

Perméabilité des matières plastiques aux agents physiques, chimiques et microbiens

par **R. LEFAUX**

Docteur-Ingénieur.

PERMÉABILITÉ DES MATIÈRES PLASTIQUES AUX AGENTS PHYSIQUES, CHIMIQUES ET MICROBIENS

par R. LEFAUX, Docteur-Ingénieur.

Fruits, vol. 23, n° 6, juin 1968, p. 315 à 322.

RÉSUMÉ. — Après avoir rappelé la théorie générale, les lois et les définitions de la perméabilité, l'auteur étudie les facteurs qui influencent cette propriété : nature de la molécule diffusante et nature du matériau barrière.

Deux tableaux donnent les chiffres de perméabilité au gaz et à la vapeur d'eau des principales matières plastiques.

Dans le conditionnement des denrées alimentaires, la connaissance précise de cette perméabilité pour les différents matériaux permet de les utiliser avec efficacité.

Pour l'emballage des fruits et légumes frais, le polyéthylène est utilisé en raison de sa perméabilité particulière à l'éthylène et aux produits odorants tandis qu'il entrave les échanges respiratoires et transpiratoires.

La perméabilité des différentes matières plastiques au rayonnement ultraviolet et aux bactéries est évoquée ; les études en cours sont citées.

Dans l'ensemble, cette question de perméabilité (ou d'imperméabilité) des matières plastiques ne paraît connue que de quelques spécialistes. Elle est, pourtant, très importante et nous l'étudierons dans le cadre du présent Congrès (), c'est-à-dire en ayant surtout en vue les intéressantes applications de ce caractère de perméabilité dans le domaine de l'emballage plastique alimentaire.*

Nous diviserons le sujet en trois parties : la perméabilité aux gaz et aux vapeurs, la perméabilité aux rayons ultraviolets, la perméabilité aux bactéries et virus.

PERMÉABILITÉ AUX GAZ ET AUX VAPEURS

I. THÉORIE GÉNÉRALE DE LA PERMÉABILITÉ

A. RAPPEL DE LOIS ET DÉFINITIONS.

1° Loi de FICK (première loi).

La quantité de gaz passant perpendiculairement à travers l'unité de surface d'une membrane donnée,

dans l'unité de temps, est proportionnelle au gradient de concentration $\frac{dc}{dx}$ du gaz le long de dx . Elle s'exprime par la formule :

$$q = -D \frac{dc}{dx}$$

D est appelée *constante de diffusion* ou *coefficient de diffusion* (le signe négatif est dû au fait que la diffusion s'effectue dans le sens des concentrations décroissantes).

(*) Symposium sur « Le conditionnement moderne et la qualité des denrées alimentaires » (Varsovie, 7 et 8 décembre 1967).

2° Loi de HENRY.

La quantité de gaz dissoute dans une masse donnée de polymère est directement proportionnelle à la pression partielle exercée par ce gaz.

Elle s'exprime par la formule $c = Sp$ où c est la concentration et p la pression partielle.

S est appelé *coefficient de solubilité* du gaz dans le polymère.

B. THÉORIE GÉNÉRALE.

La perméabilité aux gaz et aux vapeurs d'un film en matière plastique est un phénomène physico-chimique : elle comporte une *absorption* (par affinité chimique ou par solubilité) des molécules de gaz et de vapeur sur la surface du film au contact, suivie d'une *diffusion* de ces molécules à travers la matière plastique et, enfin, d'une *désorption* à l'autre face.

Comment se fait cette diffusion ? Un haut polymère amorphe (*) est constitué par un enchevêtrement de chaînes, où les vides formés par ces chaînes laissent diffuser les molécules de gaz ou de vapeur. Notons que ces vides disparaissent et reparaisent constamment en d'autres régions du polymère sous l'effet de son agitation thermique, et la diffusion des molécules est précisément leur pénétration, leur infiltration à travers ces vides, dans la direction du gradient de concentration. L'énergie d'activation de diffusion des molécules s'opposera aux forces de cohésion du haut polymère ainsi qu'à la configuration des segments de chaînes et la perméabilité sera, en définitive, la résultante de ces forces.

Le calcul va nous aider à préciser ces notions. Considérons une matière plastique d'épaisseur τ exposée à un gaz unique, alors que le régime *permanent* de diffusion est atteint. La loi de FICK (cf. paragraphe A) nous donne :

$$q = -D \frac{dc}{dx}$$

En supposant D constant, l'équation peut être intégrée entre les deux concentrations c_1 et c_2 :

$$q \int_{x=0}^{x=\tau} dx = -D \int_{c_1}^{c_2} dc$$

(*) Nous ajoutons le qualificatif « amorphe » car nous verrons plus loin que les régions cristallines du haut polymère constituent un obstacle à la diffusion.

pour donner :

$$q = \frac{D(c_1 - c_2)}{\tau}$$

c_1 et c_2 étant les concentrations de gaz dans la membrane, au voisinage des deux surfaces.

La loi de HENRY (cf. paragraphe A) permet de passer des concentrations c_1 et c_2 aux pressions partielles p_1 et p_2 :

$$q = \frac{DS(p_1 - p_2)}{\tau}$$

Le produit $p = DS$ est appelé *coefficient de perméabilité*.

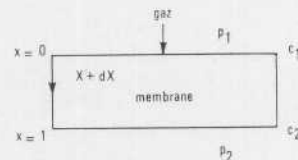


FIG. 1.

Lorsque les lois de FICK et de HENRY sont applicables, le coefficient de perméabilité est donc le produit de la constante de diffusion par le coefficient de solubilité.

Si Δq est le volume de gaz qui, à une température donnée, a traversé la membrane dans l'intervalle de temps Δt , A étant la surface utile de la membrane, le coefficient de perméabilité est représenté par la formule :

$$p = \frac{\Delta q \times \tau}{\Delta t \times A (p_1 - p_2)}$$

La perméabilité s'exprime donc en :

$$\frac{(\text{cm}^3 \text{ à } 0^\circ 76 \text{ cm Hg (cm)})}{(\text{sec}) (\text{cm}^2) (\text{cm Hg})}$$

Remarques.

1° La loi de HENRY n'est applicable qu'aux solutions diluées, comme, par exemple, celles de l'oxygène et de l'azote dans les polymères, alors que les vapeurs de nombreuses substances organiques peuvent être relativement concentrées ; d'autre part, pour plusieurs systèmes vapeur organique-polymère, la constante de diffusion n'est pas indépendante de la concentration.

Il faut donc s'attendre à ce que la relation $P = DS$ ne soit pas valable pour un nombre important de vapeurs organiques.

2° Les films plastiques, comme la feuille mince d'aluminium, peuvent présenter des *micropores*, lorsqu'ils se trouvent sous de très faibles épaisseurs. L'épaisseur minimum, à partir de laquelle les pores n'existent plus, est fonction d'un certain nombre de facteurs, en particulier de la structure du haut polymère, de son degré de polymérisation, du mode d'élaboration du film (évaporation, extrusion-soufflage...), si bien que dans la pratique il est difficile, chaque fois, de le préciser. Quoi qu'il en soit, au-dessous d'une épaisseur de 10 μ environ, les films plastiques présentent généralement de nombreux micropores et cette notion de microporosité doit toujours être présente à l'esprit lorsqu'on veut mesurer la perméabilité vraie de ces matériaux d'emballage.

C. FACTEURS INFLUENÇANT LA PERMÉABILITÉ.

Dans le système gaz (ou vapeur) — film plastique, la perméabilité dépend à la fois du gaz (ou de la vapeur) et de la matière plastique ; mais elle dépendra, également, des causes extérieures (température, notamment).

1° Nature de la molécule diffusante.

Le coefficient de solubilité S (et, par conséquent, P) va être influencé par la facilité ou la difficulté de condensation des vapeurs et des gaz, les molécules facilement condensables étant, en principe, beaucoup plus solubles dans le haut polymère que les molécules difficilement condensables.

On peut, à cet égard, considérer deux types opposés de molécules :

a) Gaz et vapeurs difficilement condensables.

Les forces intermoléculaires des gaz sont faibles et il n'y a aucune interaction particulière entre les gaz et la macromolécule. La solubilité des gaz *permanents* dans les solides organiques, aux températures normales, est très faible et généralement inférieure à 0,2 p. cent.

b) Vapeurs aisément condensables.

En ce qui concerne les vapeurs aisément condensables, dans lesquelles les actions intermoléculaires

sont beaucoup plus fortes, on peut distinguer deux cas :

α) Les forces de cohésion de la vapeur sont moins importantes que l'interaction polymère-vapeur. C'est le cas des vapeurs de nombreuses substances organiques vis-à-vis des hauts polymères, substances qui dissolvent ou plastifient les macromolécules ; c'est aussi le cas des systèmes vapeur d'eau-polymères hydrophiles (cellophane, nylon...).

β) Il arrive que l'interaction macromolécule-vapeur soit d'intensité moindre que les forces de cohésion de la vapeur elle-même. Dans ce cas, la solubilité de cette dernière doit être très faible. Appartiennent à cette catégorie quelques vapeurs organiques non solvantes ou faiblement solvantes ou, encore, les systèmes vapeur d'eau-polymères hydrophobes (polyéthylène, polypropylène...).

2° Nature du matériau-barrière.

Étant donné la nature complexe d'une matière plastique, il est à prévoir que de nombreux facteurs, dépendant de sa nature même, vont influencer sur sa perméabilité à l'égard des gaz et vapeurs éventuellement mis à son contact. Nous citerons les principaux.

a) Influence de l'organisation macromoléculaire.

α) Symétrie et énergie de cohésion.

Toutes choses égales d'ailleurs, le coefficient de perméabilité est faible lorsque la symétrie et l'énergie de cohésion sont grandes. Le polyéthylène, le chlorure de polyvinylidène et le caoutchouc naturel vont nous permettre, à cet égard, de faire deux séries de comparaisons deux à deux. Le polyéthylène et le caoutchouc naturel ont des énergies de cohésion semblables, mais le second possède une structure plus lâche due à son manque de symétrie le long de la chaîne, conduisant à un coefficient de diffusion plus grand, donc à une perméabilité plus grande. D'autre part, le polyéthylène et le chlorure de polyvinylidène ont des degrés de symétrie semblables, mais le second, plus polaire que le premier, possède une très haute énergie de cohésion, donc un très faible coefficient de diffusion (cf. tableau I).

β) Degré de cristallinité.

Un haut polymère comporte, généralement, des régions amorphes et des régions cristallines. La plus ou moins grande prédominance des unes sur les autres pourra avoir un effet marqué à la fois sur la diffusion et sur la solubilité des molécules diffusantes et, par

TABLEAU I.

Perméabilité aux vapeurs de bromure de méthyle.

MATIÈRES PLASTIQUES	P (cm ³ /mm/cm ² /sec/cm Hg × 10 ⁸) 60° C, 395 mm Hg
Chlorure de polyvinylidène.	0,08
Polyéthylène (<i>d</i> = 0,920) ...	47,2
Caoutchouc naturel	153

conséquent, sur la perméabilité du haut polymère, à l'égard des dites molécules. En définitive, le coefficient P décroît à mesure que croît le degré de cristallinité (cf. tableau II).

b) *Similitude structurale.*

TABLEAU II.

Influence de la cristallinité sur la perméabilité.

P en g/100 m²/h.

MATIÈRES PLASTIQUES	P VAPEUR D'EAU	DEGRÉ DE CRISTALLINITÉ
Chlorure de polyvinylidène...	6	très élevé
Polytétrafluoréthylène.....	6	très élevé
Polyéthylène basse pression..	16	élevé
Chlorure de polyvinyle	128	faible
Polystyrène	532	très faible

Dans la majorité des systèmes polymère-molécules diffusantes le coefficient de diffusion et le coefficient de perméabilité croissent généralement avec la similitude structurale entre polymère et molécules. C'est ainsi que les dérivés cellulosiques et l'alcool polyvinyle, à groupements hydrophiles OH, sont beaucoup plus perméables à la vapeur d'eau qu'aux vapeurs organiques, alors que c'est l'inverse pour le chlorure de polyvinyle, le polyéthylène et le polystyrène, nettement plus sensibles au benzène.

c) *Plastifiants.*

D'une manière générale, l'influence des plastifiants sur la perméabilité de la matière plastique paraît assez complexe :

— ils interviennent, d'abord, par leur action méca-

nique en écartant les chaînes macromoléculaires, accroissant leur mobilité et facilitant, ainsi, la diffusion des molécules absorbées ;

— ils possèdent leur propre coefficient de diffusion qui dépend, dans une certaine mesure, de leur état physique (liquide ou solide) ;

— ils interviennent, surtout, par leur nature chimique en ayant une affinité plus marquée pour telle ou telle molécule diffusante : c'est ainsi que la glycérine (qui possède des OH alcooliques) accroît la perméabilité aux vapeurs d'eau et d'alcool éthylique, alors qu'elle diminue la diffusion du benzène.

L'influence des plastifiants sur la perméabilité de la matière plastique peut être importante, quand on sait que celle-ci en renferme jusqu'à 60 p. cent (en poids).

d) *Divers.*

Les pigments et les charges opacifient la matière plastique ; certains d'entre eux abaissent la perméabilité et, même, comme l'oxyde de titane par exemple, rendent la matière plastique imperméable, non seulement aux rayons visibles, mais encore au rayonnement ultraviolet.

Les impuretés du haut polymère (gaz ou vapeurs absorbées, notamment) ont un rôle important, au même titre que les plastifiants. Elles peuvent provenir de l'atmosphère ambiante : ce sera le plus souvent de la vapeur d'eau, mais on rencontrera des vapeurs de solvants dans les laboratoires, les usines, les dépôts de carburant ; elles accroissent la diffusion des molécules qui leur sont chimiquement analogues.

3° *Influence de la température.*

D'une façon générale, on peut dire que la perméabilité des films plastiques croît avec la température (*).

Rappelons que la dépendance vis-à-vis de la température du coefficient de perméabilité P peut être exprimée par l'équation exponentielle d'Arrhenius :

$$P = P_0 \times e^{-E_p/RT}$$

où T est la température exprimée en degrés Kelvin (température absolue),

R la constante des gaz parfaits,

P₀ la valeur de P pour T infinie,

(*) Il y a des exceptions, dont nous ne parlerons pas ici, dues surtout à la nature des molécules diffusantes et à leur interaction avec les films.

E_p , l'énergie d'activation requise pour assurer la pénétration d'une molécule-gramme de gaz.

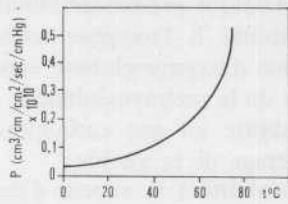


FIG. 2. — Variations de P avec la température.

La figure 2 donne l'allure de la courbe traduisant, en fonction de la température, la perméabilité d'un film plastique à un gaz permanent.

Dans la pratique, il est plus commode d'intégrer l'équation précitée, qui devient alors :

$$\log P_0 - \log P = \frac{E_p}{RT}$$

$\log P$ en fonction de $\frac{1}{T}$ est alors représenté par une ligne droite, ce qui permet de vérifier la validité de la formule quand on connaît trois valeurs expérimentales et de procéder aux extrapolations (cf. fig. 3).

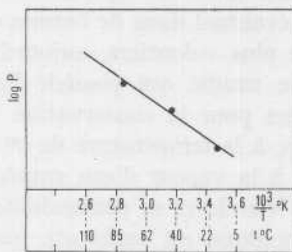


FIG. 3.

II. PERMÉABILITÉ DES EMBALLAGES PLASTIQUES ALIMENTAIRES

Les deux tableaux III et IV mettent en lumière la gamme très étendue de perméabilités qui va permettre aux matières plastiques de jouer un rôle particulièrement important dans le domaine du conditionnement alimentaire.

Dans l'impossibilité de développer, ici même, un sujet aussi vaste, nous choisirons et mentionnerons très brièvement quelques exemples typiques de pro-

TABLEAU III.

Perméabilité aux gaz des principales matières plastiques. (P en cm³/cm²/mm/sec/cm Hg × 10¹⁰).

MATIÈRES PLASTIQUES	t° C	N	O₂	CO₂
Chlorure de polyvinylidène (Saran)	30°	0,01	0,25	0,29
Fluorure de polyvinyle	25°	0,042	0,20	0,90
Polytéréphtalate d'éthylène-glycol	25°	0,05	0,30	1,0
Chlorhydrate de caoutchouc (Pliofilm NO)	30°	0,08	0,25	1,70
Phénolformaldéhyde	20°	0,095	—	—
Nylon	30°	0,20	0,38	1,60
Résine acétal	30°	0,22	3,8	19
Chlorure de polyvinyle (non plastifié)	30°	0,40	1,2	10,2
Acétate de cellulose (non plastifié)	23°	1,60	4,0	32
Polycarbonate	25°	3	20	85
Caoutchouc butyl	25°	3,2	13	52
Polyéthylène (d = 0,954 à 0,960)	25°	3,3	11	43
Polypropylène	25°	4,4	23	92
Polyéthylène (d = 0,922)	30°	20	55	265
Polystyrène	25°	3-80	15-250	75-370
Caoutchouc naturel	25°	84	230	1 330
Élastomère silicone	25°	2 480	5 000	28 000

(D'après C. E. ROGERS).

TABLEAU IV.

Taux de perméabilité à la vapeur d'eau des principales matières plastiques. (90-95 p. cent d'humidité relative). g/m²/24 h/25 µ.

MATIÈRES PLASTIQUES	t° C	TAUX DE PERMÉABILITÉ
Chlorure de polyvinylidène (Saran)	39°	1,5-7
Polyéthylène (d = 0,960)	37°	4
Polyéthylène (d = 0,950)	38°	6,7
Polypropylène	38°	8,7
Polyéthylène (d = 0,940)	37°	14
Chlorhydrate de caoutchouc (Pliofilm)	37°	18-225
Polyéthylène (d = 0,920)	39°	28
Polytéréphtalate d'éthylène-glycol (Mylar)	39°	30
Polycarbonate	20°	31
Chlorure de polyvinyle	38°	32
Résine acétal	23°	47
Polyamide (Nylon 6)	38°	126
Polystyrène	39°	133
Polyamide (Nylon 6)	39°	225
Caoutchouc naturel	39°	390
Alcool polyvinyle	40°	400-2 000
Acétate de cellulose plastifié	39°	1 400
Élastomère silicone	25°	3 000

(D'après C. E. ROGERS).

blèmes d'emballage alimentaire qui peuvent être résolus, aujourd'hui, par un choix judicieux de conditionnements plastiques apportant la perméabilité ou l'imperméabilité recherchées.

A. CONDITIONNEMENT DES FRUITS ET LÉGUMES FRAIS.

Rappelons que le polyéthylène a été choisi comme matériau d'emballage de fruits frais pour ses caractéristiques de perméabilité aux gaz qui sont intéressantes : il est, notamment, très perméable à l'éthylène et aux produits odorants dégagés par les fruits, tandis qu'il est susceptible d'entraver les échanges respiratoires et transpiratoires.

Ces propriétés ont, d'ailleurs, été mises à profit dans un cadre plus général que celui du conditionnement proprement dit et il convient, à cet égard, de mentionner les très intéressants travaux de ULRICH, MARCELLIN et LEBLOND relatifs aux essais de conservation des fruits en atmosphère contrôlée dans des enceintes limitées par des films de matière plastique. D'après ces auteurs, la conservation des fruits en atmosphère contrôlée, par l'emploi de caissons à parois sélectivement perméables aux gaz, offre de nombreux avantages, celui, notamment, de réaliser une économie de froid importante puisqu'il suffit d'un simple rafraîchissement artificiel des locaux (entre 7° et 12° C) pour obtenir la conservation recherchée.

Plus récemment (1964), les films d'élastomère de silicone, dont on connaît la très grande perméabilité sélective (voir tableaux III et IV) ont avantageusement remplacé les films de polyéthylène, en permettant de construire des *échangeurs* de faible surface et, par conséquent, de faible encombrement. On peut ainsi obtenir et maintenir des atmosphères à 2,5 p. cent d'oxygène et 5 p. cent de gaz carbonique, atmosphères propices à la conservation de fruits frais (pommes et poires).

PERMÉABILITÉ AU RAYONNEMENT ULTRAVIOLET

Il semble qu'on puisse noter qu'à part les dérivés cellulosiques et, surtout, le polyéthylène, les matières plastiques sont assez peu perméables au rayonnement ultraviolet ; au-dessous de 2 800 Å (U. V. court), l'absorption du rayonnement est presque totale sous une épaisseur de 2 mm. Mais, dans l'ensemble, les matières plastiques sont plus perméables que les

B. PRÉEMBALLAGE DE LA VIANDE.

Le problème est déjà plus complexe car il faut trouver une matière plastique présentant simultanément :

- une perméabilité à l'oxygène suffisante pour obtenir la formation d'oxymyoglobine, sans atteindre, toutefois, le stade de la metmyoglobine ;
- une perméabilité au gaz carbonique se dégageant après l'abattage de la viande ;
- une imperméabilité à la vapeur d'eau qui évite la déshydratation de la viande.

a) Le premier film retenu a été la pellicule cellulosique, type cellophane, dite imperméabilisée. Ce film est suffisamment perméable à l'oxygène pour assurer, *durant les deux premiers jours de conservation à 0° + 2° C*, les conditions d'oxygénation favorables à la stabilité de l'oxymyoglobine, donc au maintien de la couleur rouge vif recherchée pour les viandes.

Mais, après un délai de deux jours, des phénomènes de brunissement prennent naissance, liés avant tout à l'accentuation progressive de la déshydratation de la viande. Il convient alors d'utiliser, pour une conservation au-delà des deux jours — et toujours à la température voisine de 0° C — *un conditionnement très peu perméable à la vapeur d'eau*, un complexe pellicule cellulosique-polyéthylène qui assure la conservation de la viande fraîche pendant quatre à cinq jours, permettant ainsi les opérations de transport et de stockage éventuel dans de bonnes conditions.

b) On utilise plus volontiers, aujourd'hui, un film de polyéthylène irradié qui possède l'ensemble des qualités précitées pour la conservation de la viande pendant 4 jours, à la température de 0° + 2° C. Son imperméabilité à la vapeur d'eau empêche la déshydratation de la viande et sa perméabilité à l'oxygène et au gaz carbonique est suffisante pour permettre l'évacuation du gaz carbonique et maintenir la couleur rouge vif de la viande. Enfin, sa rétractilité empêche la formation de poches ou de plis et permet d'obtenir des cadences élevées de préemballage.

verres courants (verres silico-calco-sodiques ou potassiques) qui absorbent totalement le rayonnement U. V. dès la longueur d'onde de 3 500 Å sous une épaisseur de 2 à 3 mm.

Parmi les hauts polymères les plus perméables aux rayons ultraviolets, il faut citer :

- le polyéthylène ;

— le polyméthacrylate de méthyle (transmission de 75 % sous 6,35 mm à 3 650 Å) ;

— les dérivés cellulosiques : acétobutyrate de cellulose (transmission de 70 p. cent sous 1,02 mm à 3 650 Å), acétate de cellulose (transmission de 65 p. cent sous 1,52 mm à 3 650 Å), éthylcellulose (transmission de 45 p. cent sous 0,76 mm à 3 650 Å).

Le chlorure de polyvinyle non plastifié, le chlorure de polyvinylidène et les polyesters stratifiés sont, au contraire, les plus imperméables.

Le tableau V indique les pourcentages de transmission relatifs à deux raies importantes :

- 2 537 Å, rayonnement germicide ;
- 3 650 Å, rayonnement favorable à l'oxydation des corps gras, l'épaisseur des films étant de 0,8 mm.

TABLEAU V.

NATURE DU FILM	U. V.		I. R. %
	2 537 Å	3 650 Å	
Cellophane non imperméabilisée.....	20	75-80	90-95
Cellophane imperméabilisée...	10 à 20	75-80	
Polyéthylène.....	70	85	90
Chlorhydrate de caoutchouc (Pliofilm).....	20	40-60	70-85
Chlorure de polyvinyle non plastifié.....	0	30	50-65
Chlorure de polyvinylidène...	0	60	80-95
Polytéraphthalate d'éthylène-glycol.....	0	25	85

(D'après P. DUBOIS).

PERMÉABILITÉ AUX BACTÉRIES ET AUX VIRUS

Le passage éventuel des bactéries et virus à travers une membrane plastique ne relève pas d'un processus physico-chimique comme celui des molécules d'eau et de gaz, et il est à prévoir que la dite membrane constituera une barrière aux micro-organismes ; les dimensions respectives des uns et des autres ne sont, d'ailleurs, pas les mêmes ; elles sont de l'ordre de l'angström pour les molécules d'eau et de gaz, alors que les micro-organismes ont une taille de l'ordre du micron ou, à la rigueur, de plusieurs centaines d'angströms (lorsqu'il s'agit de virus très petits).

Les nombreux essais effectués, notamment, sur les ampoules en polyéthylène et en chlorure de polyvinyle plastifié (d'un dixième de millimètre d'épaisseur) destinées au conditionnement de préparations pharmaceutiques injectables, ont confirmé le caractère d'imperméabilité de ces récipients à l'égard des bactéries et des virus.

Dans le domaine alimentaire, il convient de citer les expériences faites aux U. S. A. par L. J. RONSVALLI et coll. (1966), qui ont pratiqué des essais sur

des poches plastiques thermosoudées (*) (destinées au conditionnement de filets de poisson stérilisés par irradiation), de 25 μ en moyenne d'épaisseur, renfermant un milieu de culture pour bactéries et plongées dans un liquide aseptique. Les auteurs concluent que les matières plastiques employées, dans les conditions expérimentales précitées, ne sont pas perméables aux bactéries, du moins sous une épaisseur égale ou supérieure à 1/2 mil (12 μ).

Signalons, enfin, que des études d'imperméabilité aux virus sont actuellement en cours, en France, dont les résultats confirmeront — nous en avons l'espoir — ceux déjà obtenus dans les expériences que nous venons de citer.

Cette conclusion de l'imperméabilité de la matière plastique s'applique aux conditions normales d'emploi et exclut, bien entendu, les cas où la matière plastique est violemment traumatisée (par écrasement, etc.) ou se trouve sous une épaisseur extrêmement faible (présence de micropores).

CONCLUSION GÉNÉRALE

Telles sont, brièvement exposées, les données les plus récentes sur le caractère de perméabilité aux agents physiques, chimiques et microbiens des matières plastiques, qui permet de différencier celles-ci des matériaux traditionnels de l'emballage et, notamment, du verre et des métaux.

Tout en présentant une gamme extrêmement variée de perméabilités aux gaz et aux vapeurs, les

(*) Les matières plastiques utilisées étaient le nylon 6, le nylon 11, le polyéthylène revêtu ou non de polyester, le saran revêtu de nylon 11, le polypropylène.

matières plastiques constituent une barrière efficace contre les micro-organismes. L'application la plus importante concerne, sans aucun doute, le condi-

tionnement alimentaire qui, depuis l'avènement de ces nouveaux matériaux, ne cesse de se modifier et de se développer.

PRINCIPALES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARRER (R. M.) and SKIRROW (G.). — Transport and equilibrium phenomena in gas-elastomer systems, Part I : Kinetic phenomena (*J. Polym. Sci.*, vol. 3, p. 549-563, 1948).
- BARRER (R. M.) and SKIRROW (G.). — Transport and equilibrium phenomena in gas-elastomer systems, Part II : Equilibrium phenomena (*J. Polym. Sci.*, vol. 3, p. 564-575, 1948).
- BRUBAKER (D. W.) and KAMMERMEYER (K.). — Flow of gases through plastic membranes (*Ind. Eng. Chem.*, vol. 45, p. 1148-1152, 1953).
- DUBOIS (P.). — Plastiques modernes. Tome II : Plasturgie, 1 vol., Masson et C^{ie} éd., Paris, 1963.
- FABRE (G.). — La perméabilité des plastiques (*Ind. Plast. Mod.*, vol. 7, n° 4, p. 33, avril 1955).
- FABRE (G.). — La perméabilité des plastiques (*Ind. Plast. mod.*, vol. 7, n° 5, p. 41, mai 1955).
- FABRE (G.). — La perméabilité des plastiques (*Ind. Plast. mod.*, vol. 7, n° 6, p. 35, juin 1955).
- LEFAUX (R.). — Perméabilité aux gaz et aux vapeurs des emballages en matière plastique (*Bull. Soc. scient. Hyg. alim.*, vol. 54, n° 7, 8, 9, p. 213-225, 1966).
- LEFAUX (R.). — Emballages et Conditionnements d'aujourd'hui, 1 vol., C^{ie} franç. éd., Paris, 1967.
- MARCELLIN (P.), LETEINTURIER (J.) et LEBLOND (C.). — Application des membranes de caoutchouc de silicone à la conservation des fruits en atmosphère contrôlée (8^e Coll. intern. Plast. agric., Paris, 8-9 mars 1965).
- MARCELLIN (P.) et LETEINTURIER (J.). — L'emploi des films de matière plastique comme adjuvant du froid dans la conservation des fruits et légumes (9^e Coll. intern. Plast. agric., Montpellier, avril 1966).
- ROGERS (C. E.). — Permeability and Chemical Resistance (in *Engineering Design for Plastics*, E. Baer, Ed. Reinhold, New York, 1964, p. 609-688).
- RONSVALLI (L. J.), BERNSTEINS (J. B.) and TINKER (B. L.). — Method for determining the bacterial permeability of plastic films (*Food Technol.*, p. 98-99, aug. 1966).
- ULRICH (R.). — Principes et modalités pratiques de la conservation des fruits par réfrigération (*Ind. Alim. Agr.*, n° 5, p. 403-412, mai 1965).
- VAN AMERONGEN (G. J.). — Influence of structure of elastomers on their permeability to gases (*J. Polym. Sci.*, vol. 5, p. 307-332, 1950).



Vient de paraître :

MALADIES FONGIQUES DES BANANES EN ENTREPÔT

par **E. LAVILLE**

(I. F. A. C.)

Le diagnostic des maladies et carences exige *une connaissance exhaustive des divers aspects* sous lesquels une même affection peut se présenter. En ce domaine, la photographie en couleurs est seule capable de suppléer dans une certaine mesure à l'information visuelle directe. Malheureusement, le coût élevé des reproductions ne permet pas à FRUITS d'en faire bénéficier ses lecteurs avec la fréquence souhaitable. Aussi l'I. F. A. C. a décidé l'utilisation d'un procédé de diffusion mieux adapté.

Une formule d'édition nouvelle offrant simultanément au lecteur sous un même boîtier cartonné de format 13 × 18 cm :

— un livret (texte de présentation) comprenant un répertoire des principaux champignons parasites des bananes et de leurs effets sur les différents organes du régime ;

— une série de 30 diapositives en couleurs groupées 6 par 6 sous jaquette plastique transparente avec légendes, utilisables avec tous les projecteurs ou visionneuses usuels.

Prix de publication : **50 F** (l'album est désormais au prix de publication).

Adresser les commandes à :

Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer (Service des publications)

6, rue du Général-Clergerie, Paris 16^e, France