

LES TRAITEMENTS D'IRRADIATION
SITUATION ACTUELLE DES APPLICATIONS EN EUROPE

J. LAIZIER

I. INTRODUCTION

L'établissement d'un "point de la situation" sur l'état présent des traitements d'irradiation en Europe se heurte à plusieurs difficultés :

- Les industriels ont souvent un grand souci du secret de leur procédé ; en particulier dans le domaine de l'utilisation de l'irradiation, la crainte des réactions du personnel ou des consommateurs accroît ce souci.
- Les sources d'information sont dispersées et elles manquent souvent de précision. Les estimations qualitatives sont souvent optimistes, et doivent être manipulées avec précaution, dans la mesure où, par exemple, les valeurs réelles de production ou le nombre d'heures par an d'utilisation ne sont pas connues.
- Le manque de données chiffrées sur la production, les ventes et les valeurs ajoutées, et spécialement sur des périodes de temps suffisamment longues, rend difficile la mise en évidence des tendances.
- L'hétérogénéité des contextes industriels et économiques des pays européens (Table I) qui rend plus délicate l'appréciation des raisons d'une évolution constatée dans ce domaine industriel.

Toutes ces raisons expliquent que le présent "état de la situation" ne sera ni réellement précis, ni objectif ; on s'efforcera ici, cependant, de décrire les faits qui paraissent les mieux établis et les tendances les plus significatives de la situation, d'après les informations disponibles, pour les pays européens n'appartenant pas au Comecon.

T A B L E 1

PAYS D'EUROPE

Albanie*	Luxembourg
Autriche	Pays-Bas
Belgique	Norvège
Bulgarie*	Pologne*
Tchécoslovaquie*	Portugal
Dannemark	Roumanie*
Finlande	Espagne
France	Suède
Allemagne	Suisse
Grèce	Royaume-Uni
Hongrie*	URSS*
Italie	Yougoslavie*
Irlande	

* Pays du Comecon

II. ORGANISATION DES TRAITEMENTS D'IRRADIATION EN EUROPE

En matière de traitements d'irradiation, deux types d'installations doivent être distingués :

- les installations polyvalentes, qui peuvent traiter différents types de produits. Elles appartiennent généralement à des Sociétés de traitement d'irradiation à façon, et les produits traités sont vendus par les producteurs.

- Les installations spécialisées, dans lesquelles on effectue le traitement d'un seul produit ou d'une gamme de produits relativement voisins ; ces unités sont souvent intégrées aux lignes de production.

Au cours du développement des applications et des traitements sous rayonnement dans un pays donné, la plupart des premières installations qui sont construites sont des unités polyvalentes. Ensuite, le nombre de ces dernières atteint un plateau, tandis que le nombre des unités spécialisées continue de s'accroître. Le rapport entre le nombre de chacun des types d'installation est donc un indicateur du niveau de pénétration ou de succès des traitements sous rayonnement dans un pays donné. De ce point de vue, et quoique les situations des différents pays d'Europe soient très différentes, les niveaux de développement dans ce secteur se situent de toute façon loin derrière ceux des USA ou du Japon.

III. SITUATIONS ET TENDANCES POUR LES DIFFERENTES APPLICATIONS

3.1. Stérilisation -

La stérilisation par irradiation est la technique la plus utilisée et la plus largement répandue de toutes celles des traitements sous rayonnement.

Les principaux avantages de la stérilisation sont :

- Excellente homogénéité de traitement, en raison de la forte pénétration des rayonnements,
- Elévation de température nulle ou très faible pendant le traitement,

.../...

- Facilité de choix des matériaux d'emballage,
- Possibilité de traitement continu,
- Fiabilité du procédé.

Les installations font principalement appel au cobalt-60 comme source de rayonnement, mais dans plusieurs cas on utilise également des accélérateurs d'électrons (cf Tables 2 et 3).

D'autre part plusieurs des installations sont des unités polyfonctionnelles, et sont également utilisées pour d'autres traitements que ceux de stérilisation. Ce point est important, car l'expérience a montré que plusieurs procédés nouveaux ont été adoptés par des firmes qui avaient auparavant réalisé des travaux expérimentaux, à l'échelle du laboratoire puis à échelle pilote, dans des installations polyfonctionnelles utilisées principalement pour la radiostérilisation, mais disponibles. Ces installations ont donc joué le rôle de catalyseur pour le développement d'autres applications.

Le taux de croissance de la radiostérilisation est relativement important. Ce fait est dû à deux évolutions parallèles :

- évolution des consommateurs qui abandonnent peu à peu les objets réutilisables, et donc restérilisables, au profit des objets jetables, pour lesquels la radiostérilisation peut être plus facilement utilisée.

- Abandon progressif de la stérilisation thermique ou au gaz au profit de la radiostérilisation dans le domaine des produits jetables.

L'importance du taux de croissance dépend de la situation de chaque pays en ce qui concerne ces deux évolutions. On peut l'estimer actuellement à au moins 10 ou 20% par an, selon les pays.

La capacité totale maximum des installations en Europe (sources au cobalt et accélérateurs) est d'environ 25 Mcie. La capacité installée n'est probablement pas moins du tiers de la capacité maximum, soit environ 8.000.000 cie . En ordre de grandeur, ceci correspond à la stérilisation d'environ 150.000 m³/an, soit une valeur ajoutée pour l'irradiation de 7,5 MUS \$.

.../...

T A B L E 2

IRRADIATEURS GAMMA COMMERCIAUX ET SEMI-COMMERCIAUX
POUR LA STERILISATION

PAYS LOCALISATION	FIRME OU ORGANISME	CAPACITE (Mcie)		DATE DE DEMARRAGE
		Actuelle Approximat.	Maximale	
Belgique Fleurus	IRE Mediris		~ 1.000	1977
Dannemark Roskilde	Nunc A/S		1.000	1969
France Dagneux nr Lyon Saclay	Conservatome CEA	2.700 0.200	3.000 1.000	1960 - 68 - 73 1969
Allemagne Hamburg Melsungen Rommelshausen ?	Ethicon Braun Willy Rush ?	0.06 0.225	0.750 0.600 1.500 ~ 1.000	1966 1966 1968 1978
Grèce Inofyta nr Athens	Lefkippos	0.065	0.500	1973
Italie Bologna Rome Minerbio Como	ICO Ethicon Gammarad Italia Gammatom	0.100	0.500 0.100 1.000 0.150	1967 1968 1971 1974
Pays-Bas Ede nr Utrecht Wageningen	Gammaster	0.240 0.137	1.000	1970
Norvège Kjeller nr Oslo	Inst. for Atomenergi	0.030	0.120	1970
Espagne Barcelona Madrid	Laboratorio Arago	0.025	0.330 0.5	1971 under construction
Suède Skärhamm nr Göteborg Rotebro nr Stockholm	Radona Johnson and Hohnson	0.215	1.000 1.000	1968 1971
Suisse Nenhausen	SSC Steril Catgut		0.050	1972
Royaume-Uni Slough Edinburgh Reading Sheffield Reading Shoreham Swindon	Johnson's Ethical Ethicon Gillette Swan Morton Gamma Rad Sc Eschmann Bros and Walsh IPL	0.650	0.750 0.250 0.750 0.075 1.000 0.200 2 x 1.000	1962 1963 1964 1966 1970 1971 1971 - 1973

TABLE 3

ACCELERATEURS UTILISES EN STERILISATION

PAYS LOCALISATION	FIRME OU ORGANISME	ENERGIE MeV	PUISSANCE KW	DATE DE DEPARTAGE
Danemark Risø Glostrup nr Copenhagen	Res. Est. DAEC Radest	10 10	5 10 - 15	1960 1967
France Corbeville nr Paris	Caric	7	10	1967
Allemagne Kohn Karlsruhe	Leybold	3 1 10	6 0,25 10	1957
Hambourg (Navire) Anthon Dhorn)		X rays of 0.2 MeV	30	?
Royaume-Uni Birmingham	Smith & Nephew	4	?	1963

3.2. Irradiation des aliments -

De toutes les applications des traitements sous rayonnement qui sont discutées ici, l'irradiation des aliments est peut-être celle qui a le plus petit rapport des réalisations acquises aux utilisations potentielles.

Le Tableau 4 donne une liste des applications pour lesquelles la "faisabilité" et l'intérêt du procédé sont bien établis. Dans la plupart des cas, le rayonnement gamma est préférable pour l'irradiation des aliments.

Dans plusieurs pays européens, plusieurs autorisations légales ont été délivrées pour l'irradiation d'aliments (pommes de terre, oignons etc...), et des traitements expérimentaux à l'échelle pilote ont été réalisés.

Cependant, seule l'installation d'irradiation de Wageningen produit sur une échelle commerciale des aliments irradiés, encore qu'à une très petite échelle.

Les raisons de la lenteur de cette commercialisation paraissent être les suivantes :

- problèmes économiques des coûts de traitement, principalement dûs au caractère saisonnier de l'utilisation des installations (par exemple installation du Hokkaido pour le traitement des pommes de terre au Japon).

- Défiance des autorités compétentes pour la délivrance des autorisations en ce qui concerne l'irradiation dans de nombreux pays, et en conséquence :

- difficultés d'obtention des autorisations nécessaires. Un délai de 3 à 5 ans est fréquent entre le début des démarches administratives et l'obtention de l'autorisation, ce qui décourage de nombreuses sociétés d'entreprendre tout effort dans ce domaine.

- Nombre limité d'aliments dont le traitement est autorisé, et caractère variable des autorisations accordées selon les pays, ce qui limite les possibilités d'exportation.

- Structures de production et de commercialisation des aliments, qui comprennent en général des centres nombreux et dispersés, alors qu'une installation d'irradiation n'est intéressante que s'il est possible de rassembler au même endroit

T A B L E A U 4

IRRADIATIONS DES ALIMENTS

Dose de stérilisation	Viandes et poissons Plats pour régimes stériles
Dose de pasteurisation	Viande - produits laitiers - oeufs - poissons épices et condiments enzymes
Destruction des insectes	Graines - farine
Inhibition de la germination, mûrissement retardé	Pommes de terre - oignons ignames fruits
Provedes pour animaux de laboratoire.	

des quantités suffisantes et importantes de produits à traiter.

On peut prévoir dans un futur relativement proche une évolution assez rapide de cette situation ; les idées sur l'irradiation des aliments semblent en effet évoluer progressivement mais profondément, comme on a pu le constater d'après les conclusions de la dernière rencontre de la FAO et de l'AIEA à ce sujet.

Un cas particulier d'irradiation d'aliments est celle des nourritures pour animaux de laboratoire.

Ce procédé est utilisé en Grande-Bretagne, à l'échelle d'au moins 300 T/an ; et en France (moins de 100 T/an). Des projets existeraient également en Autriche et aux Pays-Bas, mais ils ne semblent pas encore avoir atteint le stade de la réalisation.

Dans l'avenir, le même procédé pourrait être étendu aux animaux destinés à la consommation humaine ; les cas les plus intéressants paraissent ceux des animaux SPF (specific pathogen free) destinés à la reproduction, et des animaux d'élevage industriel. Ces marchés seraient extrêmement importants.

Le cas des "décontaminations biologiques", c'est-à-dire ceux de la réduction du nombre de microorganismes dans des produits variés, comme les médicaments ou les produits de beauté peuvent aussi être considérés ici. Quelques traitements de ce type sont probablement utilisés ici et là en Europe, mais vraisemblablement à petite échelle, et il n'y a pas d'information disponible sur les tonnages.

IV. IRRADIATION DES BOUES

Le traitement des eaux usées donne des boues dont les quantités vont sans cesse croissant ; une utilisation possible de ces boues réside dans leur emploi comme engrais dans l'agriculture, mais ceci pose un problème de destruction des organismes pathogènes de ces boues. L'irradiation a été récemment envisagée, à côté de la chaleur, pour leur hygiénisation. Une unité pilote a été utilisée depuis 1972 en Allemagne (Geisel-bullach) ; l'activité actuelle est de 450 kCi de cobalt-60 et la capacité de 120 m³/jour. Les résultats d'exploitation seraient très encourageants.

.../...

Des projets sont également étudiés dans plusieurs pays européens, dont la France, en faisant appel soit au cobalt, soit aux accélérateurs d'électrons.

Cette technique est donc encore au stade développement. Son futur dépendra principalement de l'économie globale du procédé, et en particulier de la dose qui s'avèrera nécessaire pour une destruction efficace des microorganismes (de 0,3 à 1 ou plusieurs Mrad).

V. RETICULATION DU POLYETHYLENE ET DU POLYCHLORURE DE VINYLE

La réticulation radioinduite du polyéthylène, et dans une moindre mesure, du PVC est probablement l'application des traitements d'irradiation qui a eu le plus de succès dans le monde. Selon les produits qui sont traités, on doit distinguer trois cas : les fils et câbles ; les gaines ou films rétractables ; les mousses.

5.1. Fils et câbles -

Les avantages des isolants réticulés sont les suivants :

- meilleure résistance à la chaleur
- plus forte intensité utilisable sur le conducteur
- fluage et fissuration sous contrainte réduits.

Quoique la réticulation puisse être obtenue par un traitement thermique en présence d'additifs chimiques, l'utilisation de l'irradiation offre plusieurs avantages :

- qualité supérieure du produit final, principalement due à l'absence de résidus d'additifs et d'humidité résiduelle.
- Contrôle plus facile de la mise en oeuvre.
- Coûts moindres.

Alors que ce procédé a été très largement adopté aux USA et au Japon, où plusieurs installations sont maintenant utilisées, il est quelque peu surprenant que sa progression ait été si lente en Europe. A part quelques installations expérimentales ou

.../...

de démonstration, il semble qu'une seule unité soit utilisée industriellement, dans une compagnie française de fabrication de câbles (depuis 1977), et peut-être une seconde en Italie (Pirelli, Milan).

Les raisons de la lenteur de ce développement paraissent à rechercher dans le niveau des investissements nécessaires, la répugnance des compagnies européennes de ce secteur à investir, et la présence d'unités conventionnelles déjà existantes, qui ne sont pas encore périmées ou saturées par les productions en cours.

Les industriels européens estiment, cependant, que le traitement de réticulation sous rayonnement est un procédé supérieur, et qu'il se produira progressivement une évolution vers cette technique.

On doit d'autre part insister sur le fait qu'une gamme de qualités d'isolants réticulés peut être produite grâce au procédé ; selon le polymère (PE ou PVC), et, en particulier, suivant la formulation, des produits plus ou moins sophistiqués peuvent être fabriqués, à différents niveaux de prix et pour différents marchés.

5.2. Films et gaines rétractables -

L'effet mémoire des polymères réticulés permet de préparer des films rétractables (pour l'emballage) et des gaines (utilisées dans l'industrie électrique mais également dans d'autres secteurs). Le marché de ces produits est important, et pour cette application à nouveau, d'autres produits sont en concurrence, que l'on peut fabriquer par des procédés conventionnels. Deux sociétés produisent des films rétractables en France, l'une par irradiation gamma et l'autre par irradiation sous électrons (Conservatome et Grace). Le tonnage total de la production n'est pas connu mais est probablement de l'ordre de plusieurs milliers de tonnes.

A côté de Grace, à Hambourg, il y a certainement plusieurs autres producteurs en Europe, mais les données précises ne sont pas disponibles.

Les gaines rétractables irradiées sont produites par une société en France (CFI -irradiation gamma), et probablement

par d'autres sociétés en Grande-Bretagne et/ou en Allemagne. Les tonnages produits ne sont pas connus.

Les raisons du développement modéré de ce secteur paraissent être du même type que dans le cas de fils de câbles : présence de lignes conventionnelles de production déjà existante, et coût des investissements. Ces raisons pourraient être moins convaincantes que dans le cas des fils et câbles. Les productions de films ou de gaines sont en effet en général plus modestes, et le recours à une société de service d'irradiation ne pose guère d'autres problèmes que ceux résultant des coûts de manutention et de transport, alors que dans le cas des fils et câbles on préfère en général faire appel à une unité de traitement située sur le lieu de production même. Une autre raison pourrait résider dans le fait que des quantités importantes de produits américains et japonais sont importés, et vendus sur le marché européen en concurrence avec la production interne.

5.3. Mousse de polyéthylène -

La moitié de la mousse de polyéthylène vendue sur le marché mondial est produite par irradiation, et la croissance de la production est d'environ 25% par an. En 1975-1976, deux sociétés, en Suisse et en Angleterre, indiquaient avoir en projet des unités de production par irradiation, mais nous n'avons eu aucune confirmation de production en 1977.

VI. RETICULATION DU CAOUTCHOUC ET DES AUTRES POLYMERES

Le rayonnement est utilisé pour la fabrication des pneus aux USA, mais on ne dispose d'aucune indication sur le procédé. On peut penser que l'irradiation est utilisée pour une vulcanisation partielle du caoutchouc, mais ce point n'est pas confirmé, et il est également possible que le rayonnement puisse être utilisé pour l'amélioration des fibres textiles des pneus, par greffage. Les deux sociétés qui sont concernées sont Firestone et Goodyear.

D'autre part, il semblerait également qu'au moins un des grands fabricants européens de pneus soit équipé pour l'irradiation sous électrons. La nature du procédé correspondant n'est pas connue.

.../...

La réticulation des autres polymères (en particulier dans le domaine des produits élastomériques) n'a pas encore donné lieu à aucune application industrielle, en dépit d'études nombreuses et d'un intérêt soutenu de la part de l'industrie.

VII. TRAITEMENT DES REVÊTEMENTS

Le traitement des revêtements par irradiation est devenu une réalité commerciale d'abord aux USA.; ensuite l'intérêt pour cette application du rayonnement n'a cessé de croître régulièrement durant les dernières années.

Le projet consiste essentiellement en l'application d'un revêtement fin d'un mélange liquide visqueux sur un substrat, suivi d'un passage sous faisceau d'électrons de façon à solidifier (sécher) le revêtement en quelques secondes (Tableau 5). Ce type d'application fait donc spécifiquement appel aux accélérateurs d'électrons de basse énergie.

Les avantages principaux du traitement sous rayonnement des revêtements, par rapport au procédé conventionnel, sont les suivants :

- espace occupé par l'installation moindre
- forte capacité de production (hautes vitesses)
- le revêtement est complètement sec (sans collant) immédiatement après le traitement
- le traitement est effectué à température ambiante : économie d'énergie, possibilité de grandes vitesses pour les substrats sensibles à la température
- peinture ou vernis sans solvant à évaporer : économie de matière, pollution et danger d'incendie réduits.

L'économie du procédé est donc très attrayante pour des productions d'un niveau suffisant, du fait que les investissements sont relativement élevés. Le tableau 6 donne une comparaison entre les coûts des trois types de procédé (chaleur, ultra-violet et irradiation) en France, et montre que le traitement sous faisceau d'électrons est le moins cher, au moins pour le niveau considéré de production (7500 m²/jour).

La liste des applications possible est donnée au tableau

T A B L E 5

APPLICATIONS DU SECHAGE DES REVETEMENTS
SOUS FAISCEAU D'ELECTRONS

Bois

Plastiques

Papiers - Cartons

Composites amiante ciment

Feuilles d'acier (coil coating)

Collage des feuilles de PVC

T A B L E 6

Analyse des coûts de production des panneaux
revêtus polyester suivant les techniques
de séchage (coûts en US Dollars/m²)

	Chaleur et peroxydes	UV	Electrons
Matières premières	0.83	0.642	0.794
Main d'oeuvre	1.216	0.418	0.186
Energie	0.106	0.16	0.01
Amortissements	0.16	0.18	0.2
Sous-total	2.312	1.4	1.11
Déchets de production (pièces défectueuses)	30%	20%	5%
Total	3.006	1.68	1.166

En Europe, trois sociétés utilisent le procédé :

- Aux Pays-bas (Svedex), pour la fabrication de portes. La production est d'environ 3.000 portes par jour, soit 2 à 2,5 millions de m²/an (vitesse de traitement : 42 m/mn),
- En Allemagne (Bruynzeel), pour la fabrication de portes
- En France (Parisot), pour la fabrication de mobilier (7.500 m²/jour); la ligne est équipée d'un accélérateur français.

D'autre part, plusieurs compagnies commercialisent des lignes de production ainsi que des peintures et vernis traitables par irradiation : ce sont, par exemple : Werner Pfleiderer (Allemagne), Sikkens (Pays-Bas), SEDRA, HELIC (France), Otto Durr, Glazurit - Erbold (Allemagne) etc.....

A côté donc des traitements conventionnels faisant appel à la chaleur ou à la chaleur et au peroxyde, deux nouveaux types de procédés, se développent maintenant : le traitement sous faisceau d'électron et le traitement par ultra-violet. Il y a une relation étroite entre ces deux procédés, du fait qu'ils présentent des analogies techniques, et que les compositions insaturées qui sont adaptées aux deux types de procédés sont voisines. Cependant ils se présentent de façon complémentaire plutôt que concurrente. Le traitement sous ultra-violet sera préféré dans le cas des faibles épaisseurs, des revêtements transparents ou des petites productions. Le traitement sous faisceau d'électrons est en mesure de "sécher" de plus fortes épaisseurs, et est le seul utilisable dans le cas des peintures ; il est d'autre part plus économique pour les productions importantes, en raison de ses coûts plus faibles de fonctionnement, et malgré des investissements plus élevés.

Dans les deux cas, on peut prévoir un développement régulier dans le proche avenir de ces procédés en Europe. Le taux de croissance dépendra fortement, cependant, du contexte économique, et en particulier des taux d'investissement que pourront supporter les industriels.

.../...

VIII. COMPOSES - BOIS PLASTIQUES

En dépit du fait que plus de 5.000.000 de livres de composés bois-plastiques aient été produits en 1976, ce procédé n'est pas encore utilisé en Europe à l'échelle industrielle.

Deux sociétés, en Finlande et dans un autre pays d'Europe du Nord, auraient des productions en cours, mais par un procédé conventionnel de polymérisation (chaleur et catalyseur). Le niveau de production n'est pas connu. Des composés bois-plastiques, importés des USA et fabriqués par irradiation, sont également vendus sur le marché européen. Ces importations pourraient ouvrir la voie à des productions industrielles en Europe dans le futur.

La raison de l'échec du développement industriel du procédé en Europe pourrait résider dans une erreur de départ de marketing du produit. Le marché qui fut initialement considéré était celui du parquet des logements privés. En réalité, et au moins en France, mais ceci pourrait être vrai également pour l'ensemble de l'Europe, ce marché n'est pas le mieux adapté aux produits. Dans le cas des constructions privées, on recherche un investissement initial peu élevé plutôt que de faible coût d'entretien ou une durée de vie prolongée du parquet. Au contraire, pour les surfaces destinées à des utilisations commerciales, industrielles ou collectives, où les coûts d'entretien sont importants et sont pris en considération pour le choix du plancher, l'intérêt des composés bois-plastiques, tant du point de vue pratique que du point de vue économique, peut être mis sans ambiguïté en évidence ; ce type de marché est donc beaucoup plus favorable, et c'est lui qui a donné lieu aux quelques succès commerciaux enregistrés.

Un autre élément de la situation réside dans le fait que les composés bois-plastiques ont seulement été considérés comme un substitut du bois, présentant de meilleures propriétés, et que la structure du parquet traditionnel a été conservée lorsqu'on a cherché à les utiliser. En réalité les propriétés supérieures des composés bois-plastiques permettent d'adopter de nouvelles structures pour la fabrication et la pose des planchers, mettant en particulier en jeu de moindres volumes du matériau, ce qui améliore la comparaison économique.

D'autre part, la fabrication des bois-plastiques permet de valoriser des bois de qualité inférieure (plus faible densité et dureté). Ce fait est particulièrement intéressant en Europe,

.../...

où il se fait difficile de trouver des bois de bonne qualité, phénomène qui n'est probablement pas le cas de la seule Europe.

Relevons au passage qu'une technologie tout à fait voisine peut être utilisée pour la fabrication de composites de matériaux organiques (pierres) et de plastiques.

IX. DIVERS

9.1. Greffage -

De très nombreuses recherches ont été consacrées dans le monde entier au greffage textile, mais aucune application n'a pu être développée jusqu'à l'échelle industrielle en Europe, en dépit de plusieurs études menées jusqu'à l'échelle pilote.

Ceci paraît dû à plusieurs raisons :

- Les accélérateurs sont le moyen d'irradiation le mieux adapté au greffage des textiles. Cependant ces machines doivent présenter un niveau de puissance suffisant si l'on veut que leur utilisation soit économique (à partir d'environ 10 KW). Il est alors nécessaire de disposer soit d'une production importante à traiter, avec, en regard, un marché suffisant, soit de plusieurs productions complémentaires représentant des tonnages suffisants pour alimenter la machine. Ceci n'a pas encore été le cas jusqu'à maintenant.

- Les coûts des traitements ne sont généralement pas très élevés, lorsqu'on les évalue au kg de produit modifié ; d'autre part le coût de l'irradiation et de la mise en oeuvre sont en partie équilibrés par le fait que le polymère greffé est en général meilleur marché que la fibre d'origine. Mais il existe de toute façon un accroissement du prix final, et les avantages apportés par les modifications étudiées n'ont pas été, jusqu'à maintenant, suffisantes pour justifier l'accroissement de prix, du point de vue du marché.

- Il existe de nombreuses possibilités d'améliorer les propriétés finales d'un tissu qui constituent autant de procédés concurrents des modifications par greffage sous rayonnement : modifications des polymères avant filage, mélange des fibres, traitement de finition d'enzymage, etc..... A côté du greffage

.../...

des textiles, un procédé de greffage de polymères est utilisé en France à l'échelle industrielle par la CFR. C'est le greffage du polyéthylène par l'acide acrylique, en vue d'améliorer les propriétés d'adhésion du polymère, en particulier sur les métaux (fabrication de films composites de polyéthylène et d'aluminium).

D'autre part plusieurs études ont été réalisées concernant la fabrication de membranes et l'utilisation des plastiques en génie biologique, où les améliorations de propriétés qui sont souhaitées peuvent être obtenues par greffage. En dépit de l'intérêt des résultats obtenus à l'échelle du laboratoire, et de quelques travaux ayant atteint l'échelle pilote, il n'y a pas à notre connaissance de productions industrielles en Europe dans ce domaine.

9.2. Polymérisations et réactions en chaîne -

Plusieurs cas de polymérisations sous rayonnement ont fait l'objet d'études importantes : éthylène, monomères vinyliques en émulsion (acétate de vinyle, chlorure de vinyle), sans que ces études donnent naissance à des procédés industriels, car des résultats équivalents pouvaient être obtenus par les méthodes conventionnelles.

Le même type de situation s'est produit dans le cas de différentes réactions en chaîne, comme l'oxydation ou la sulfoxydation des parafines, et la chloration des hydrocarbures.

9.3. Dégradation des polymères -

La dégradation de l'oxyde d'éthylène, pour modifier la répartition des poids moléculaires, paraît utilisée aux USA, mais ne l'est pas en Europe.

Au contraire celle des déchets de polytétrafluoroéthylène, pour la fabrication de lubrifiants solides, est utilisée dans plusieurs pays européens et en France. Les quantités de produit traité, évidemment, sont très petites.

9.4. Epuration des gaz de combustion -

Cette technique nouvelle d'élimination du SO_2 et des oxydes d'azote des gaz de combustion du fuel des centrales thermiques, des hauts fourneaux ou des unités chimiques, a été initialement développée au Japon. Une unité pilote existe en France

et probablement dans d'autres pays européens ; le passage à l'utilisation industrielle devrait intervenir dans un proche avenir.

9.5. Autres utilisations -

Il existe d'autres utilisations des traitements sous rayonnements qui peuvent être cités, mais sur lesquels on possède trop peu d'informations pour les commenter, et dont l'importance économique est de toute façon faible :

- irradiation de pierres précieuses ou semi-précieuses : quartz, diamants
- vérification de la qualité du quartz pour les montres et dispositifs électroniques
- irradiation des semi-conducteurs (thyristors) pour l'amélioration de leurs caractéristiques électroniques.

X. CONCLUSIONS

Il paraît souhaitable, en conclusion, de mettre l'accent sur quelques faits ou tendances de nature très générale.

1. Il paraît important, dans le cadre d'un bilan économique global, de ne pas considérer le seul poids économique direct des traitements d'irradiation réalisés. Les recherches et développements effectués pour les applications de l'irradiation représentent en effet un support technique et un facteur d'entraînement très important pour le progrès d'autres techniques industrielles faisant appel à des moyens conventionnels. De nombreuses études effectuées pour le développement des traitements d'irradiation ont apporté des progrès substantiels aux procédés conventionnels (par ex. cas des compositions pour le séchage sous faisceau d'électron qui sont très proche de celles qui sont utilisées pour le séchage sous UV, ou cas de la mousse de polyéthylène). D'autres études qui au départ avaient commencé en utilisant l'irradiation comme moyen d'initiation ont permis ensuite le développement de procédés faisant appel à des moyens d'initiation conventionnels. D'autre part pour les travaux de recherches ou pour l'enseignement dans le domaine de la physico-chimie des polymères, le rayonnement s'avère un outil particulièrement utile.

.../...

2. Le développement des traitements d'irradiation a été relativement lent au cours des dix dernières années, mais s'est déroulé de façon très régulière ; on peut donc penser que cette tendance générale se maintiendra encore sur plusieurs années ; l'analyse montre en outre qu'il est plus probable que le taux de croissance devrait notablement s'améliorer.

Les principales raisons de cette estimation globale sont les suivantes :

- de nouveaux procédés continuent d'apparaître faisant appel au rayonnement, comme le traitement des boues, celui des gaz de combustion, et les traitements de finitions textiles.

- Des accélérateurs de plus en plus puissants sont développés, qui élargissent le domaine d'application de l'irradiation aux productions à grande échelle (jusqu'aux produits pétroliers par exemple), et qui abaissent de façon substantielle les coûts de traitement (ils ont déjà décri d'un facteur 2 ou 3 entre 1966 et 1976).

- L'importance des économies d'énergie, des procédés non polluant, de la facilité de contrôle des processus de production, est de plus en plus prise en compte lorsqu'un choix est à faire sur la technologie d'un procédé donné.

3. La plus grande partie de la croissance économique passée de l'irradiation a été réalisée par la diffusion d'un petit nombre de techniques (stérilisation, câbles, gaines rétractables) plutôt que par l'utilisation d'un plus grand nombre de procédés différents. En général, lorsqu'un procédé faisant appel au rayonnement est en concurrence avec d'autres procédés faisant appel à des moyens conventionnels, on préférera l'un de ces derniers, à cause du plus faible montant des investissements nécessaires, ou des réticences à utiliser l'irradiation, à moins qu'il n'existe des avantages spécifiques du traitement sous rayonnement. Ceci explique probablement en bonne partie la faiblesse du nombre des procédés qui ont débouché à l'échelle industrielle. La situation demeurera probablement sensiblement identique au cours des prochaines années. Cependant on constate de façon très nette que les réserves du monde industriel à utiliser l'irradiation décroissent progressivement. L'importance de ce facteur psychologique ne doit pas être sous-estimée.

4. Lorsqu'on considère les problèmes de démarrage d'une installation récemment construite, ou ceux de contrôle d'une installation en production de routine, l'expérience montre que dans les deux cas, les opérations sont plus faciles lorsque l'on fait appel à l'irradiation que lorsqu'on utilise la plupart des autres procédés conventionnels. L'utilisation du rayonnement est donc particulièrement intéressante pour démarrer une production nouvelle, à condition bien entendu que le procédé ait été suffisamment mis au point auparavant et que l'on dispose d'une expérience et d'un recul suffisants. Ceci est maintenant le cas pour de nombreux procédés.

5. Le succès des recherches et développements en matière d'utilisation industrielle de l'irradiation ne dépend pas seulement des possibilités et des capacités des laboratoires de recherches appliquées ou des compagnies industrielles ; il dépend également, et de façon très forte, des relations de collaboration qui peuvent être établies entre ces laboratoires et ces compagnies. Ce point est extrêmement important, et il pose encore problème dans de nombreux pays européens.

6. Lorsqu'on analyse de façon quelque peu détaillée les raisons du succès ou de l'échec de l'introduction d'un procédé sous rayonnement donné dans différents pays, on constate qu'elles sont à rechercher, dans la plupart des cas, dans le contexte économique ou industriel, ou dans des caractéristiques particulières des marchés correspondants. Il apparaît également de ce point de vue que les situations sont extrêmement différentes d'un pays donné à un autre, même dans le cadre limité de la seule Europe. Ceci montre qu'une analyse extrêmement soignée est nécessaire si l'on souhaite tirer des conclusions raisonnables sur l'intérêt d'un procédé donné pour un pays donné.

