

Quelques considérations sur l'industrie des polymères

Développements et problèmes contemporains

Jean L. Leblanc* professeur

"Les frontières entre la recherche de base, la recherche et développement, et les applications sont devenues à ce point floues qu'il faut maintenant parler de continuum allant de la recherche de base scientifique à la recherche technologique appliquée".

Jacques Delors, 1990

En 1922, Hermann Staudinger mettait définitivement fin à une controverse de plusieurs décennies sur la nature physico-chimique de substances, à l'époque, nouvellement synthétisées. Il s'agissait de molécules tellement grosses que les chimistes d'alors n'avaient su les ranger dans les catégories existantes. Par une série d'expériences décisives, Staudinger démontra la nature de ces espèces chimiques : les macromolécules et reçut plus tard, pour cela, le prix Nobel.

A l'époque, l'idée que des molécules géantes puissent exister paraissait révolutionnaire et bien peu de gens prévoyaient l'essor formidable de la chimie macromoléculaire et son évolution vers ce que l'on appelle aujourd'hui la science des polymères.

Des segments majeurs de l'activité industrielle, tels que l'automobile, l'électroménager, l'ameublement, la construction et les transports ont bâti leur croissance et maintenu leur rentabilité sur la fiabilité et les avantages techniques, économique, voire esthétiques que les polymères procurent à leurs produits.

En quelques décennies, tellement de matériaux macromoléculaires sont passés du stade du laboratoire à l'application industrielle (figure 1) que notre style de vie, lui-même, s'en est trouvé profondément modifié. La possibilité de synthétiser de nouvelles macromolécules, les propriétés singulières que ces dernières exhibent et le développement corollaire de matériaux tout à fait différents de ceux que la nature nous offre ont amené

des stratégies nouvelles qui s'inscrivent parfaitement dans une réflexion de Jacques Delors, que je reprends en exergue de cet exposé.

C'est au travers de la description succincte de quelques développements et problèmes contemporains que je vais tenter de déchiffrer ces stratégies nouvelles dans le domaine des polymères.

Je n'en ferai pas l'essentiel de mon propos, mais il est clair que l'activité du secteur des polymères s'inscrit dans le contexte de crise économique que nous vivons.

Deux graphiques, parmi d'autres, permettent de résumer de façon synthétique cette situation (figure 2).

Dans la partie inférieure gauche, nous voyons les évolutions comparées des capacités installées et de la production du polyéthylène (PE), en Europe de l'Ouest. Pour un matériau d'usage courant comme le PE, la production s'aligne bien entendu sur la consommation, mais compte tenu de la taille des investissements, l'installation de nouvelles unités doit toujours précéder la demande du marché. Comme on peut le voir, il y a, en général, un délai d'environ six ans entre les tonnages relevés pour la capacité et la production. La croissance observée sur les capa-

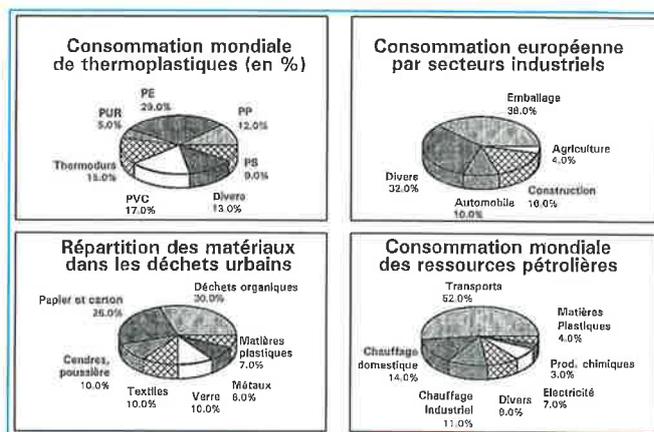


Figure 1 - Situation des matières plastiques en 1992.

* Université P. et M. Curie, Laboratoire de chimie macromoléculaire, tour 44, 44-54, 4, place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05. Tél. : (1) 44.27.55.40. Fax : (1) 44.27.70.89.

Publié avec l'autorisation de *Chimie Nouvelle*, 1993, 11, 44, 1294.

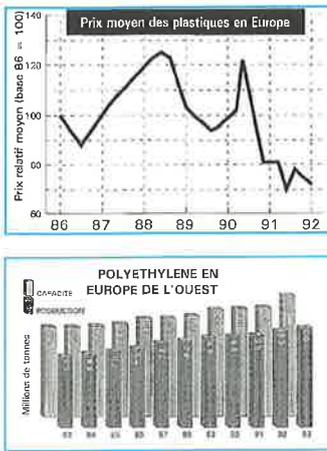


Figure 2 - Difficultés actuelles de l'industrie des matières plastiques.

cités reflète donc, d'un part, l'exercice de la libre concurrence entre producteurs, et, d'autre part, la capacité d'anticipation des opérateurs. Lorsque les capacités sont supérieures à la production, il y a compétition sur les prix, ce dont profite bien entendu le consommateur, c'est-à-dire vous et moi, dans le cas d'un produit d'usage général comme le polyéthylène. On ferait une démonstration semblable avec pratiquement tous les autres matériaux polymères d'usage courant.

Dans la partie supérieure droite, nous voyons que le prix moyen des plastiques en Europe ne cesse de s'éroder.

Ces deux graphiques résument - de façon simplissime, j'en conviens - les difficultés actuelles de l'industrie de matières plastiques.

La situation économiques des polymères, bien qu'aussi déprimée que les autres activités industrielles, présente cependant un certain nombre de paradoxes.

Ainsi, en 1992, on estime la consommation mondiale des principaux thermoplastiques à 110 millions de tonnes, partagées entre quelques polymères. La consommation européenne, environ 24 millions de tonnes, est dominée par l'emballage, la construction et l'automobile. Les matières plastiques ont, par ailleurs, tellement pénétré notre vie quotidienne qu'une myriade d'applications diverses en consomme quelques 32 %.

L'emploi des matières plastiques dans l'emballage pose, par ailleurs, des problèmes de société, sur lesquels nous reviendrons en fin de cet exposé, mais je crois utile de souligner qu'elles n'interviennent que pour 7 % dans les déchets urbains. Enfin, n'est-il pas remarquable de constater que seulement 4 % des ressources pétrolières sont consacrés à la fabrication des polymères ? Il s'agit sûrement là, avec la synthèse de produits chimiques, pharmaceutiques et autres, des utilisations les plus intelligentes d'une ressource fossile, donc nécessairement épuisable sur le long terme.

On sait l'opprobre jetée sur les matières plastiques par certains milieux écologistes, mais il est curieux de constater que certains cabinets de consultants bien documentés prédisent que le marché européen des emballages devrait progresser de 9 à 12,9 millions de tonnes sur la période 1990-96. Comme on ne peut guère suspecter les utilisateurs et les consommateurs de perversité anti-écologique, force est de constater que les matières plastiques possèdent des qualités et des avantages qui les rendent incontournables dans de nombreuses applications.

C'est ce que je vais essayer d'illustrer, en concentrant mon propos sur les applications techniques des polymères.

Question : Pourquoi utiliser les matières synthétiques ?

La réponse est, bien entendu, complexe, quoiqu'elle puisse prendre parfois des allures de lapalissade. Que les plastiques soient plus légers, insensibles à la corrosion, faciles à mettre en œuvre, etc. sont des arguments bien connus.

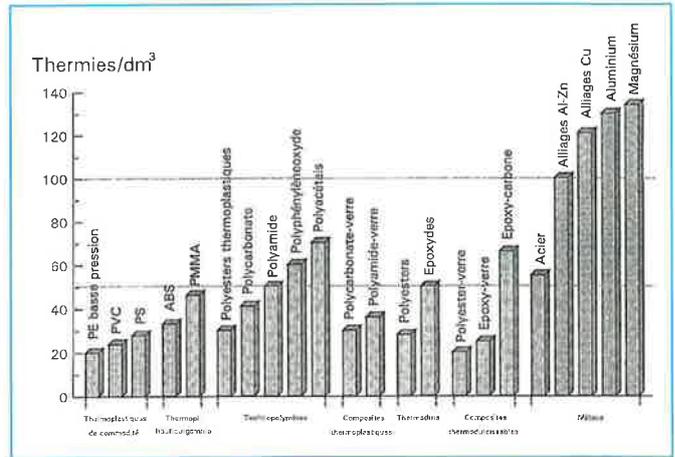


Figure 3 - Contenus énergétiques de divers matériaux..

Il en est cependant un sur lequel il convient d'insister, car il situe les matériaux synthétiques dans une optique de conservation des ressources de la planète.

Comme le montre la figure 3, les polymères permettent d'importantes économies d'énergie, notamment parce qu'ils ont un contenu énergétique nettement plus faible que d'autres matériaux traditionnels.

Le contenu énergétique, exprimé en thermies (c'est-à-dire 1 million de calories) par dm³, représente l'énergie de fabrication et de mise en forme.

A volume égal, le contenu énergétique du polyéthylène, du PVC ou du polystyrène est deux à trois fois moindre que celui d'un acier ordinaire, qui, par ailleurs, devra être traité et peint pour ralentir son altération par la corrosion.

L'argument peut sembler primaire, mais il est certain que les polymères ont - et auront - une importance d'autant plus grande qu'ils ont la bonne fortune de participer à la résolution de tous les principaux problèmes de cette fin de siècle, production et maîtrise de l'énergie, économies de celle-ci, de matières premières et de devises, communications et transport, santé, informatique, etc.

Les polymères, matières plastiques et caoutchoucs, s'imposent dans nombre de domaines essentiellement pour leurs qualités techniques.

Je me propose de vous illustrer cette affirmation dans le cas de l'automobile.

La figure 4 montre la quantité de matières plastiques utilisées dans la fabrication de quelques modèles d'automobile depuis 1960.

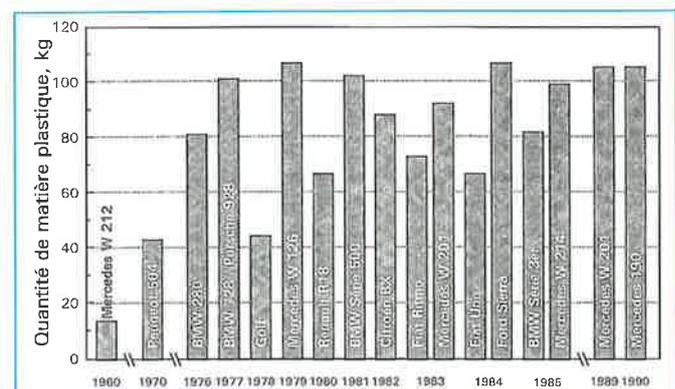


Figure 4 - Utilisation des plastiques dans l'automobile (sources : *Plastverarbeiter* (1986), *Kunststoffe* (1990).

Comme on peut le voir, elle a plus que quintuplé en trente ans, pour atteindre plus de 100 kg pour des modèles de la gamme moyenne. Pour les modèles plus économiques, on atteint même 160 kg. Outre les plastiques, il faut bien entendu ajouter les caoutchoucs, sujet sur lequel nous reviendrons.

Quel peut être le moteur de cette pénétration ?

Bien entendu, la diminution de poids associée à la diminution de la consommation de carburant, telle que requise après ce que l'on a appelé les chocs pétroliers. On voit ainsi que la majeure partie de la croissance s'est produite entre 1970 et 1976.

Mais il y a d'autres considérations à caractère essentiellement technique.

Les matières plastiques se sont définitivement imposées pour l'habillage des habitacles, pour les pièces d'optiques, phares, catadioptrés, etc., et quelques organes périphériques du moteur, tels les réservoirs à essence, les pales de ventilateurs, etc. Les applications de carrosserie restent actuellement limitées aux pare-chocs, enjoliveurs de roues et autres pièces de faibles dimensions.

L'automobile constitue ainsi les plus gros volumes consommés de plastiques techniques. Comme le montre la figure 5, l'industrie automobile européenne a consommé, en 1991, environ 671 000 tonnes de plastiques, sur un total de 3 577 000 tonnes, si l'on s'en tient aux seuls polymères qui peuvent être considérés comme techniques, encore que dans le cas des mousses de polyuréthane (PUR), il s'agisse là d'une classification un peu exagérée.

La carrosserie reste encore dominée par la tôle peinte, essentiellement pour des raisons de cadence de production, mais il n'est pas impossible que des développements actuellement prometteurs au niveau du laboratoire ne permettent l'emploi de panneaux thermodurcissables pour la fabrication des portes, capots et autres pièces de grandes dimensions.

Dans le cas des camions, par contre, la carrosserie de cabine est d'ores et déjà presque entièrement constituée d'éléments en matières plastiques, polyester chargé à la fibre de verre, ABS, etc., montés sur une armature en tôle d'acier emboutie. L'habillage intérieur est exclusivement constitué de matériaux polymères. L'ensemble représente plus de 325 kg par cabine, pour un camion de taille moyenne.

Cette pénétration des matériaux plastiques dans le secteur automobile semble donc irréversible et, malgré la crise économique, il est permis d'envisager une progression continue dans les années à venir, comme l'illustre la figure 6.

Pour des raisons technico-économiques, certains matériaux progresseront plus que d'autres. C'est le cas du polypropylène, chargé ou non, et des alliages de polycarbonate notamment.

En fait, l'utilisation des polymères dans l'automobile résulte surtout de la rencontre de critères essentiellement techniques par ces matériaux (figure 7).

Je distinguerai deux cas de figure :

- soit les polymères offrent des propriétés spécifiques et incontournables par les matériaux traditionnels ;
- soit ils présentent des propriétés plus intéressantes.

L'élasticité des caoutchoucs et les propriétés isolantes relèvent du premier cas.

La résistance à la corrosion, la facilité d'entretien, le faible poids spécifique, l'esthétique, le mode de fabrication, ainsi que divers avantages fonctionnels sont des atouts décisifs dans le second cas.

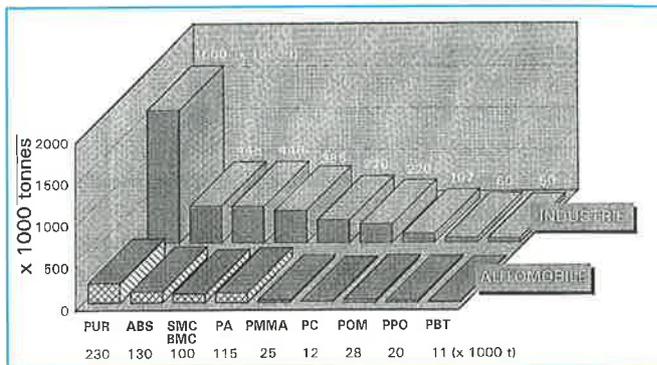


Figure 5 - Les matières plastiques dans l'automobile. Consommation européenne en 1991.

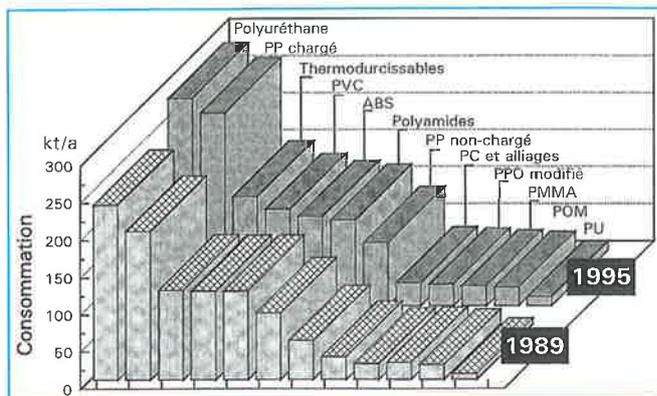


Figure 6 - Consommation de matières plastiques par l'industrie automobile européenne (source *Kunststoffe Eur.*, Juin 1990).

① Propriétés spécifiques et incontournables

- eg : pneumatiques → caoutchoucs (NR, SBR, BR, ...)
- supports moteur → caoutchouc naturel (NR)
- courroies → caoutchoucs et renforts textiles
- isolation → électrique, thermique, acoustique

② Propriétés plus intéressantes que les matériaux traditionnels

- résistance à la corrosion
- facilité d'entretien
- gain de poids → économie de carburant
- aspect de surface → style, design
- avantages fonctionnels → propriétés viscoélastiques, amortissantes
- facilité de fabrication → production de masse (thermoplastiques)

Figure 7 - Utilisation des polymères dans l'automobile. Critères d'évaluation.

Structure	T _f (°C)	Structure	T _f (°C)
$\sim\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\underset{ }{\text{CH}}}\sim$ Polypropylène (isotactique)	176	$\sim\text{CH}_2-\underset{\text{C}\equiv\text{N}}{\underset{ }{\text{CH}}}\sim$ Polyacrylonitrile	317
$\sim\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\text{CH}_2-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\text{O}\sim$ Poly(éthylène adipate)	54	$\sim\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\text{O}\sim$ Poly(éthylène terephthalate)	267
$\sim\text{CH}_2-\underset{\text{NH}}{\underset{ }{\text{C}}}-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\text{NH}\sim$ Poly(tetraméthylène terephthalamide)	400	$\sim\text{NH}-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\underset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\text{NH}\sim$ Poly(paraphénylène terephthalamide)	> 800

Figure 8 - Relation entre structure et température de fusion.

Trois exemples précis illustrent ces possibilités de la science des matériaux polymères.

La chimie macromoléculaire moderne offre la possibilité de jouer littéralement avec la structure des molécules, de manière à obtenir les propriétés désirées. La figure 8 démontre cela dans le cas de la température de fusion, par essence associée à la stabilité thermique.

Je pense que même les non-chimistes conviendront qu'il est remarquable que la simple substitution d'un groupe chimique par un autre amène d'aussi considérables modifications de la température de fusion.

La plupart des polymères sont thermodynamiquement incompatibles, en ce sens que leurs mélanges sont des systèmes hétérophasiques.

Polyamide/ABS	Résistance thermique et chimique Mise en œuvre facile
Polyamide/caoutchoucs	Résistance choc basse température
PPO/Polyamide	Résistance aux choc et à la flexion Résistance chimique et thermique Résistance températures élevées
ABS/PC	Stabilité dimensionnelle Faible absorption d'eau Résistance à la chaleur
PPO/PBT	Mise en œuvre très facile Résistance choc basse température
PET/PBT	Résistance températures élevées Excellent état de surface Stabilité dimensionnelle
Acétal/élastomère	Résistance thermique Cadences de moulage élevées
PC/PET	Faible coût, pièces très brillantes Rigidité, solidité
ABS/polysulfone	Résistance à l'usure Résistance choc basse température Résistance chimique et UV
Polyamide/PE	Mise en œuvre facile Chromage possible Résistance chimique et thermique Propriétés barrières Résistance à l'usure

Figure 9 - Alliages et mélanges de polymères élargissent les possibilités d'application.

Les dernières décennies ont connu un développement foudroyant des alliages et mélanges de polymères. La figure 9 en décrit quelques-uns en regard des avantages obtenus, parmi des centaines d'autres disponibles commercialement.

Au début, développés de façon essentiellement pragmatiques, ces divers alliages permettent d'obtenir à bon compte de nouvelles balances de propriétés.

Sur un plan fondamental, les alliages de polymères ont certainement pavé la voie vers une nouvelle science : celle des propriétés d'interface, parce qu'il semble bien que ce soit là, dans les régions interphasiques, que se trouve l'origine des propriétés intéressantes de la plupart des alliages de polymères.

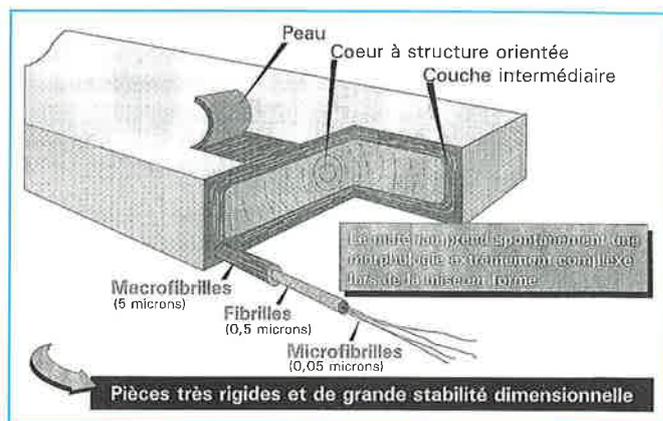


Figure 10 - Polymères à cristaux liquides : matériaux auto-structurants.

Mais le polymériste, véritable magicien des matériaux de synthèse, a plus d'une merveille dans ses éprouvettes !

Ainsi, les polymères à cristaux liquides présentent-ils l'extraordinaire propriété de s'autostructurer au cours des processus de mise en forme.

Comme l'illustre la figure 10, en s'organisant successivement en microfibrilles, fibrilles et macrofibrilles, les polymères à cristaux liquides donnent des pièces au sein desquels l'on peut distinguer un cœur à structure orientée, une couche intermédiaire et une peau. En bref, une morphologie très complexe qui confère à la pièce une rigidité et une stabilité dimensionnelle tout à fait remarquables, combinées bien entendu aux autres propriétés générales des polymères.

Un peu d'imagination permet d'entrevoir les possibilités d'application de ces nouveaux matériaux.

Les élastomères constituent une autre classe de matériaux polymères sans lesquels l'automobile moderne, telle que nous la connaissons, n'existerait pas.

Le pneumatique est une application exclusivement réservée aux caoutchoucs, mais les progrès contemporains se situent essentiellement ailleurs.

Comme l'illustre la figure 11, la plupart des problèmes techniques posés par les contraintes nouvelles sur l'automobile nécessitent de recourir aux élastomères.

Prenons un exemple parmi d'autres.

La protection de l'environnement et la législation plus sévère dans ce domaine commandent d'utiliser des essences

CONTRAINTES NOUVELLES	PROBLEMES TECHNIQUES	SOLUTIONS POSSIBLES
Durabilité des pièces	Vieillessement	Nouveaux matériaux
Environnement	Résistance chimique	- Polymères
- Protection	Essence "verte"	- Charges
- Législation	Pot catalytique	- Additifs
Economie de carburant	Étanchéité	Formulations
Sécurité et confort	Vibrations	- Améliorations
Compétitivité	Réduction du bruit	- Alliages de polymères
Saturation	Défaut zéro	- Systèmes de charges
- du trafic	Service espacé	- Additifs chimiques
- du marché	Voiture compacte	Procédés de fabrication
	Temp. moteur élevée	- Mise en œuvre
	Additifs des huiles	- Optimisation
	Emboutillage	- Automatisation
	Echauffement	Conception des pièces
	Coûts de production	- Dessin
	Robotisation	- Complexité

Figure 11 - Applications des caoutchoucs dans l'automobile. Motivations actuelles des développements (années 1990).

dites "vertes", c'est-à-dire sans additifs au plomb, mais qui contiennent des quantités plus ou moins grandes d'alcools et d'esters. Ces additifs amènent des problèmes nouveaux de

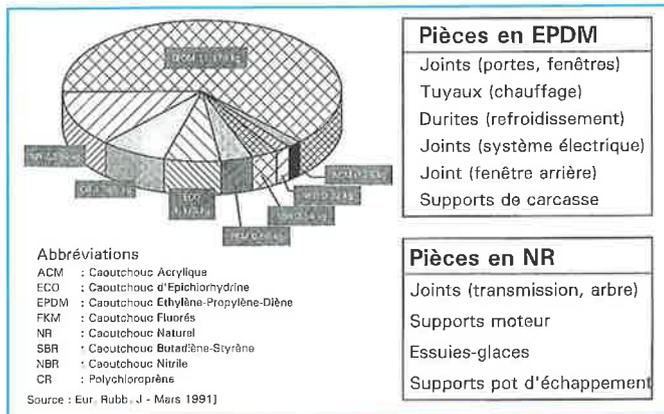


Figure 12 - Utilisation des caoutchoucs dans l'automobile. Cas de la Volkswagen Golf GL75PS (1990) (pneumatiques exclus) (source : Eur. Rubb. J-mars 1991).

résistance chimique et d'étanchéité des joints, membranes et autres tuyaux. Ces problèmes ne peuvent être résolus que par le développement de nouvelles formules de caoutchoucs, voire une conception radicalement différente des pièces concernées.

Examinons le cas de la Volkswagen Golf, dont la construction fait appel, pneumatiques exclus, à 17 kg 816 g de caoutchoucs divers (figure 12).

Le caoutchouc d'éthylène-propylène et le caoutchouc naturel dominent les applications. Le premier parce qu'il permet des solutions élégantes en terme de rapport prix/performances, le second parce qu'il offre les meilleures propriétés élastiques. En ce qui concerne les autres élastomères, ce sont leurs propriétés tout à fait spécifiques qui imposent le choix.

Ainsi présentées, ces données ne donnent aucune idée du travail considérable de recherche et développement nécessité par l'optimisation des différents matériaux pour les pièces considérées.

Je vais tenter de vous en donner une idée en étudiant le cas des tuyaux renforcés. Si d'aventure vous ouvrez le capot du moteur de votre voiture, ce qui vous frappera au premier abord est la profusion de câbles, tubes, tuyaux et autres conduits

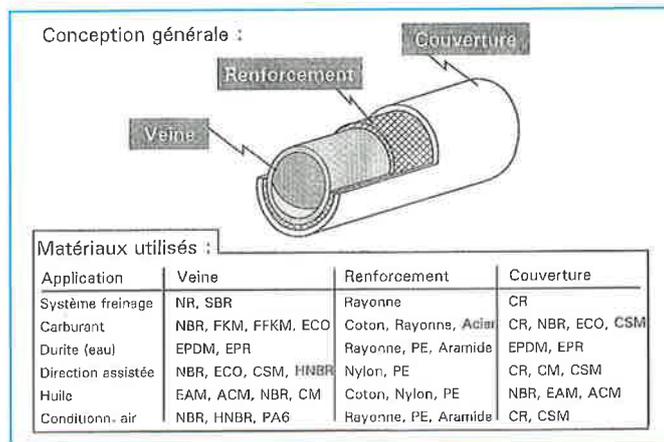


Figure 13 - Tuyaux renforcés pour l'industrie automobile.

souples. Pour chaque fluide transporté, son tuyau particulier ! Mais si les contraintes varient fortement d'un fluide à l'autre, la conception générale est toujours la même : une veine (en contact direct avec le fluide), un renforcement et une gaine de protection (vis-à-vis de l'ambiance moteur).

La figure 13 illustre les choix multiples pour plusieurs applications spécifiques. Comme il y a toujours une balance de propriétés à rencontrer, il n'y a pas de choix simple et la mise au point d'un système particulier nécessitera des travaux très complexes qui, bien souvent, aboutissent à des questions fondamentales.

Cet exemple, parmi d'autres, illustre l'extraordinaire complexité de la science des matériaux polymères, moteur essentiel du développement de notre monde moderne.

Je ne puis terminer cet exposé sans aborder brièvement l'incidence des problèmes écologiques sur l'industrie des polymères.

Nous avons vu que l'emballage concernait quelque 38 % de la consommation européenne de matières plastiques, soit environ 9 millions de tonnes de polymères dont l'essentiel se retrouve dans les déchets urbains, à concurrence de 7 % en poids.

D'aucuns y voient un problème de société et nous en connaissons tous les péripéties dans notre pays. Certes, les déchets urbains et autres posent un problème important. Mais que se passera-t-il si l'on supprimait l'emploi des matériaux polymères dans l'emballage pour les remplacer par des matériaux plus traditionnels ?

Et bien le calcul a été fait... et il aboutit à des conclusions pour le moins ubuesques, illustrées par la figure 14.

Dans l'hypothèse où l'on remplacerait les polymères dans l'emballage par leurs équivalents fonctionnels en bois, carton papier, verre et autres matériaux traditionnels, on aboutirait à une augmentation des poids manipulés de plus de 400 %, des volumes manipulés de plus de 200 %, avec en corollaire une augmentation de plus de 220 % de la facture énergétique et des coûts associés !

Comme on le voit, vouloir éliminer, voire même limiter, l'emploi des matières plastiques dans l'emballage demande à tout le moins que l'on réfléchisse sérieusement à la question.

Il reste que le traitement des déchets, de tous les déchets, pas uniquement les emballages en plastiques, est un défi majeur pour notre société.

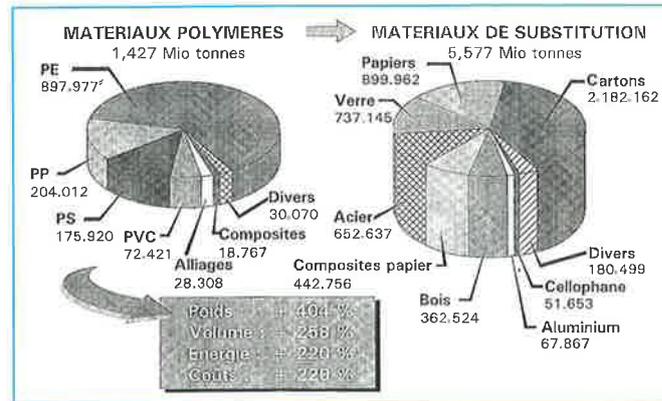


Figure 14 - L'emballage sans les matériaux synthétiques. Remplacement (hypothétique) des plastiques par des matériaux traditionnels (Europe de l'Ouest) (source : Verpacken ohne Kunststoffe, Wiesbaden, 1992).

	Matière	Capacité calorifique (MJ/kg)
Matériaux synthétiques	◊ Polypropylène	44
	* Polyéthylène	43
	* Polystyrène	40
	Polyamide	37
	* Polyéthylène téréphtalate (PET)	33
	Polyméthacrylate de méthyle	25
	Résines thermodurcissables	18 à 30
	* Polychlorure de vinyle	20
	Composites SMC, BMC	10
	Matériaux "naturels"	Gaz naturel
Pétrole		42
Charbon		29
* Bois		16
* Papier-carton		14

* : présent dans les déchets urbains

Figure 15 - Valeurs calorifiques des matériaux.

Une discussion exhaustive dépasse le cadre de cet exposé, mais je voudrais simplement apporter quelques considérations thermodynamiques qui supportent l'idée que la valorisation thermique des déchets de polymère est de loin la solution la plus raisonnable.

La comparaison des capacités calorifiques de quelques polymères parmi les plus courants, avec celles des combustibles traditionnels (figure 15) est, comme on peut le voir, tout à fait indicative de l'intérêt des déchets de plastiques dans la production d'énergie.

L'étude du cas spécifique des films thermoplastiques est encore plus explicite.

La figure 16 compare diverses solutions pour le recyclage de films de polyéthylène ou de polypropylène, en termes de considérations énergétiques.

La matière première, la polymérisation et la fabrication du film par extrusion-soufflage nécessitent quelque 70 MJ/kg, dont 45 sous forme d'enthalpie, c'est-à-dire de contenu calorifique du matériau. La fabrication du film a nécessité 5 MJ/kg et la polymérisation 20 MJ/kg.

La figure examine successivement le bilan énergétique associé à divers modes de recyclage, depuis la simple regranulation après lavage à froid pour refabriquer un film, jusqu'à des procédés chimiques plus complexes comme l'hydrogénation ou la pyrolyse contrôlée.

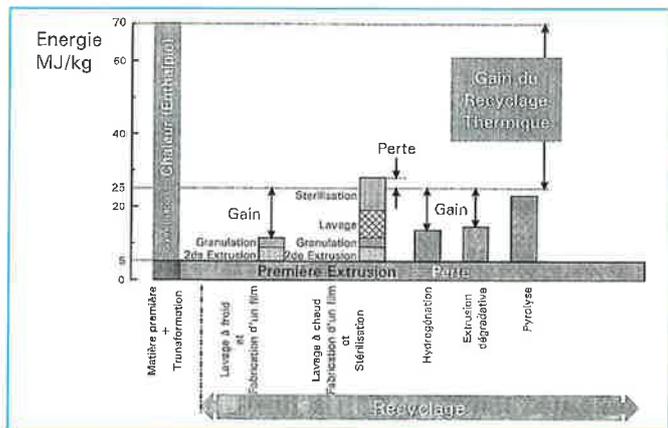


Figure 16 - Étude de cas : recyclage de film thermoplastique (PE, PP) (source : G. Menges, GAK, 2 (1993).

Développement et problèmes contemporains de l'industrie des polymères

- Situation difficile mais secteur incontournable
- Chimie macromoléculaire : hyperchoix des matériaux
- Recherche et développement : applications à haute valeur ajoutée
- Préoccupations écologiques : poser correctement les problèmes.

«Le bon sens, quoiqu'il fasse, ne peut manquer de se laisser surprendre à l'occasion. Le but de la science est de lui épargner cette surprise».

Bertrand Russell
Philosophe, prix Nobel (1950)

Dans tous les cas, on voit que les gains - quand ils existent - restent marginaux face au recyclage thermique, c'est-à-dire l'incinération avec récupération d'énergie.

Il semble donc que la thermodynamique ait des impératifs que certaines hallucinations écologiques ne sauraient circonvenir !

Au terme de cet exposé, je résumerai les quatre arguments développés (cf. encadré) :

- comme pour d'autres secteurs, l'industrie des polymères souffre d'une conjoncture difficile certes, mais ces matériaux restent incontournables dans la plupart de leurs applications ;
- cette indispensabilité des polymères est due aux progrès de la chimie macromoléculaire qui ont littéralement façonné notre fin de siècle, en permettant l'hyperchoix des matériaux ;
- la recherche dans le domaine des polymères s'oriente vers des applications, de plus en plus pointues, dont la plupart n'ont pu être évoquées au cours de cet exposé ;
- enfin, en ce qui concerne les incidences écologiques auxquelles l'industrie chimique en général, celle des polymères en particulier, sont particulièrement attentives, il convient avant tout de poser correctement les problèmes. C'est-à-dire développer une approche rigoureusement scientifique car, comme le disait Bertrand Russell : "Le bon sens, quoiqu'il fasse, ne peut manquer de se laisser surprendre à l'occasion. Le but de la science est de lui épargner cette surprise".

J'aurai la charité de penser que les détracteurs de l'industrie des polymères et des matières plastiques ont simplement oublié cette maxime pleine de sagesse.