

Polypropylènes

par **Jean-Marie BÉCHET**

Ingénieur responsable Développement Procédé
Elf Atochem

1. Les différents polypropylènes	J 6 545 - 2
2. Principe des procédés	— 2
2.1 Différents types de polymérisation	— 2
2.2 Catalyseurs.....	— 2
2.3 Matières premières et produits auxiliaires.....	— 3
2.4 Conditions de polymérisation	— 3
3. Description des procédés	— 3
3.1 Polymérisation en suspension	— 3
3.2 Polymérisation en masse (en suspension dans le propylène liquide)....	— 3
3.3 Polymérisation en phase gazeuse.....	— 4
3.4 Polymérisation hybride en masse (propylène liquide) et en phase gazeuse	— 6
3.5 Récapitulatif	— 6
4. Traitements complémentaires du polymère	— 8
4.1 Traitements de désactivation - désodorisation	— 8
4.2 Granulation et traitement des granulés.....	— 8
5. Données économiques relatives aux procédés	— 8
5.1 Consommations de matières premières et d'utilités.....	— 8
5.2 Investissement en limites d'unité.....	— 8
5.3 Production mondiale	— 8
6. Fiche produit	— 9
6.1 Présentation des polymères	— 9
6.2 Prix de vente	— 9
6.3 Propriétés des principaux polypropylènes.....	— 9
6.4 Principales utilisations	— 9
Références bibliographiques	— 10

Cet article décrit les grandes familles de polypropylène, de formule chimique $(-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_2}{\text{CH}}-)_n$, ainsi que les différents procédés de fabrication avec leurs données économiques. Les principales propriétés et utilisations sont aussi exposées dans la Fiche produit.

1. Les différents polypropylènes

L'industrie produit trois grandes familles de polypropylène :

- le PP **homopolymère**, résultat de la polymérisation de propylène uniquement ;
- le PP **copolymère statistique**, en général produit avec, comme comonomère, de l'éthylène utilisé en faible proportion (quelques%) ;
- le PP **copolymère séquencé** (ou *bloc*), produit obligatoirement dans une cascade de réacteurs avec, en première étape, le PP homopolymère et, en seconde étape, un caoutchouc d'éthylène et de propylène (dit EPR *ethylene propylene rubber*).

Signalons enfin des **terpolymères** utilisant principalement, comme comonomères, de l'éthylène et du butène.

L'homopolymère PP se présente sous trois formes qui dépendent de la manière dont les groupes *méthyle* sont ordonnés (figure 1) :

- polypropylène *isotactique*, cristallin, la seule forme véritablement intéressante et produite en grand tonnage ;
- polypropylène *syndiotactique*, actuellement non produit industriellement ;
- polypropylène *atactique*, amorphe et très collant, exploité industriellement, mais en faible tonnage, et pour des applications très différentes de celles du PP isotactique.

Historique

La découverte des polypropylènes a eu lieu au début des années 50.

Plusieurs sociétés sont à l'origine de cette découverte : **Montecatini**, devenue Montedison (contribution du Professeur Giulio Natta qui a obtenu en 1963 un prix Nobel partagé avec K. Ziegler), le groupe **Ziegler**, et **Phillips Petroleum**.

Ces polypropylènes sont obtenus par polymérisation à partir d'un catalyseur (dit *de Ziegler/Natta*) constitué d'un mélange d'un sel de métal de transition (généralement Ti) et d'un alkylaluminium.

Le polypropylène a été commercialisé pour la première fois en 1957 par Montecatini en Italie. Très rapidement, d'autres installations de production ont démarré en Europe, aux États-Unis et au Japon.

Les nombreux procédés de production de PP se sont simplifiés au fil des années par utilisation de **systèmes catalytiques de plus en plus performants** :

- ceux de la 1^{re} génération, jusqu'au milieu des années 60 : leur faible rendement catalytique nécessitait une étape de lavage du polymère pour extraire les résidus catalytiques et le PP atactique ;
- ceux de la 2^e génération, principalement de 1965 à 1982 : la productivité est multipliée par 4 et la stéréospécificité catalytique est améliorée, évitant l'extraction du PP atactique mais maintenant l'étape d'extraction des résidus catalytiques ;
- ceux de la 3^e génération, introduits en 1975 par Mitsui-Montedison : la productivité encore améliorée permet d'éviter l'extraction des résidus catalytiques, mais la stéréospécificité un peu faible peut nécessiter une extraction du PP atactique ;
- ceux de la 4^e génération, introduits au début des années 80 par Mitsui-Montedison et Shell (d'autres suivirent, comme Mitsubishi Petrochemical et Sumitomo) : il n'y a plus d'extraction du PP atactique.

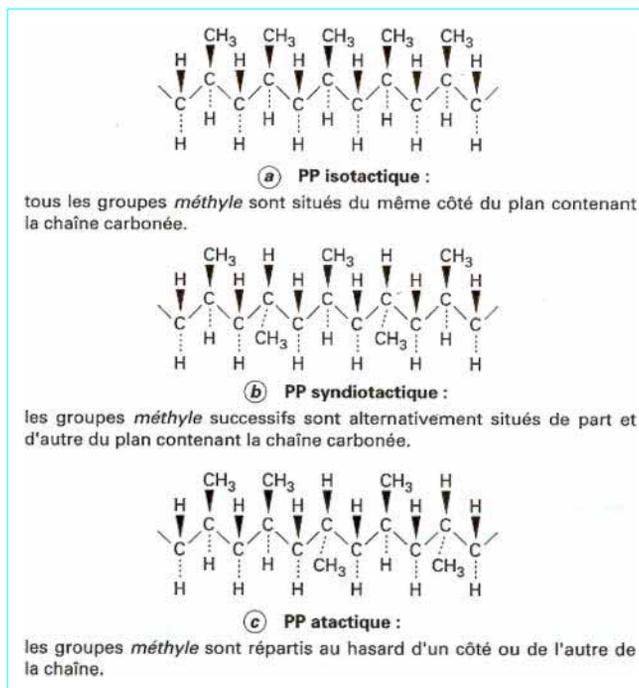


Figure 1 – Représentation schématique des trois configurations macromoléculaires du polypropylène

2. Principe des procédés

2.1 Différents types de polymérisation

Les principaux procédés sont :

- la **polymérisation en solution dans un hydrocarbure inerte** (hexane, heptane ou plus lourd), à des niveaux de température et de pression suffisants pour que le polymère reste en solution. Ce procédé utilisé au début est pratiquement abandonné aujourd'hui car compliqué et coûteux ;
- la **polymérisation en suspension dans un solvant**, semblable au précédent, mais fonctionnant à pression et température plus basses, de telle sorte que le polymère produit reste insoluble. Ce procédé est encore assez répandu aujourd'hui ;
- la **polymérisation en suspension dans le propylène liquide**, qui est une variation du procédé précédent, dans laquelle, le propylène liquide est utilisé comme diluant ;
- la **polymérisation en phase gazeuse** dans des réacteurs agités mécaniquement ou bien en lit fluidisé ;
- enfin des procédés combinant un ou des réacteurs contenant du propylène liquide, puis un ou des réacteurs en phase gazeuse ; ce sont les plus répandus maintenant ; ils permettent de produire toutes les familles de polypropylènes.

2.2 Catalyseurs

Actuellement, seuls les **catalyseurs de Ziegler-Natta** sont utilisés industriellement. Cependant, des recherches concernant les catalyseurs *métallocènes* devraient bientôt déboucher.

Le polypropylène produit est majoritairement sous forme **isotactique**.

Comme on l'a déjà évoqué dans l'historique, les performances des catalyseurs et des systèmes catalytiques ont fortement évolué depuis leur découverte. On n'utilise plus aujourd'hui de catalyseur de 1^{re} génération. Les procédés de fabrication se sont ainsi régulièrement simplifiés.

Les catalyseurs actuels contiennent tous un **chlorure de titane**. Ce sont des composés solides.

Ceux de la **2^e génération** sont constitués de $TiCl_3$ utilisé comme cocatalyseur du chlorure de diéthylaluminium (DEAC). La tacticité du PP produit est élevée (95 à 98 %), mais la productivité catalytique reste faible (4 000 à 10 000 g_{PP}/g_{cata}) demandant une étape d'extraction des résidus catalytiques.

Ceux de la **3^e génération** comprennent du $TiCl_4$ supporté sur du chlorure de magnésium associé à un ester aromatique. Ils sont utilisés avec du triéthylaluminium (TEA) comme cocatalyseur et un silane améliorant la stéréospécificité. On obtient une productivité allant de 5 000 à 15 000 g_{PP}/g_{cata} et une stéréospécificité de 92 % de PP isotactique. La morphologie du polymère est irrégulière et la granulométrie très étalée (présence à la fois de fines et de grosses particules).

Les catalyseurs de la **4^e génération** se composent des mêmes constituants que ceux de la 3^e, mais la poudre de polymère est de morphologie (forme sphérique principalement) et de granulométrie contrôlées, facilitant son écoulement et son utilisation en réacteur en lit fluidisé. Les productivités catalytiques sont très élevées : de 20 000 à 50 000 g_{PP}/g_{cata} . Le taux de PP isotactique atteint 97 à 98 %. Ces catalyseurs fonctionnent également avec du triéthylaluminium (TEA) et un silane.

Ces catalyseurs, de plus en plus productifs, sont caractérisés par :

- une grande sensibilité aux impuretés polaires (eau, alcools, composés soufrés ou carbonylés) qui agissent comme de véritables poisons ;
- la faculté d'imposer leur propre morphologie aux particules de polymère qui en dérivent ;
- leur sensibilité (activation) à l'hydrogène utilisé comme agent limiteur de chaîne (*télogène*), permettant ainsi le contrôle de la masse moléculaire.

■ Les **principaux producteurs de catalyseurs** pour la production de polypropylène sont :

- Himont (*) (Montedison), devenu Montell en 1995 en association avec Shell, la vente étant assurée par Technipol (100 % Montedison) ;
- Mitsui (associé à Himont) ;
- Shell Chemical associé avec la société américaine UCC ;
- Mitsubishi Petrochemical ;
- Exxon Chemical ;
- Amoco/Chisso ;
- Solvay ;
- BASF ;
- Sumitomo ;
- Toho Titanium (le seul à ne pas produire de PP).

(*) Himont était issu de la fusion des activités PP de Herculès et Montedison et appartenait à 100 % à Montedison.

2.3 Matières premières et produits auxiliaires

■ Le **propylène**, l'**éthylène** en copolymérisation et le **butène** en terpolymérisation doivent être exempts d'impuretés, poisons des catalyseurs.

On notera les teneurs limites suivantes, exprimées en **ppm** : partie par million, soit 10^{-6} en masse :

— acétylène et alcynes.....	15
— oxygène.....	2
— CO.....	0,5
— CO ₂	5

— H ₂ O.....	2
— soufre.....	1
— alcool.....	5 à 20

Le propylène peut contenir des teneurs non négligeables de propane (5 à 10 %).

■ Les **solvants** éventuels engagés en polymérisation (hexane, heptane...) et l'**hydrogène** utilisé pour contrôler la longueur des chaînes moléculaires, doivent également avoir des puretés comparables à celles des autres matières premières. La purification consiste en une **absorption** sur tamis moléculaires (H₂O, alcool, CO₂) et sur lit d'alumine activée traitée avec des oxydes métalliques (PbO, par exemple) pour piéger les composés soufrés.

2.4 Conditions de polymérisation

Les comonomères, l'hydrogène et les constituants du système catalytique alimentent **en continu** un réacteur.

Les réactions de polymérisation sont **exothermiques**, avec des enthalpies de l'ordre de :

- 104,2 kJ/mol pour le propylène en phase gazeuse,
- 89,2 kJ/mol pour le propylène en phase liquide,
- 108,3 kJ/mol pour l'éthylène en phase gazeuse,
- 104,4 kJ/mol pour l'éthylène en phase liquide.

On rencontre :

- les procédés d'**homopolymérisation** (fabrication d'homopolymères ou de copolymères *statistiques* à très faible taux d'éthylène) qui se déroulent dans un ou deux réacteurs en série de même type ;
- les procédés de **copolymérisation séquentielle** comprenant une étape d'homopolymérisation alimentant une section de *séquençage* en réacteur en phase gazeuse.

3. Description des procédés

3.1 Polymérisation en suspension

Le procédé, représenté sur la figure 2, a été développé avec les catalyseurs de 1^{re}, 2^e puis 3^e générations.

La polymérisation a lieu en **suspension dans un hydrocarbure liquide** (généralement l'**hexane**) permettant l'extraction du PP atactique et des résidus catalytiques. Le polymère produit dans le réacteur est insoluble dans l'hydrocarbure, formant ainsi une suspension. Le solvant est séparé par centrifugation. Un séchage, réalisé généralement sur lit fluidisé, permet d'éliminer les dernières traces de solvant restant dans la poudre de polymère.

Le solvant est retraité par distillation pour le débarrasser du PP atactique avant son recyclage dans l'installation.

3.2 Polymérisation en masse (en suspension dans le propylène liquide)

C'est une variation du procédé précédent dans laquelle le propylène liquide est utilisé comme diluant. Son principal avantage est l'absence d'une purification ou d'une séparation des hydrocarbures. Il n'est utilisé que pour produire de l'homopolymère, du copolymère statistique ou du terpolymère (éthylène + butène comonomères, par exemple).

On rencontre deux grandes familles de procédés, selon le type de réacteur utilisé.

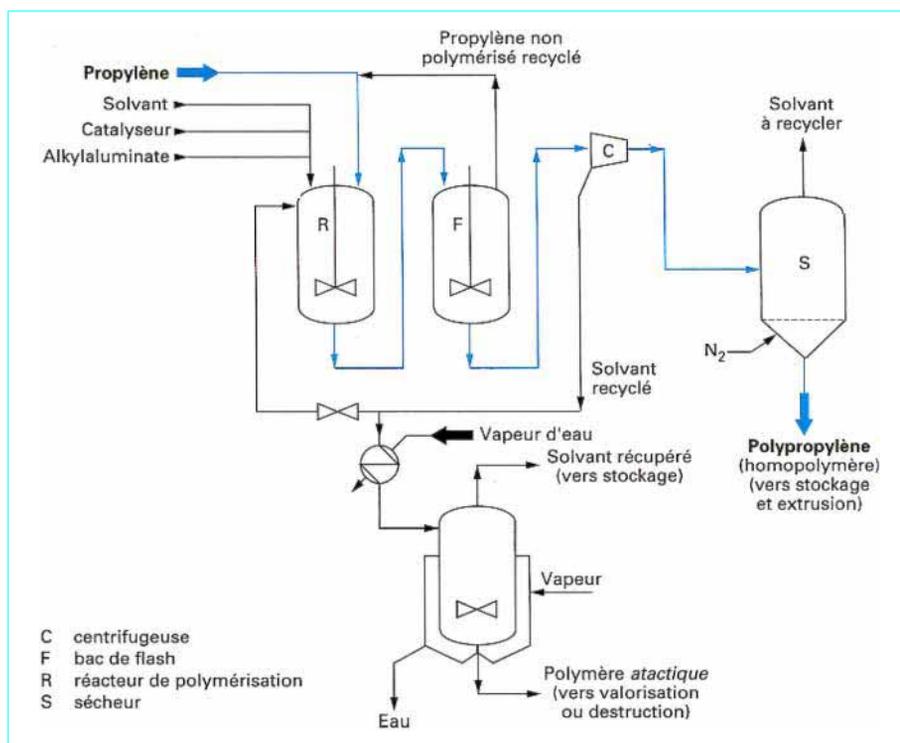


Figure 2 – Procédé de polymérisation en suspension dans un hydrocarbure conduisant à l'homopolymère

3.2.1 Réacteur agité bouillonnant

La chaleur de la réaction est évacuée en grande partie par vaporisation du propylène que l'on condense et fait refluer dans le réacteur. La pression du réacteur va de 2,5 à 3,5 MPa, ce qui correspond à des températures de 65 à 75 °C.

Ce procédé peut être exploité dans des unités de très grande capacité (200 kt/an et plus). Il est utilisé par Mitsui, Shell et Dart/El Paso devenu Rexene en 1988.

Un schéma type est présenté sur la figure 3.

3.2.2 Réacteur torique en boucle

Ce type de réacteur est utilisé dans le procédé *SPHERIPOL* de Himont (devenu Technipol en 1995).

La chaleur de réaction est évacuée par une circulation d'eau réfrigérée (+ 15 °C) dans la double enveloppe du réacteur. Une pompe de recirculation permet de rendre homogène la suspension de PP dans le propylène.

Conditions de réaction : 60 à 80 °C, 3,5 à 4 MPa.

Dans les deux cas, la suspension est détendue à 1,5 - 2 MPa dans une tuyauterie réchauffée à la vapeur pour vaporiser tout le propylène que l'on sépare du polymère pour le condenser et le recycler en réaction. La poudre de polymère est ensuite soit envoyée dans la section de copolymérisation fonctionnant au même niveau de pression que le circuit amont, soit amenée à basse pression pour être traitée à la vapeur d'eau, puis séchée, et enfin extrudée après incorporation d'additifs.

Un schéma type du procédé est donné sur la figure 4.

3.3 Polymérisation en phase gazeuse

On utilise des réacteurs **en lit agité** ou **en lit fluidisé**. Ces types de réacteurs peuvent produire de l'homopolymère, des copolymères statistiques ou des terpolymères et enfin, avec deux étapes de réaction en série, des copolymères séquencés.

3.3.1 Réacteurs en lit agité

■ Lit agité mécaniquement avec courant ascendant de gaz monomères

Il s'agit du procédé *NOVOLEN* développé au début des années 70 par BASF (figure 5).

Deux réacteurs en série permettent de produire du copolymère séquencé. Ces réacteurs cylindriques verticaux (25 ou 50 m³) ont une agitation mécanique assurée par une vis remontant la poudre. Dans le premier réacteur, la chaleur de réaction est évacuée par vaporisation de propylène que l'on recondense, puis que l'on recycle à l'aide d'une pompe, tandis que, dans le deuxième réacteur, un compresseur assure la recirculation gazeuse refroidie dans un échangeur.

■ Lit agité mécaniquement horizontal, procédé d'Amoco

Ce type de réacteur, utilisé au départ pour produire l'homopolymère, évolue également vers la production de copolymère séquencé avec deux réacteurs en série (figure 6).

La chaleur de la réaction est évacuée par vaporisation de monomères (propylène, propane) injectés en pulvérisation dans chaque réacteur.

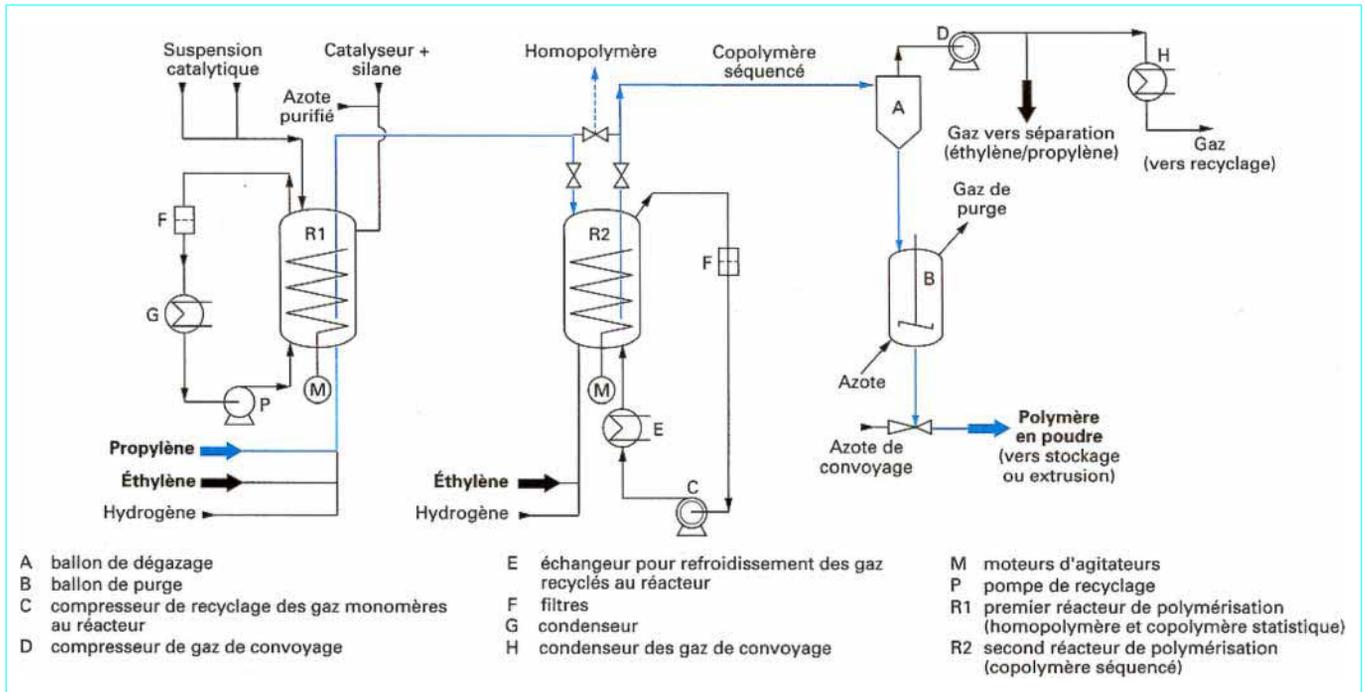


Figure 5 - Procédé de BASF en réacteurs à lit agité mécaniquement avec courant ascendant de monomère gazeux, conduisant à l'homopolymère et au copolymère séquencé

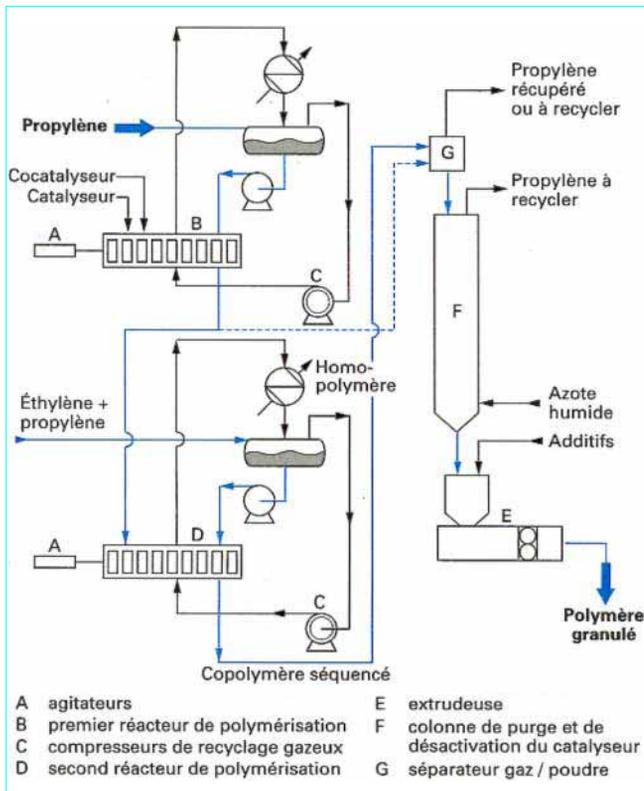


Figure 6 - Procédé d'Amoco en réacteurs à lit agité horizontal, conduisant à l'homopolymère et au copolymère séquencé

3.3.2 Réacteurs en lit fluidisé

Ce procédé présenté sur la figure 7 a été développé au départ par Union Carbide en association avec Shell qui fournissait le catalyseur. Il est vendu sous le nom de procédé UNIPOL.

La chaleur de réaction est évacuée par le courant du gaz de fluidisation constitué des monomères, de propane, voire d'un peu d'azote. Un échangeur permet en effet de refroidir le gaz de fluidisation en recirculation.

Lorsque l'on produit des copolymères séquencés, on a recours à deux réacteurs en lit fluidisé en série.

3.4 Polymérisation hybride en masse (propylène liquide) et en phase gazeuse

Himont et Mitsui ont développé des procédés hybrides très performants. L'homopolymère est obtenu en suspension dans du propylène liquide, puis le copolymère est fabriqué dans le réacteur en phase gazeuse en lit fluidisé.

3.5 Récapitulatif

Les conditions opératoires comparées des différents procédés d'homopolymérisation sont rassemblées dans le tableau 1.

Tous les procédés décrits ci-après fonctionnent en continu et sont actuellement en service.

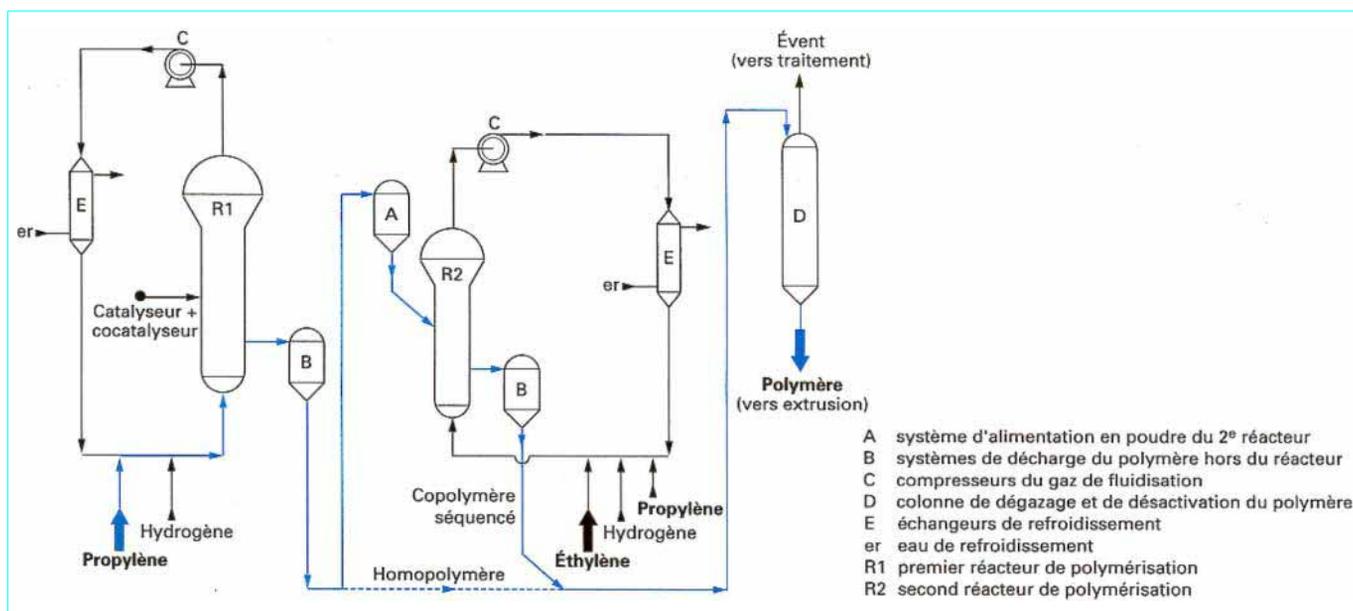


Figure 7 – Procédé en réacteurs à lit fluidisé, conduisant à l'homopolymère et au copolymère séquencé

Tableau 1 – Caractéristiques comparées des différents procédés d'obtention du polypropylène homopolymère

Polymérisation	en suspension dans un hydrocarbure (<i>n</i> -hexane)	suspension dans le propylène liquide			en phase gazeuse		
	réacteur agité	réacteur bouillonnant	réacteur torique	réacteur en lit fluidisé	réacteur agité cylindrique vertical	réacteur agité cylindrique horizontal	
Type de réacteur	réacteur agité	réacteur bouillonnant	réacteur torique	réacteur en lit fluidisé	réacteur agité cylindrique vertical	réacteur agité cylindrique horizontal	
Firme ayant développé et utilisant encore le procédé	Shell, DSM, Sumitomo, Mitsubishi P et Solvay	Mitsui, Shell, Dart/El Paso (Rexene)	Montedison, Himont	Union Carbide, Sumitomo	BASF	Amoco	
Réaction	Température.....(°C)	70 à 80	65 à 75	60 à 80	60 à 80	50 à 105	60 à 80
	Pression..... (MPa)	1,7	2,5 à 3,5	3,5 à 4	2,5 à 3,5	2,5 à 4	1,9 à 2,3
	Temps de séjour moyen.....(h)	1	1,5 à 2	1,5 à 2	1,5 à 2	1,5 à 2	1,5 à 2
	Teneur en polymère ..(% masse)	30	50 à 60	50 à 60	-	-	-
Volume du réacteur (1).....(m ³)	2 × 80	150	2 × 40	450	2 × 50	2 × 50	

(1) Pour une capacité de production de 150 kt/an, sauf pour le procédé en suspension dans un hydrocarbure où la capacité est de 80 kt/an.

4. Traitements complémentaires du polymère

4.1 Traitements de désactivation - désodorisation

Ces traitements ont pour but à la fois l'élimination des monomères résiduels, la destruction du système catalytique et l'élimination des traces de composés générateurs d'odeurs (oligomères, alcools provenant de l'hydrolyse de certains constituants du système catalytique...).

Ils consistent généralement à réchauffer la poudre de polymère et à la mettre en contact avec un courant d'azote chaud et humide ou de vapeur d'eau.

4.2 Granulation et traitement des granulés

La granulation est une étape pratiquement indispensable de mise en forme du polymère, bien que l'on rencontre une petite partie de la production vendue directement sous forme pulvérulente.

La granulation est précédée par une étape de **fusion - malaxage en extrudeuse**, avec incorporation d'additifs (antioxydants, agents antistatiques, agents neutralisants...). Les granulés sont formés par des couteaux affleurant une filière immergée dans un courant d'eau à débit et température contrôlés. L'eau assure le refroidissement brutal des granulés et évite leur collage. La séparation avec l'eau se fait par **centrifugation** puis **séchage**.

Les granulés sont ensuite stockés dans des silos avant conditionnement final (vrac ou ensachage).

5. Données économiques relatives aux procédés

5.1 Consommations de matières premières et d'utilités

Elles figurent dans le tableau 2.

5.2 Investissement en limites d'unité

Il peut être estimé en 1994, pour une unité de 200 kt/an produisant de l'homopolymère selon le procédé en masse en réacteur torique, à 650-700 millions de francs et, si l'on dispose d'une section de copolymérisation séquencée en réacteur fluidisé, à 750-800 millions de francs.

5.3 Production mondiale

Les évolutions des consommations dans le monde et en Europe figurent dans le tableau 3.

Le **taux de croissance mondiale** reste **élevé** (8 à 10 % par an).

Les **principaux producteurs européens** sont Appryl (filiale Elf Atochem/BP), BASF, Borealis (filiale Nestlé - Stat Oil), DSM, Hoechst, Montell (Himont + Shell), Petrochimie Danubia, Petrofina, Solvay.

Tableau 2 – Consommation de matières premières et d'utilités, par tonne de polymère produite par les différents procédés (avec catalyseurs supportés)

Type de polymérisation		en lit fluidisé Procédé UNIPOL (1)	dans le propylène liquide Procédé SPHERIPOL (2)	en phase gazeuse en lit agité (3)	dans le propylène bouillonnant (4)
Homopolymères	Propylène..... (t)	1,020	1,010	1,015	1,015
	Électricité (kWh)	160	120	350	350 à 360
	Vapeur..... (kg)	.....	300	250	650
	Azote (5)..... (m ³)	.....	.....	50	55
Copolymère séquencé à 15 % d'éthylène	Propylène..... (t)	0,870	0,860	0,870	
	Éthylène (t)	0,150	0,150	0,150	
	Électricité (kWh)	160	150	440 à 490	
	Vapeur..... (kg)	.....	300	250	

(1) Source Union Carbide.

(2) Source Himont (sans extrusion ni distillation du propylène).

(3) Source BASF (avec extrusion et sans distillation du propylène).

(4) Source Appryl (avec distillation et extrusion).

(5) Volume de gaz mesuré dans les conditions *normales* de pression et de température ($1,013 \times 10^5$ Pa et 0°C).

Tableau 3 – Évolution des consommations de polypropylène dans le monde (en kt/an)

Pays	Année		
	1981	1991	1994
Amérique du Nord	1 635	3 435 (1)	4 560 (1)
Japon.....	937	1 951 (1)	2 027 (1)
Europe de l'Ouest.....	1 374	3 920 (1)	5 100 (1)
Autres pays (2).....	≈ 1 050	≈ 3 900	≈ 5 300
Total mondial	≈ 5 000	≈ 13 200 (1)	≈ 17 000 (1)

(1) Sources Appryl.

(2) Principalement en Asie hors Japon.

Tableau 4 – Propriétés générales du polypropylène

Masse volumique.....	(g/cm ³)	0,900 à 0,905
Indice de fluidité (1)	(g/10 min)	0,2 à 100
Température de fusion	(°C)	140 à 150
Température de cristallisation	(°C)	100 à 120
Température de ramollissement		
Vicat sous 5 kg	(°C)	65 à 90
Résistance en traction à 23 °C	(MPa)	30 à 35
Température de fragilité (2)	(°C)	- 50 à + 20
Module de rigidité en flexion.....	(MPa)	500 à 2 000

(1) Masse de polymère s'écoulant d'une filière à 230 °C sous une charge de 2,16 kg, qui permet de caractériser la masse moléculaire moyenne du polymère (qui varie en sens inverse).

(2) Transition vitreuse.

6. Fiche produit

6.1 Présentation des polymères

Les différents polymères sont livrés aux Transformateurs :

- couramment, sous forme de granulés de diamètre moyen : 3 mm et de longueur : 2,5 mm ;
- plus rarement, sous forme de poudre de granulométrie resserrée (absence de fines et de grosses particules) de diamètre moyen : 600 à 700 µm ou 2 000 µm.

6.2 Prix de vente

Les prix moyens, en F/kg, pour 1994, sont les suivants :

homopolymère.....	3,9
copolymère statistique.....	4,3
copolymère séquencé	5,0

■ Répartition de la consommation européenne (en 1990) :

homopolymère.....	70 %
copolymère statistique.....	5 %
copolymère séquencé	25 %

6.3 Propriétés des principaux polypropylènes

■ Homopolymères

Ils sont principalement caractérisés par leur rigidité élevée. Cette propriété est généralement mesurée par le module de rigidité en flexion (tableau 4).

■ Copolymères statistiques

Ils sont obtenus habituellement par copolymérisation de propylène et d'éthylène en faible proportion. Il en résulte, pour le matériau, une plus grande souplesse, une meilleure transparence et une température de fusion moins élevée (figure 8). Ils sont principalement utilisés pour produire des films.

■ Copolymères séquencés ou blocs

Le comonomère est généralement de l'éthylène. On obtient des alliages de résines (homopolymères et caoutchouc EP) qui sont alors moins rigides et moins transparents que les homopolymères, mais offrent une résistance au choc à froid (< 0 °C) fortement améliorée. Celle-ci augmente avec la teneur en éthylène. Cette propriété est particulièrement recherchée en construction automobile (pare-chocs...).

Température de fusion (°C)

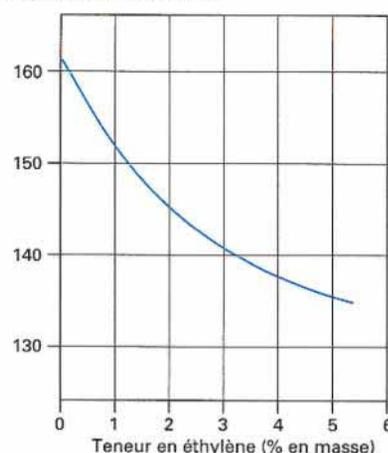


Figure 8 – Influence de la teneur en éthylène comonomère sur la température de fusion des copolymères statistiques ainsi obtenus

■ Structure des polypropylènes

Elle est caractérisée par :

- le taux de cristallinité : il dépend des conditions de polymérisation, des systèmes catalytiques, des traitements thermiques et mécaniques ainsi que de la présence éventuelle d'agents nucléants incorporés en extrusion ; on le mesure par diffraction des rayons X ou par analyse thermique différentielle : valeurs habituelles : 50 à 60 % ;
- la répartition des masses moléculaires : elle est liée au système catalytique et/ou aux conditions de polymérisation ; on la caractérise par le rapport de la masse molaire *en poids* (M_w) à la masse molaire *en nombre* (M_n), de l'ordre de 4 à 12.

6.4 Principales utilisations

Elles sont indiquées, tous polypropylènes confondus, dans le tableau 5 où ont été précisées les principales **méthodes de mise en œuvre** permettant de passer des granulés (ou de la poudre) à l'objet fini.

**Tableau 5 – Principales applications
du polypropylène en Europe de l'Ouest**

Type d'application	Procédé de transformation	Répartition en tonnage (%)
Textile (fibres)	Extrusion fibres	25
Mobilier (de jardin) + articles ménagers + articles électriques	Injection	23
Emballage rigide	Injection, extrusion, soufflage	18
Emballage souple (films)	Extrusion feuilles + bi étirage	17
Construction automobile (pare-chocs, batteries, planches de bord, habillage intérieur...)	Injection	11
Textiles non tissés (multifilaments)	Extrusion	6
Source : Appryl.		

Références bibliographiques

- [1] MIKIELSKI (R.) (Solvay et Cie). – *Polypropylène : synthèse des connaissances actuelles*. Informations Chimie n° 266, nov. 1985.
- [2] GALLI (P.) et ALI (S.) (Himont Inc.). – *The Spheripol Process : a versatile technology for advanced polypropylene property materials*. Meeting annuel de l'American Institute of Chemical Engineers, nov. 1987.
- [3] *Polypropylène : l'euphorie jusqu'à quand ?*. Informations Chimie n° 295 spécial, juin 1988.
- [4] KROTKINE (G.) (Sté Française Hoechst). – *Polypropylène : évolution et perspectives*. Caoutchouc et Plastiques n° 681, oct. 1988.
- [5] *Polypropylène : toujours champion de la croissance*. Informations Chimie n° 320, août/sept. 1990.
- [6] *Digest of polymer developments*. Spring Born Laboratories (rapports trimestriels).
- [7] *Fine tuning polypropylene*. Chemtech, juil. 1993.
- [8] *Gas phase stirred bed reactor process*. Document BASF, sept. 1991.
- [9] FÜZESEY (S.). – *Polypropylènes. PP*, A 3 320, Techniques de l'Ingénieur, fév. 1991.
- [10] *Polypropylène : croissance soutenue sur tous les marchés*. Informations Chimie n° 341, sept. 1992.
- [11] Commission d'étude de compatibilité de l'association Shell – Journal Officiel des Communautés Européennes Montecatini, 08 juin 1993.