Applications de la chimie des plasmas à la grande industrie chimique *

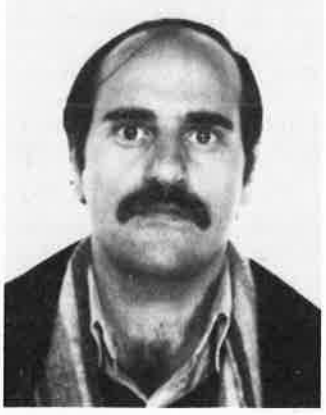
par J. Amouroux, D. Rapakoulias et D. Morvan

(Laboratoire de génie chimique, École Nationale Supérieure de Chimie de Paris, 11, rue Pierre-et-Marie-Curie, 75005 Paris)

J. Amouroux

D. Rapakoulias

D. Morvan



S. Cavadias

Il convient, en préambule à cet exposé, de rappeler les éléments économiques qui traduisent l'évolution des diverses sources énergétiques de la France :

	1978	1981*	1990*
Charbon	17,7	17,7	16
Pétrole	58,6	49,3	32
Gaz	11,4	13,0	13
Électronucléaire	3,5	10,3	27
Hydroélectrique	8,8	7,9	7,5
Énergies nouvelles	–	1,8	4,5
Total	100	100	100

* *Rapport Hugon.*

Ainsi, assiste-t-on à une décroissance de la matière bivalente : le pétrole, source d'énergie et de matière première. Cette constatation et l'évolution simultanée de son prix indiquent qu'il deviendra une matière de base plus spécifique de la pétrochimie tandis que le domaine énergétique voit l'apparition de façon plus nette de l'électronucléaire dès 1985 et surtout à partir de l'an 2000.

Dans cette nouvelle conjoncture économique, les problèmes industriels sont posés de façon complémentaire aux diverses industries et nous pouvons les classer en 3 groupes :
- industries qui fabriquent de l'énergie (sociétés pétrolières, EdF),
- industries qui produisent les matières de base de la grande industrie chimique (engrais, éthylène, ciment, ...),
- industries des produits stratégiques de notre indépendance nationale (Mo, Co, Ni, W, Cr, Ti, ...).

Globalement, les industries auront pour objectif de valoriser au mieux la source d'énergie et la matière première employée. Le choix du procédé est donc dicté par les considérations suivantes :
- choix de la source d'énergie,
- choix de matière première,
- valeur ajoutée,
- tonnage,
- risque du procédé,
- environnement.

Dans cet optique, la chimie des plasmas apparaît comme un début de réponse à la remise en cause des procédés thermiques conventionnels utilisant comme source d'énergie le fuel; de plus, elle apparaît capable également d'apporter une valeur ajoutée plus

* *Conférences présentées, le 24 avril 1980, à la réunion « Chimie des plasmas » organisée par SEE, à Limoges.*

	Réacteur thermique	Réacteur plasma
Rôle de la paroi	• zone d'apport d'énergie (température élevée) • Elle définit le volume réactionnel • Elle participe aux mécanismes réactionnels	Zone de perte d'énergie (température faible, elle est refroidie) par rayonnement du plasma Elle n'a aucun rôle dans le cas du réacteur haute température
Volume de l'unité	Il dépend du temps de séjour et du tonnage produit. En général il est *grand*	Le volume est très faible (temps de séjour de l'ordre de la milliseconde)
Masse de matière stockée	Importante	Faible
Temps de mise en route	Important	Faible
Perte thermique	Importante à cause des principes du chauffage par un fluide caloporteur (2 parois sont donc en fait employées)	Faible (20 à 25 %)
Récupération d'énergie	En sortie par échange de chaleur avec fabrication de vapeur	Réaction de trempe et mise en œuvre de réactions complémentaires pour récupérer l'énergie (craquage d'hydrocarbure production de minerai)

importante par l'élaboration de matériau plus pur (industrie des métaux et réfractaires) ou par la possibilité de réaliser des traitements de surface adaptée aux applications nouvelles (cémentation, gravure, projection de céramique, encapsulage des engrais).

Pour cet exposé, il est apparu souhaitable d'envisager les procédés grands consommateurs d'énergie et à haut tonnage de fabrication. A titre d'exemple, nous présenterons 3 cas qui représentent 3 secteurs des industries chimiques :

I. Le secteur intermédiaire organique : l'acétylène.

II. Le secteur intermédiaire industrie engrais : l'oxyde d'azote.

III. Le secteur intermédiaire métallurgie : les ferroalliages.

Le but de cette présentation est de démontrer la faisabilité des procédés sous l'aspect technique et économique afin de proposer une structure de valorisation de produits, de substitution aux procédés actuels ou d'amélioration de procédés existants.

Caractéristiques des réacteurs à plasma

La technique plasma consiste à employer un fluide gazeux comme vecteur de l'énergie électrique reçue lors de son passage entre deux électrodes. Ainsi, le gaz est chauffé par effet Joule en courant continu ou alternatif; la technique la plus employée étant l'arc soufflé. Dans les applications que nous exposerons, il s'agit de réacteurs à plasma chaud, c'est-à-dire que le fluide possède une enthalpie volumique très élevée, une température moyenne voisine de 10 000 K et une réactivité chimique très grande. Cette propriété nous conduit à la conception de réacteurs chimiques très différents des réacteurs thermiques.
En effet, les vitesses de réactions et de transfert de chaleur ne sont plus limitées par les caractéristiques de la paroi du réacteur. Le transfert d'énergie a lieu directement dans la masse réactionnelle de façon unique ou par mélange entre réactifs chaud et froid.

Afin d'illustrer la mise en œuvre de cette technique, nous choisirons, pour chaque étude de cas, de préciser les conditions techniques de la mise en œuvre et le coût économique du procédé.

I. Production de l'acétylène à partir des hydrocarbures lourds et du charbon dans un réacteur pilote à plasma

par J. Amouroux

(Laboratoire de génie chimique, École Nationale Supérieure de Chimie de Paris, 11, rue Pierre-et-Marie-Curie, 75005 Paris)

La synthèse d'hydrocarbures de substitution apparaît actuellement comme une nécessité. Cet article a pour but de proposer une valorisation des fractions lourdes d'hydrocarbures dont le cracking catalytique ou thermique restent actuellement impossibles. Les techniques plasma analysées proposent différents procédés expérimentés en Allemagne et aux USA, au stade pilote, dans le but de produire de l'acétylène. L'analyse technique et économique de ces procédés démontrent la faisabilité de cette technologie et la possibilité d'en réaliser une exploitation industrielle d'un coût compatible avec les impératifs du marché. Pour conclure, soulignons qu'il s'agit d'une technologie non thermique, c'est-à-dire que l'introduction de l'énergie électrique dans le réacteur, sans l'emploi de paroi, apparaît bien adaptée à l'amélioration du rendement énergétique et chimique des procédés.

1. Introduction

L'acétylène est un intermédiaire organique important dont l'intérêt principal réside dans la fabrication du chlorure de vinyle ou de l'acétate de vinyle. Toutefois, sa fabrication au four à arc a été abandonnée sauf en Allemagne et actuellement l'éthylène provenant des vapocraqueurs domine le marché. Cependant, un bouleversement important des procédés et de l'emploi des sources carbonées provient de l'évolution très rapide du prix du pétrole (3 $ le baril en 1973, 35 $ le baril en 1980). Ainsi, les coupes d'huiles lourdes, les résidus lourds, les chars, le charbon et les schistes bitumineux peuvent-ils devenir une source de matière première nouvelle, à condition que leurs coûts en permettent l'exploitation de façon durable.

De ce fait, la dualité acétylène-éthylène peut être à nouveau posée (9). La rapide expansion de l'éthylène par rapport à l'acétylène a été liée essentiellement à la découverte et à l'exploitation de gisements pétroliers gigantesques. Dans le même temps, la fabrication de l'acétylène, par le procédé au carbure, exigeait une main-d'œuvre importante et était pénalisée par l'augmentation très nette du prix du charbon par rapport au pétrole. L'énergie et la matière première bon marché provoquaient d'ailleurs l'arrêt des grands fours à carbure de Rhône-Poulenc, vers 1965, et simultanément, le