologiques ne représente que 3 % de la consommation mondiale totale de matières thermoplastiques). Par conséquent, certaines préoccupations existent, sur le marché des polymères technologiques et à haute performance, par exemple, risque de surcapacité pour certains produits, par suite d'une saturation progressive du nombre de fournisseurs. (Réf. 18/)

Compte tenu des multiples applications des produits de l'industrie pétrochimique, notamment en matière de thermoplastiques en vrac, et considérant que cette industrie est devenue véritablement globale, on peut affirmer que la demande est principalement déterminée par le niveau général de l'activité économique.

Tableau 8.9 Consommation mondiale de polymères de base (cinq principales matières thermoplastiques) en millions de tonnes métriques a/

	Europe occid.	Amérique du Nord	Japon	Groupe de l'Est	Amérique latine	Moyen-Orient + Afrique	Asie	TOTAL MONDIAL	
	1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989	1988	1989
HDPE	2 649	3 619	881	1 033	641	374	1 302	10 219	10 499
LDPE +LLDPE	5 074	4 896	1 294	1 989	1 546	773	1 962	17 244	17 534
PP	3 257	2 824	1 681	607	435	353	1 687	10 154	10 844
PVC	5 068	3 810	1 847	1 002	934	932	2 745	15 980	16 338
PS	1 669	2 458	995	757	382	208	893	6 458	7 362
	17 717	17 607	6 698	5 388	3 938	2 640	8 589	60 055	62 577

a/ Modern Plastics international, janvier 1990, p. 31-46

Europe de l'Est, Asie, Amérique latine, Moyen-Orient et Afrique, d'après les informations disponibles pour les années 1985/1986/1987, en ajoutant un taux de croissance de 3 à 7 % par an selon le type de polymère et la région.

Aux Etats-Unis, par exemple, le démarrage assez lent du secteur du logement, en 1990, influencera la demande de matériaux de construction - par exemple PVC -, et la diminution des ventes d'automobiles aura des répercussions certaines sur les matériaux de base de cette industrie, par exemple résines d'acrylonitrile butadiène styrène (ABS) et caoutchouc synthétique.

D'un autre côté, plusieurs produits ont enregistré des taux de croissance excellents, notamment le polypropylène (PP) et le méthanol, qui devraient en principe se maintenir à un niveau élevé, en raison de la montée en flèche de la demande d'éther méthyl - tertiobutylique (MTBE) en tant que moyen d'augmentation de l'indice d'octane. En conclusion, en Amérique du Nord, l'industrie pétrochimique se trouve en bonne forme en ce début des années 90.

Au Japon, les compagnies locales semblent être fortement intéressées par d'éventuels investissements, car elles sont encouragées en particulier par les projections de la demande.

En Europe occidentale, la croissance de la demande de produits pétrochimiques restera probablement stable durant les trois prochaines années, à un taux de l'ordre de 2,5 - 3 %.

Actuellement, l'industrie pétrochimique mondiale est principalement marquée par un nouvel essor des investissements au Moyen-Orient. L'Arabie saoudite a entrepris d'effectuer une nouvelle série d'investissements majeurs, et d'autres complexes industriels sont prévus dans plusieurs pays : Koweït, Qatar, Iraq et Abu-Dhabi. Une unité de polypropylène d'une capacité de 80 000 tonnes par an est déjà en construction au Koweït, et les travaux ont commencé pour d'autres usines de fabrication de polymères de base et de matières thermoplastiques. ; D'autres unités sont actuellement dans différentes phases d'exécution. Ces plans exerceront certainement un effet durable sur la conjoncture générale de la région (Réf. 29/).

Toutefois, une question est encore en suspens : il s'agit de l'impact des changements survenus récemment en Europe de l'Est et, en particulier, des conséquences de l'unification des Allemagnes sur l'évolution générale de l'industrie pétrochimique, et des matières thermoplastiques de base, plus spécialement, en raison de leur importance directe et immédiate pour l'édification des différents secteurs de l'économie.

### 8.10 Nouvelles perspectives pour le méthanol

Suite principalement à la crise pétrolière des années 70, qui a modifié la structure internationale des prix de l'énergie, le méthanol est apparu prometteur en tant que rival et produit de remplacement du naphta, dans pratiquement toutes les applications de ce dernier : carburant (essence) pour les transports, combustible de bonne qualité et charge de départ pétrochimique.

Alors que le méthanol est utilisé pour produire et transformer un grand nombre de substances chimiques, son application principale était récemment encore celle d'une matière première employée pour produire du formaldéhyde, largement utilisé à son tour pour fabriquer des adhésifs pour bois contreplaqué (urée et résines de formaldéhyde de phénol) et comme solvant.

De nouvelles applications du méthanol ont été mises au point au fil du temps, par exemple méthacrylate de méthyle, DMT, protéine à cellulose simple (SCP) et production d'acide acétique; auxquelles il convient d'ajouter des applications liées au secteur énergétique, permettant d'obtenir du combustible ou d'utiliser indirectement du MTBE (éther méthyl - tertrobutylique), qui est un renforceur d'indice d'octane plus facilement accepté au niveau de l'environnement que le TEL conventionnel (plomb tétraéthyle), comme additif. L'éther méthyl - tertiobutylique (MTBE) est obtenu en provoquant une réaction entre le méthanol et l'isobutylène. Les perspectives qui s'offrent à ce produit sont particulièrement prometteuses. De plus, le méthanol est également utilisé comme produit dans le mélange de l'essence.

De nombreux efforts de développement et de recherche ont porté sur d'autres utilisations du méthanol dans des domaines qui semblaient autrefois s'orienter vers une consommation considérable de ce produit, par exemple protéine à cellule simple. Cependant, il semble que des délais supplémentaires soient nécessaires pour confirmer la viabilité de ces procédés, dans des applications commerciales de plus grande échelle.

Outre ces applications dans le secteur énergétique, le méthanol peut maintenant être utilisé comme matière première, dans la production d'acide acétique. La technologie révolutionnaire mise au point par Monsanto pour produire de l'acide acétique permet de remplacer les hydrocarbures conventionnelles, par exemple naphta, butane, GPL, éthanol et - surtout - éthylène, en tant que matériaux de base (charge de départ). Cette nouvelles technologie (Monsanto), qui est un précurseur de la technologie C<sub>1</sub>, donne la possibilité de remplacer toutes les autres filières de production d'acide acétique, sauf dans des opérations à faible capacité. Au début des années 80, il a été estimé que 40 % environ de la capacité mondiale d'acide acétique, dans les pays développés, avaient été ou étaient sur le point d'être remplacés par ce nouveau schéma de production. Selon les prévisions, la consommation de méthanol destinée à la production d'acide acétique, en Europe occidentale, devra être supérieure en 1990 à 22 fois le niveau de 1979. Le tableau 8.10 indique, d'une manière résumée, la capacité mondiale de méthanol, la consommation et la demande future.

Tableau 8.10 Capacité mondiale de méthanol, consommation et demande future  
(millions de tonnes)

Année	1980	1987	1990	1995 a/ b/
Capacité		20,4	21,2	21,2
Demande totale	12	16,4	18,6	20,8

a/ Hydrocarbon processing, septembre 1986, p. 19.

b/ Aucune spéculation n'est indiquée en ce qui concerne de nouvelles unités supplémentaires ou fermetures.

Actuellement, 89 % de la production de méthanol sont utilisés pour produire différentes substances chimiques : formaldéhyde (pour les adhésifs, etc.), méthacrylate de méthyle (plastiques transparents, etc.), tandis que 5 % sont employés pour produire du MTBE et 6 % - dans le mélange de l'essence.

### 8.11 Nouvelles applications du méthanol

Si les nouvelles technologies récemment mises au point sont couronnées de succès, le méthanol reprendra à son compte le rôle que le naphta avait joué dans le secteur énergétique et l'industrie chimique. Parmi les nouvelles perspectives qui s'offrent au méthanol, il convient de mentionner :

#### 8.11.1 Méthanol en tant que carburant pour les transports

Dans ce contexte, deux technologies alternatives sont apparues : utilisation directe du méthanol en tant que produit de mélange de l'essence ou produit destiné à remplacer l'essence à 100 %, et méthodes indirectes. Parmi ces méthodes industrielles, le développement le plus important est le procédé MIG mis au point par Mobil (transformation du méthanol en essence), qui permet de convertir le méthanol en un mélange de composés d'hydrocarbures : hydrocarbures aromatiques, paraffines ramifiées, etc. Ce mélange est pratiquement identique à l'essence, du point de vue de sa composition et de son emploi (indice d'octane = 93).

#### 8.11.2 Méthanol en tant que charge pétrochimique initiale

Différentes technologies nouvelles orientées vers le méthanol sont susceptibles d'avoir une haute valeur commerciale : mise au point de la chimie  $C_1$ ; procédé Monsanto de production d'acide acétique; procédé Tennessee Eastman de fabrication d'anhydride acétique; procédé Chevron et Halcon de production d'éthylène glycol et d'acétate de vinyle à partir de méthanol. Enfin, il convient de mentionner le procédé de Mobil (conversion du méthanol en oléfines), qui permet de produire de l'éthylène à partir du méthanol, et qui ouvre de larges horizons aux charges pétrochimiques de départ.

## **9. IMPACT DES PREOCCUPATIONS CROISSANTES EN MATIERE D'ENVIRONNEMENT SUR L'INDUSTRIE PETROCHIMIQUE**

Dans les pays industrialisés, les pressions accrues et permanentes en matière de protection de l'environnement sont devenues un des principaux problèmes concernant l'avenir de l'industrie. Malgré l'efficacité des mesures entreprises, les activités intenses de recherche-développement, et les efforts considérables déployés par les producteurs pétrochimiques pour renforcer la sécurité des usines et réduire les rejets de polluants et les volumes évacués, de nouveaux règlements et lois sont continuellement promulgués, rendant les restrictions encore plus contraignantes.

De nombreux producteurs pétrochimiques ont déjà adapté leurs procédés technologiques et leurs paramètres d'exploitation d'usine, afin de tenir compte de ces prescriptions en matière d'environnement. La pression exercée sur les entreprises ne fait qu'augmenter, ainsi que les investissements (10 - 15 %). Certaines hésitations sont néanmoins enregistrées dans le développement de nouveaux produits spécifiques, dont l'impact et les restrictions écologiques sont encore mal perçus.

L'industrie des matières plastiques, en particulier, qui est le secteur le plus sûr de la pétrochimie, est confrontée à de graves problèmes environnementaux, ou à la réglementation limitée de l'évacuation de très nombreux polymères. Il existe de nombreux exemples de restrictions concernant l'utilisation et l'évacuation des matières plastiques. Par exemple, les pressions écologiques exercées sur le polystyrène - produit largement utilisé dans le secteur de l'emballage - a provoqué un retour au papier et au carton pour l'emballage de certains biens de consommation. Une pression écologique accrue est exercée actuellement sur le chlorure de polyvinyle (PVC), dans le cadre du problème général du chlore. Les écologistes ont exigé que l'on interdise la production

de PVC, en raison des risques de rejet de Hcl durant l'incinération, bien que l'industrie ait affirmé qu'elle était à même de résoudre ce problème d'une manière efficace, grâce à des systèmes d'épuration adéquats. De plus, des demandes ont été formulées concernant l'interdiction totale de certaines matières plastiques et en vue du recyclage dans plusieurs applications, en particulier les emballages pour produits de consommation courante. Au Japon et en Europe occidentale, les observateurs considèrent que les restrictions imposées à certains matériaux d'emballage, pourraient entraîner bientôt une surcapacité, pour certains produits qui sont rares actuellement. En conséquence, cette question doit être étudiée avec le plus grand sérieux, et pourrait déboucher sur la fixation de nouvelles limites, pour la gestion de l'industrie pétrochimique.

En ce qui concerne les nouveaux matériaux de faible poids moléculaire, il est plus difficile d'appliquer les produits spéciaux, sur une base commerciale, que les polymères, car les règlements exigent des procédures strictes et des essais, notamment en matière de toxicité. Enfin - ce qui est tout aussi important -, la nouvelle législation adoptée aux Etats-Unis sur la protection de l'atmosphère (Clean Air Act) est susceptible de créer de nouvelles attitudes à l'égard des perspectives qui s'offrent à l'industrie pétrochimique.

En conclusion, la prise de conscience du public et l'intérêt manifesté par les gouvernements à l'égard de l'impact de l'industrie sur la santé humaine et l'environnement sont des facteurs importants. Mais il est également essentiel d'analyser les règlements d'une manière réaliste, de façon à les concevoir sans limiter indûment le développement de l'industrie pétrochimique, au niveau technique ou économique.

## 10. CONCLUSIONS

L'étude de l'évolution mondiale du développement technologique dans l'industrie pétrochimique, et des problèmes connexes de ce secteur, permet de tirer les conclusions suivantes :

- Une décennie caractérisée par une restructuration continue associée à une mutation favorable de l'environnement économique global et à une chute récente du prix du pétrole a permis d'amener l'industrie pétrochimique à un niveau relatif de stabilité, caractérisé par des taux d'exploitation élevés, de fortes marges bénéficiaires et perspectives satisfaisantes. La surcapacité a été absorbée. Les principaux marchés pétrochimiques sont restés stables et l'on a assisté à une montée en flèche des nouveaux investissements.

Cependant, les leçons du passé sont encore présentes en toile de fond et il ne faudrait pas les oublier lors de l'élaboration de plans futurs. S'il est vrai que les erreurs ont été sans beaucoup de conséquences, dans une période caractérisée par une croissance rapide, tel n'est plus le cas actuellement. Par conséquent, à condition de faire preuve de prudence, aucun bouleversement ou véritable récession ne sont à craindre au niveau de l'industrie pétrochimique, dans un proche avenir.

- Le niveau d'investissement qui a été récemment adopté à la suite de pics cycliques de rentabilité est généralement considéré comme supérieur aux besoins à court terme du marché. En conséquence, une surcapacité est prévue pour le début des années 90, dans certains produits pétrochimiques, mais elle sera absorbée en 1995. Ceci s'applique également aux profits qui seront éventuellement touchés lorsque la plupart de ces unités seront mises en exploitation. Toutefois, une relance est également prévue pour le milieu des années 90. Par exemple, il est évident qu'il existe une surcapacité de production de polypropylène. Cependant, étant donné que le PP est un matériau de base qui se développe assez rapidement, et si l'on prévoit que certaines vieilles usines seront éventuellement fermées, tout porte à croire qu'une relance interviendra bien avant le milieu de l'année 1995.

- Malgré un développement technologique concomitant et significatif, la configuration de l'industrie pétrochimique, durant les années 90, sera déterminée par les stratégies commerciales bien plus que par la technologie.

- L'industrie pétrochimique est devenue véritablement globale, à tous les égards, et cette évolution se renforcera encore, dans les années 90, à en croire les prévisions. Le déséquilibre offre/demande qui se manifeste dans une région donnée du monde a automatiquement des répercussions dans les autres régions. Chaque jour, il se produit des investissements transfrontaliers; des entreprises mixtes sont créées; on enregistre des ventes, des acquisitions et des fusions; la prise de conscience à l'égard des responsabilités en matière de protection de l'environnement devient un phénomène universel. Les exemples sont nombreux, et le processus est ininterrompu.

Par conséquent, tout plan futur devra tenir compte de l'image globale de l'industrie pétrochimique, d'une manière plus précise que par le passé. Aujourd'hui, un accident qui se produit dans une région du globe, au niveau de l'industrie pétrochimique, a des répercussions sur l'équilibre de l'offre et de la demande, pour l'ensemble de l'offre et de la demande, pour l'ensemble d'un pays donné. Par exemple, l'incident survenu en novembre 1988 dans l'unité d'hydrocarbures aromatiques de la Deutsche Shell (République fédérale d'Allemagne) a transformé radicalement l'Europe, qui est passée du statut d'un exportateur net d'hydrocarbures aromatiques à destination des Etats-Unis à celui d'un importateur net. De même, la demande d'exportations de styrène, aux Etats-Unis, a diminué au milieu de 1988 lorsque les achats de polystyrène de la Chine se sont ralentis.

Cependant, la caractéristique la plus remarquable de la globalisation est la politique adoptée par le monde occidental, qui vise à éviter dans une certaine mesure une concurrence avec le Moyen-Orient, dans la production de polymères de base conventionnels, et, qui préconise, par conséquent, un passage aux produits spéciaux.

- Un autre aspect général qui concerne l'évolution future de l'industrie pétrochimique mondiale est représenté par les événements qui ont eu lieu récemment en Europe de l'Est, notamment l'unification des deux Allemagnes. Cette situation est de nature à encourager fortement les investissements, dans cette région. De plus, les firmes occidentales cherchent déjà à créer des entreprises mixtes 29/.

- L'étude globale de la situation mondiale, en matière de charges de départ, indique qu'il n'y a pas - et qu'il ne se produira pas - de risque de pénurie au niveau de la disponibilité des matières brutes mais que certaines considérations économiques peuvent faire pencher la balance en faveur de certaines charges spécifiques. Les réserves mondiales de charbon sont largement suffisantes, et l'utilisation de pétrole et de gaz, dans la production chimique, est certainement moins dangereuse que leur emploi dans la production d'énergie.

Grâce à la découverte de nouvelles réserves de pétrole et de gaz et à la stabilisation des prix du gaz et des produits de raffinerie à des niveaux relativement bas (marché favorable des hydrocarbures), les matières premières à base de pétrole et de gaz naturel continueront de dominer les charges utilisées pour l'industrie pétrochimique, durant les années 90 et, vraisemblablement, au XXI<sup>e</sup> siècle, en particulier au Moyen-Orient, région qui dispose de réserves suffisantes de pétrole et de gaz et qui pourra, par conséquent, leur assurer des débouchés importants, durant le siècle à venir. Cependant, parmi ces charges basées sur le pétrole et le gaz, on assistera à un déplacement en faveur du premier ou éventuellement du second, en fonction de la disponibilité régionale des prix, et des types de produits recherchés par les unités de craquage d'éthylène.

- En ce qui concerne le choix global des charges destinées à la production d'éthylène, il est prévu que l'éthane sera progressivement abandonné en faveur du gaz de pétrole liquéfié (GPL), tandis que l'utilisation du naphta se maintiendra à un niveau pratiquement constant (54 - 56 %). Pour sa part, l'emploi du gazole diminuera. Les gaz associés et les autres nouveaux gisements de gaz produisent des gaz naturels relativement riches en méthane. Les volumes de GPL sont en augmentation.

En Europe, le naphta est progressivement délaissé en faveur de charges plus légères : éthane et gaz de pétrole liquéfié (GPL). Cette tendance se poursuivra, mais toutefois à un rythme plus lent qu'au cours des dernières années. Toutefois, l'emploi de l'éthane ne sera peut-être pas justifié économiquement, en Europe.

Aux Etats-Unis, l'utilisation de l'éthane diminuera, et les unités de craquage d'éthylène resteront flexibles en ce qui concerne la sélection des charges de départ.

En Extrême-Orient, l'accent sera placé sur le naphta et, dans des régions comme le Moyen-Orient, on continuera de favoriser l'utilisation de l'éthane, tout en envisageant d'employer de plus en plus fréquemment des charges plus lourdes.

La proportion de propylène obtenu en tant que coproduit de l'éthylène augmentera, en particulier aux Etats-Unis, alors qu'elle diminuera en Europe. Dans cette région, les besoins accrus en propylène devront être couverts à partir des raffineries.

- En ce qui concerne la situation mondiale des charges de départ, décrite dans la présente étude, on peut conclure que des matières brutes alternatives sont disponibles, pour l'industrie pétrochimique, en particulier sur la base de réserves de charbon et de la biomasse. De plus, il existe des procédés commerciaux correspondants, qui permettent de produire des substances pétrochimiques de base à partir de ces matières de départ. Plusieurs unités d'échelle industrielle sont en exploitation, dans différentes régions du globe, et les activités de recherche se poursuivent afin de trouver de nouveaux procédés, qui verront certainement le jour. Dans les pays industrialisés, on enregistre également une tendance à "étirer" la gamme d'utilisation du pétrole en fabriquant des produits légers à partir des fractions résiduelles lourdes. Cependant, l'obstacle principal à une concurrence mondiale au niveau de ces alternatives se situe dans le domaine économique, bien plus que dans le contexte des technologies ou de la disponibilité, étant donné que ces solutions de remplacement sont, de par leur nature même, plus onéreuses, à la fois du point de vue des investissements et des opérations.

- Bien qu'il existe une forte tendance à la production de polymères technologiques et à haute performance, en particulier dans les régions développées, les polymères de base (HDPE, LDPE, PP, PVC et PS) gagnent constamment en importance, enregistrent des taux de croissance satisfaisants et se développent progressivement dans toutes les régions du monde, y compris dans les pays industrialisés, où ils bénéficient actuellement d'un marché parvenu à maturité. Ces polymères de base constituent le segment principal de l'industrie pétrochimique, avec plus de 63 millions de tonnes en 1989, dont environ 75 % sont consommés dans les régions développées. Selon les prévisions, la consommation de ces polymères sera supérieure à 81 millions de tonnes en 1995. Dans un avenir proche, le LLDPE enregistrera globalement le taux de croissance le plus élevé, dans le groupe des matières thermoplastiques de base (10 - 11 % par an), suivi par le HDPE et le PP (5 % par an), et le PVC et le PS (environ 3 %). Le taux de croissance le plus faible sera celui du LDPE (environ 1 % par an). Par conséquent, les polymères de base continueront de dominer l'industrie pétrochimique, en particulier dans les pays en développement, où ils sont assurés d'un avenir plus prometteur.

- En ce qui concerne l'importance régionale relative des polymères de base (matière thermoplastiques en vrac), deux facteurs doivent être pris en considération : la structure des utilisations finales reflétée par les produits (polymères) et la phase de développement du marché. Cependant, le HDPE est plus important, en règle générale, à cause de son vaste spectre d'utilisation. Les applications du PP et du PS sont principalement concentrées dans les régions développées (automobile, appareils ménagers et emballage). La consommation de PVC est répartie entre les régions industrialisées et le reste du monde. Le LDPE a gardé son importance en Europe occidentale et dans les autres régions, tandis que le LLDPE a enregistré des progrès rapides aux Etats-Unis.

- Dans les pays en développement, notamment au Moyen-Orient, les produits thermoplastiques de base continueront de susciter des opportunités d'investissement valables. En ce qui concerne le PP, il est probable que le Moyen-Orient réussira à se tailler une position compétitive sur le marché

régional à court terme, et renforcera progressivement ce rôle à l'avenir. Les marchés du PS et du PVC seront en augmentation, dans la région du Moyen-Orient, et offriront des opportunités aux producteurs pétrochimiques locaux.

- Sur une base globale, il semble que les perspectives les plus prometteuses concernant le LLDPE et le HDPE, probablement dans des unités de production combinées permettant une permutation des schémas.

- Bien que les polymères technologiques et à haute performance aient enregistré des taux de croissance élevés; disposent d'une plus forte valeur ajoutée; et aient suscité l'intérêt des producteurs, ils sont exclusivement fabriqués et presque totalement consommés dans les pays industrialisés. En effet, leurs domaines d'application ne sont pas encore au point dans les pays en développement, ou même proches d'un certain degré de maturation. De son côté, le marché des produits spéciaux est plus nettement orienté vers les consommateurs et nécessite une identification précise des demandes et des problèmes de la clientèle, de façon à ce que le fabricant puisse ajuster ses produits "sur mesure" pour répondre aux demandes spécifiques.

Les différents facteurs, ainsi que la possibilité d'une maturité précoce des polymères spéciaux, dans les régions industrialisées, ont donné lieu à certaines préoccupations à l'égard d'une éventuelle surcapacité. Il est vrai que certains secteurs de produits sont déjà saturés (ou presque) de fournisseurs et pourraient connaître des difficultés à l'avenir.

En ce qui concerne la quasi majorité des produits pétrochimiques essentiels, la plupart des schémas habituels de production ont pratiquement atteint leurs limites, du point de vue de la conception des réacteurs et de l'efficacité des catalyseurs. Les procédés sont établis et les capacités de production par unité ont actuellement leur taille économique critique, pour la plupart des produits. Cependant, des efforts ont été déployés en continu afin d'améliorer l'efficacité des opérations (optimisation), grâce au développement des catalyseurs et à l'extension de leur durée de vie; en économisant de l'énergie grâce à une meilleure récupération de l'énergie et autres mesures; en réduisant les gaspillages; en utilisant différentes charges et en évitant d'employer des réactifs dangereux.

En conséquence, aucun développement majeur ni percée ne sont attendus, en général, dans un avenir proche au niveau de la technologie de transformation, sauf en ce qui concerne plusieurs objectifs de développement technologique déjà identifiés : utilisation de l'éthane et du propane comme charges de départ pour la production de certains dérivés d'oléfines (chlorure de vinyle, acrylonitrile) et de substances aromatiques non encore commercialisées; production de propylène à partir de la déshydrogénation du propane (perspective qui attend encore les résultats de la première unité commerciale UOP en Thaïlande, qui devrait démarrer). Des événements importants pourraient toutefois avoir lieu, semblables à la production de polyéthylène linéaire à basse densité (LLDPE), au milieu des années 70. L'histoire a démontré, en effet, que l'imprévisible peut toujours se produire.

- En tant que tendance globale, les activités de recherche-développement ont été considérablement ralenties par la crise pétrolière et par la récession économique mondiale, au début des années 80, en raison de la faiblesse de la demande, des bénéfices médiocres et de la maturité relative de la plupart des technologies de transformation. Le niveau de la recherche-développement a de nouveau augmenté par la suite dans le cadre de stratégies à moyen et à long terme ciblées principalement sur les charges alternatives, par exemple utilisation du méthanol et du gaz de synthèse (chimie C<sub>1</sub>); conversion des fractions résiduelles lourdes en charges pour unités de production d'oléfines; innovations au niveau des procédés conventionnels sous forme d'économies d'énergie, efficacité de production et réduction de coût; amélioration des produits conventionnels (matières plastiques standard); mise au point de nouvelles applications de produits; développement de secteurs de technologie avancée, par exemple électronique et biochimie.

La recherche-développement en technologie de transformation semble avoir reçu moins d'attention, dans les stratégies à court terme, et ne représente qu'une partie mineure des budgets affectés à ces activités.

Cependant, malgré les objectifs relativement limités qui ont été définis pour la recherche-développement, toute mesure positive est susceptible d'entraîner des progrès considérables au sein de l'industrie pétrochimique, en particulier en matière de chimie  $C_1$ , qui est considéré comme le domaine le plus intéressant et le plus prometteur : en effet, il fait appel à la technologie du réarrangement moléculaire afin de créer différents composés contenant plusieurs atomes de carbone à partir d'un atome de carbone simple, ainsi que sur la base du méthane, de l'oxyde de carbone et du méthanol.

- L'industrie pétrochimique accorde la plus haute priorité à la protection de l'environnement, ainsi qu'à l'application de normes strictes en matière de santé publique et de sécurité. Récemment, de nombreuses mesures et des sommes considérables ont été consacrées à la garantie de conditions d'exploitation sûres; à la protection des travailleurs et à un contrôle approprié des substances polluantes dangereuses, grâce à l'ajustement des procédés et à la récupération des matériaux résiduels indésirables y compris l'évacuation en sûreté des produits pétrochimiques principalement matières plastiques. Les producteurs des pays développés ont scrupuleusement respecté les règlements adoptés par les autorités gouvernementales et les normes en vigueur.

Cependant, les pressions exercées au niveau de l'environnement ne semblent pas devoir se relâcher : des lois et des règlements de plus en plus contraignants sont imposés, sur une base continue, aux niveaux des émissions de polluants. Les mesures restrictives concernent principalement l'évacuation des matières plastiques, y compris la catégorie des produits recyclables. Cette tendance a mitigé l'enthousiasme des producteurs à l'égard du développement futur de certains nouveaux produits, et notamment de ceux dont l'impact environnemental ne peut pas être évalué; Citons, à titre d'exemple, les restrictions imposées en matière d'utilisation courante; l'interdiction de la production du chlorure de polyvinyle (PVC), à cause des rejets d'acide chlorhydrique provoqués par l'incinération; l'interdiction totale de certaines matières plastiques, par exemple matières recyclables utilisées dans les emballages commerciaux, etc.

## 11. RECOMMANDATIONS

les recommandations ci-dessous peuvent être proposées, sur la base de l'analyse de l'industrie pétrochimique mondiale et de ses différents aspects :

- Les matières plastiques de base ont un avenir prometteur, et les taux de croissance des cinq principaux polymères (HDPE, LDPE, PP, PVC et PS) augmentent régulièrement dans les régions en développement, alors que la consommation par habitant reste encore très faible. De plus, bien que ces polymères de base aient atteint leur maturité, des développements restent possibles dans une perspective d'avenir, en particulier dans les domaines suivants : fabrication de catégories améliorées; augmentation de la production; renforcement de la performance et des possibilités de transformation. Toutefois, les paramètres relatifs aux choix des polymères, aux capacités de production et à d'autres aspects seront déterminés sur la base d'études de faisabilité, spécifiques aux différents pays concernés. La production de ces polymères est plus intéressante dans les pays en développement qui disposent d'amples ressources d'énergie et de charges de départ, à des prix relativement faibles.

- Dans les pays en développement, les activités de recherche-développement devront être orientées vers les industries situées en aval et la commercialisation plutôt que vers des procédés et technologies implantées en amont.

- Il convient d'appuyer les efforts méritoires qui sont déployés par les régions développées, en particulier afin d'éviter une concurrence avec les nouveaux venus dans l'industrie pétrochimique, principalement en ce qui concerne la production de polymères de base. L'objectif est de se

concentrer sur les produits à faible intensité technologique; les polymères technologiques à valeur ajoutée élevée et les polymères à haute performance, tout en améliorant en permanence la production de polymères de base dont les perspectives sont encore considérables. La globalisation de l'industrie pétrochimique a entraîné une consolidation de cette nouvelle division sectorielle du travail, en différentes lignes de production et activités.

- Il convient d'encourager une coopération approfondie étroite entre les régions industrialisées et les pays en développement qui font leur apparition dans l'industrie pétrochimique, afin de coordonner les plans futurs de production, tout en gardant à l'esprit le fait que la plupart des unités de craquage d'éthylène établies en Europe auront atteint un âge avancé, en 1995, date à laquelle environ 5,5 millions de tonnes de capacité d'éthylène auront de 20 à 25 ans; 3,5 millions - 15 à 20 ans; 2,6 millions - 10 à 15 ans; et 2,2 millions - 25 à 30 ans. Les nouvelles capacités devraient être déployées dans les régions qui possèdent un avantage compétitif au niveau de la production.

- Une plus grande transparence du marché est nécessaire, afin d'éviter dans la mesure du possible, des problèmes de surcapacité. Par conséquent, il est indispensable de mettre en place un réseau efficace de collecte de données relatives à la production et à la commercialisation, dans le cadre d'une coopération interrégionale. Cette nécessité est particulièrement importante pour les pays en développement qui ne disposent généralement d'aucune expérience préalable à ce niveau.

- Il est prématuré que la majorité des pays en développement envisagent de produire des substances pétrochimiques spéciales. Les capacités et les activités de commercialisation devraient être planifiées progressivement.

- Compte tenu de la difficulté d'acquérir le savoir-faire indispensable à la production de matières brutes destinées à la production de fibres synthétiques (par exemple, polyester et produits acryliques), dans les pays en développement, il est conseillé de construire ces industries sur la base d'entreprises mixtes, afin de répondre aux besoins considérables des marchés locaux en fibres synthétiques.

- Outre l'éthane, les pays riches en pétrole et en gaz devraient envisager l'utilisation d'autres charges alternatives pour la production d'éthylène, afin de pouvoir obtenir les sous-produits nécessaires - propylène et butadiène - et, dans la mesure du possible, des hydrocarbures aromatiques. En conséquence, il conviendra de construire des unités de craquage d'éthylène caractérisées par une flexibilité économique maximale, offrant un choix de matières premières correspondant aux limites technologiques et à la disponibilité des charges de départ des opérations de craquage.

- Il est tout à fait essentiel que les pays en développement disposant d'une industrie pétrochimique et que ceux, qui envisagent de créer une telle base, mettent sur pied et développent de concert leurs capacités de recherche-développement, dans le secteur pétrochimique, pour répondre à la fois à leurs besoins immédiats et aux objectifs de leurs stratégies à long terme. Les activités de recherche-développement doivent tenir compte des aspects suivants : développement des ressources indigènes; adaptation des nouvelles technologies aux conditions locales; mise au point de procédés novateurs et de technologies; amélioration des produits et des catégories de polymères; perfectionnement de leurs applications et recherche de nouveaux produits. Il convient également de trouver des solutions adéquates aux problèmes de la protection de l'environnement, de la santé publique et de la sécurité.

- Il convient de créer et d'appuyer les centres de recherche-développement, dans les pays en développement qui disposent d'une industrie pétrochimique; de les équiper d'une infrastructure de base (humaine et physique); de promouvoir un niveau maximal et diversifié de coopération nationale, régionale et internationale; d'assumer la coordination de l'intégration de ces centres, afin de réduire les dépenses et de rationaliser le temps nécessaire; et de développer les capacités au niveau national et régional.