REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES



Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de **Master**

En chimie

Spécialité : Chimie macromoléculaire

Par :

HELALI Amel
GUEDDAHI Sameh

Thème :

Facteurs déterminant la qualité du film tri-couche de conditionnement : pochette de lait

Soutenu publiquement le :15 /09 /2019, Devant le jury composé de :

GASMI Sara Nawel	MCB	Université de Médéa	Présidente
KIRDI Rachida	MAB	Université de Médéa	Examinatrice
DEBOUCHA Saïd	PDG	Soexplast	Invité
EULDJI Amel	MAB	Université de Médéa	Encadreur

Année universitaire : 2018/2019

العوامل المحددة لجودة غشاء التغليف ثلاثي الطبقات: حالة كيس الحليب

ملخص

يكرس هذا البحث لاستخراج العوامل التي تحدد جودة غشاء التغليف ثلاثي الطبقات لكيس الحليب بناءً على تشكيل خمس تركيبات من خلال عملية "البثق-النسف" ولمقارنة جودتها استنادًا إلى مستوى الصبغة ، مستوى LDPE / LLDPE وطبيعة الخطي المستخدم (LLDPE، mPE). لا يمكن لأطياف FTIR التمييز بين الأنواع المختلفة من البوليمرات داخل نفس الأسرة ، ولكن القمم تعكس أننا في حالة PE ، تم إثبات إضافة الصبغة من خلال ظهور شريط مميز على الترددات المنخفضة. يُظهر اختبار التعتيم أنه كلما زاد مستوى الصبغة ، قل انتقال الضوء ، لكن له تأثير سلبي على الخواص الميكانيكية ويعد أكثر تكلفة. تظهر اختبارات مقاومة الطباعة واختبار السمك ومعامل الاحتكاك أنها تحترم المعايير. بالنسبة لاختبارات الشد والتمزق ، يتم تحسين التأثير في حالة وجود نسبة عالية من LDPE ، في حين أن المقارنة بين طبيعة الخطي تُظهر تحسناً للاختبارات المستعرضة، وتناقصًا في الاختبارات الطولية في حالة mPE.

كلمات مفتاحية : غشاء، تغليف ، بثق ، عامل ، جودة ، بولي إيثيلين ، تركيبة.

Facteurs déterminant la qualité du film tri-couche de conditionnement : pochette de lait

RESUME

Ce travail de recherche est consacré à extraire les facteurs déterminant la qualité du film tri-couche de conditionnement pochette de lait en se basant sur la mise en forme de cinq formulations par le procédé « extrusion gonflage » et comparer leur qualité en se basant sur le taux de colorant, le taux LDPE/LLDPE et la nature du linéaire utilisé (LLDPE, mPE). Les spectres FTIR ne peuvent pas différencier les différents types de polymère au sein d'une famille, mais les pics reflètent bien qu'on est dans le cas d'un PE, l'ajout du colorant a été prouvé par l'apparition d'une bande caractéristique situant aux basses fréquences. Le test d'opacité montre que plus on augmente le taux de colorant, plus la transmission de la lumière diminue, mais cela agit négativement sur les propriétés mécaniques, et coûte plus cher. La résistance à l'impression, le test d'épaisseur et le coefficient de frottement montrent bien qu'on est dans les normes. Pour les tests de traction et la déchirure, l'effet est amélioré dans le cas d'un pourcentage important en LDPE, alors que la comparaison entre la nature du linéaire montre une amélioration pour les essais transversaux, et une diminution pour les essais longitudinaux, dans le cas du mPE.

Mots clés : Film, Conditionnement, Extrusion, Facteur, Qualité, Polyéthylène, Formulation.

Factors determining the quality of the three-layer packaging film: milk pouch

ABSTRACT

This research is devoted to extracting the factors determining the quality of the three-layer milk pouch packaging film based on forming of five formulations by the " blowing-extrusion " process and to compare their quality based on the dye level, the LDPE / LLDPE level and the nature of the linear used (LLDPE, mPE). FTIR spectra can not differentiate different types of polymer within a family, but the peaks reflect that we are in the case of a PE, the addition of dye has been proven by the appearance of a characteristic band at low frequencies. The opacity test shows that more the dye level increases, the transmission of light decreases, but it has a negative effect on the mechanical properties and is more expensive. The resistance to printing, the thickness test and the coefficient of friction show that we are in the norms. For tensile tests and tearing, the effect is improved in the case of a large percentage of LDPE, whereas the comparison between the nature of the linear shows an improvement for the transverse tests, and a decrease for the longitudinal tests, in the case of mPE.

Key words: Film, Packaging, Extrusion, Factor, Quality, Polyethylene, Formulation.

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier, le bon DIEU, pour nous avoir donné le courage et la détermination nécessaire pour finaliser ce travail de recherche qui compte tant pour notre avenir intellectuel et professionnel.

Nous tenons tout particulièrement à adresser nos vifs remerciements à notre directrice de thèse, Madame EULDJI Amel, pour nous avoir proposé ce sujet de recherche et surtout pour ses orientations et ses remarques fructueuses. Qu'elle trouve ici l'expression de notre profond respect.

C'est avec une certaine sincérité que nous voudrions remercier le Directeur Général de la filiale Soexplast du groupe ENPC, Monsieur DEBOUCHA Saïd, qui nous a accueilli au sein de sa société, ainsi qu'à l'ensemble d'équipe, spécialement Monsieur BENGHARBIA Aboubakr, Directeur de l'exploitation et Madame KERROUCHE Hafidha, la responsable technique de la société, qui ont sacrifié de leurs temps pour nous suivre, et pour tout ce qu'ils nous ont appris sur le domaine des films extrudés. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre sincère reconnaissance.

Nous sommes très sensibles à l'honneur que nous a fait Madame GASMI Sara, docteur à l'université de Médéa, pour l'intérêt qu'elle a accordé à ce travail en acceptant de présider le jury.

Nos remerciements s'adressent également à Monsieur DEBOUCHA Saïd, et à Madame KIRDI Rachida, docteur à l'université de Médéa, pour nous avoir honoré de leur présence en acceptant de juger ce travail. Leurs critiques et suggestions seront certainement constructives.

Nous tenons aussi à remercier vivement le Directeur général du CNTC (Boumerdes), Monsieur AMAZIANE Ali Kamel, ainsi qu'à Madame BOUCHATAR Amina, la responsable technique du laboratoire des analyses des plastiques et Madame Amel, la technicienne du laboratoire, pour leur aide quant aux analyses faites de nos échantillons élaborés.

Nos remerciements s'adressent aussi aux membres de la filiale Sofiplast (Sétif), et spécialement à Madame FERDI Maleya, Chef de département technique de la filiale, pour les analyses faites et leurs orientations et documentations gracieusement fournis.

Ce serait manquer à un devoir très important que de ne pas remercier Monsieur le directeur du hall technologique, Monsieur CHIBA Younes, pour son agréable accueil, ainsi qu'à Madame BENHAOUA Meriem, la responsable des analyses chimiques du hall, pour les analyses FTIR de nos échantillons.

Et à la fin, nous remercions toutes les personnes qui nous ont soutenu, de près ou de loin, tout au long de notre cursus.

DEDICACES



Je dédie ce travail de recherche ;

A mon père, qui a fait de son mieux pour atteindre ce niveau ;

A ma mère qui a consacré tout ce qu'elle possède pour ma réussite ;

A mon fiancé Boualem et toute sa famille ;

A mes chères sœur Lalia et Amina et leurs époux Hassane et Mohammed, ma chère Fadhila et à mes frères Mohammed et Fethi ;

Mes petits Malek, Salsabil et Abed El Djalil ;

A mes amis qui ont passé de belles années avec moi à l'université spécialement :

BOUKHATEME, TALBI, BAKOUR, HAZEDJ, GUETTAF et HAMMAME.



DEDICACES



Je dédie ma remise de diplôme et toute ma joie à ceux qui ont récolté les épines de mon chemin pour m'ouvrir la voie de la science

" Ma Mère et Mon Père "

À mon mari et partenaire de ma vie Mourad

À mes sœurs Kawthar, Wedad, Sondos, Radhia et mon cher frère Mohamed

Et à ma fille nouveau-née Dhikra

Je remercie particulièrement mon encadreur, Euldji Amel, qui était un symbole de don et de sacrifice.



LISTE DES ABREVIATIONS

A	Surface
AA	Acide acrylique
ACR	Advanced Ceramics Research
ASTM	American Society for Testing and Materials
ATR	Réflectance totale atténuée
BOPET	biaxially-oriented polyethylene terephthalate
CNTC	Centre National de Technologies et de Consulting
CPG	Produits de grande consommation
DIN	Deutsches Institut für Normung
DPM	Distribution de poids moléculaire
Dyn	Unité de force du système CGS
EA	Acrylate d'éthyle
EAA	Acide d'éthylène acrylique
EMAA	Acide éthylène méthacrylique
ENPC	Entreprise nationale des Plastiques & Caoutchoucs
EVA	Ethylène acétate de vinyle
EVOH	Ethylène alcool vinylique
F	La force
FDA	Food and Drug Administration
FINA	Research center locater in Feluy (Belgium)
FOA	Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agricole
FTIR	Spectroscopie infrarouge a transformé de fourier
GPC	Groupements des produits de consommation courante

GLOSSAIRE

GRV	Grand Réservoir Vrac
HDPE	Polyéthylène haute densité
HMW-HDEP	High Molecular Weight- High Density Polyethylene
HMW-HDPE	HDPE à Poids moléculaire élevé
ICI	Imperial Chemical Industries
ISO	Organisation internationale de normalisation
L	Longueur
LCB	Long-chain branching
LDPE	Polyéthylène basse densité
LLDPE	Polyéthylène linéaire basse densité
MA	Acrylate de méthyle
MD/TD	Machine direction vs transverse direction
MDPE	Polyéthylène à densité moyenne
MDPE	Polyéthylène à densité moyenne
mPE	Polyéthylène métallocène
Mw	Molecular weight
MWD	Molecular weight dalton
OPET	Polyéthylène téréphtalate orienté
OPP	Polypropyléne orienté
P	Pression
PA	Polyamide
PA6	Polyamide 6
PE	Polyéthylène
PET	Polyethylene terephthalate

PIB	Produit Intérieur Brut
PP	Polypropylène
PVDC	Polychlorure de vinylidène
T	température
T_g	Température de transition vitreuse
Tie	Liaison
Tm	Température de fusion
TREF	Temperature Rising Elution Fractionation
ULDPE	Ultra low density polyethylene
VA	Acétate de vinyle
WVTR	Taux de transmission de la vapeur d'eau

NOMENCLATURES ET SYMBOLES

NOMENCLATURES

Echantillon 1	**Couche01 :** 64% LLDPE + 33% LDPE + 3% colorant
	Couche02 : 62% LLDPE + 33% LDPE + 5% colorant
	Couche03 : 65% LLDPE + 35% LDPE + 0% colorant
Echantillon 2	**Couche01 :** 65% LLDPE + 33% LDPE + 2% colorant
	Couche02 : 63% LLDPE + 33% LDPE + 4% colorant
	Couche03 : 65% LLDPE + 35% LDPE + 0% colorant
Echantillon 3	**Couche01 :** 63% LLDPE + 33% LDPE + 4% colorant
	Couche02 : 61% LLDPE + 33% LDPE + 6% colorant
	Couche03 : 65% LLDPE + 35% LDPE + 0% colorant
Echantillon 4	**Couche01 :** 64% mPE + 33% LDPE + 3% colorant
	Couche02 : 62% mPE + 33% LDPE + 5% colorant
	Couche03 : 65% mPE + 35% LDPE + 0% colorant
	Couche01 : 47% LLDPE + 50% LDPE + 3% colorant
Echantillon 5	**Couche02 :** 45% LLDPE + 50% LDPE + 5% colorant
	Couche03 : 50% LLDPE + 50% LDPE + 0% colorant

SYMBOLES

ε	Contrainte

σ	Déformation
℃	Degré Celcius

INDICES

g	Vitreux
m	Fusion

SOMMAIRE

Abstract/Résumés/ملخص

Remerciements

Dédicaces

Glossaire

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des schémas

Liste des annexes

INTRODUCTION GENERALE

1. Contexte de l'étude a

2. Objectifs du mémoire et organisation du manuscrit b

PARTIE 1 : ETAT DE L'ART

CHAPITRE I : EMBALLAGE FLEXIBLE

I.1. Introduction 2

1.2. Histoire de l'emballage 2

1.3. Avantages de l'emballage 5

1.4. Modes de consommation 10

1.5. Chaîne de valeur de l'emballage 13

1.6. Assemblage d'emballage : Avantage de plusieurs couches 16

1.7. Tendances de l'emballage dans le contexte d'une chaîne de valeur 20

1.8. Conclusion 22

CHAPITRE II. POLYETHYLENE

II.1. Introduction 23

II.2. Procédés de polymérisation de polyéthylène 23

II.3. La famille de polyéthylène 27

II.3.1. Polyéthylènes ramifiés 28

a. Polyéthylène à basse densité 28

b. Acétate d'éthylène vinyle (EVA) 29

c. Acide d'éthylène acrylique (EAA) 30

d. Ionomères 31

II.3.2. Polyéthylènes linéaires 33

a. Polyéthylène linéaire haute densité (HDPE) 34

b. Polyéthylène linéaire basse densité (LLDPE) 36

c. Polymères à métallocènes 37

II.4. Tendances de propriété dans la famille du polyéthylène 41

II.5. Conclusion 42

BIBLIOGRAPHIE DE LA PARTIE I 44

PARTIE 2 : PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE III. PROBLEMATIQUE ET MODE OPERATOIRE

III.1. Introduction 48

III.2. Produit élaboré et matériaux utilisés 48

III.2.1 Produit élaboré 48

III.2.2 Matériaux utilisés 50

a. Polyéthylène métallocène (mPE) 50

b. Polyéthylène basse densité radicalaire (LDPE) 51

c. Polyéthylène basse densité radicalaire linéaire (LLDPE) 51

d. Colorant à base de PE 52

III.3. Elaboration des échantillons 55

III.3.1. Le procédé de l'extrusion gonflage 55

III.3.2. Le mode opératoire du procédé 56

a. Emmagasination de la matière première 56

b. Formulation des différents échantillons 56

c. Alimentation et dosage de la matière première 57

d. Extrusion de la matière première 58

e. Gonflement de l'extrudât 59

f. Contrôle du film 60

g. Traitement corona 60

h. Enroulement et bobinage 60

i. Impression du film 61

III.4. Caractérisation des films 63

III.4.1. Identification des plastiques à l'aide de la spectrophotométrie IR 63

III.4.2. Transparence et opacité 65

III.4.3. Propriétés mécaniques des films 65

a. Propriétés de traction 65

b. Résistance à la déchirure 71

III.5. Conclusion 73

CHAPITRE IV. RESULTATS & DISCUSSION

IV.1. Introduction 74

IV.2. Interprétation des spectres FTIR 74

VI.3. Interprétation du test de l'opacité 75

IV.4. Interprétation des résultats des tests mécaniques 77

IV.4.1. Résistance de l'impression 77

IV.4.2. Epaisseur moyenne 78

IV.4.3. Coefficient de frottement 78

IV.4.4. Test de traction 79

IV.4.5. Test de résistance au déchirement 83

IV.5. Conclusion 83

BIBLIOGRAPHIE DE LA PARTIE II 84

CONCLUSION GENERALE

Conclusions de la thèse 86

ANNEXES 89

LISTE DES FIGURES

PARTIE 1 : ETAT DE L'ART

CHAPITRE I : EMBALLAGE FLEXIBLE

I.1	L'emballage et le marketing	6
I.2	L'emballage et le transport	7
I.3	L'emballage et l'affichage du contenu	7

CHAPITRE II. POLYETHYLENE

II.1	Réacteurs de polyéthylène : (a) Réacteur autoclave, (b) Réacteur tubulaire	24
II.2.	L'étape de propagation dans la polymérisation radicalaire	24
II.3	Branchement de chaîne dans le PE, illustrant comment les réactions de transfert de chaîne peuvent donner des ramifications à chaîne courte ou longue	24
II.4	L'effet de la surface du catalyseur sur la mise en forme ou la «personnalisation» de la molécule revêt une importance considérable	25
II.5	L'atome de titane est un élément clé pour faciliter la réaction de polymérisation.	25
II.6	Structure de l'éthylène-acétate de vinyle	29
II.7	Structure de l'acide éthylène acrylique	30
II.8	Structure d'un ionomère du type acrylate d'éthylène-sodium	31
II.9	Un catalyseur typique de Ziegler-Natta	33
II.10	Exemple d'un copolymère où le groupe pendant est un	36
II.11	Catalyseur à base de métallocène à site unique avec un co-catalyseur à base d'aluminoxane	37
II.12	Sites catalytiques de Ziegler-Natta (Remarque: la «ramification» découle de l'incorporation du comonomère, les groupes latéraux ne sont donc pas de véritables branches.)	38

II.13	Catalyseur au métallocéne ; site unique (remarque :la ramification découle de l'incorporation du comonomére ; les groupes latéraux ne sont donc pas de véritables branches)	39
II.14	Matiére extractibles a l'hexane ; aux densités indiques	40
II.15	Effet du changement de catalyseur sur les brumes dans les films	40
II.16	Catalyseur a géométrie contrainte	40

PARTIE 2 : PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE III. PROBLEMATIQUE ET MODE OPERATOIRE

III.1	(a) Colorant (b) LDPE (c) LLDPE (d) mPE	53
III.2.	Les silos d'emmagasination de la matière première	56
III.3.	Trémies et système de dosage	57
III.4.	Les zones de la vis	58
III.5.	Parties de l'extrudeuse (vis + fourreau)	58
III.6.	La bulle de gonflage	59
III.7.	Les auvents pincés	59
III.8.	Caméra contrôleur	60
III.9.	Traitement corona de la surface du film	60
III.10.	Enroulement du film	61
III.11.	Bobinage du film	61
III.12.	Schéma détaillé du processus d'extrusion gonflage	61
III.13.	Système de contrôle de l'impression	62
III.14.	Camera de contrôle de l'impression	62
III.15.	Machine de découpage	62
III.16.	Film impressionné prêt à l'usage	63
III.17.	Un exemple de courbe de charge-déformation	65
III.18.	Un exemple de courbe contrainte-déformation	66
III.19.	Courbe contrainte-déformation, lorsque la résistance à la traction est indiquée à la limite d'élasticité	68

III.20.	Courbe contrainte-déformation, lorsque la résistance à la traction est indiquée à la rupture	69
III.21.	Effet de la température sur la courbe contrainte-déformation	71
III.22.	Effet de la vitesse des tests sur la courbe contrainte-déformation	71
III.23.	Films élaborés	71
III.24.	Machine d'essais universelle	72
III.25.	Film élaboré	72

CHAPITRE IV. RESULTATS & DISCUSSION

IV.1	Spectres FTIR des échantillons 01, 04 et 05	74
IV.2.	Courbes contrainte-déformation longitudinale et transversale du 1er échantillon	80
IV.3.	Courbes contrainte-déformation longitudinale et transversale : (a) 2ème échantillon et (b) 3ème échantillon	80
IV.4.	Courbes contrainte-déformation longitudinale et transversale : (c) 4ème échantillon et (b) 5ème échantillon	81

LISTE DES TABLEAUX

PARTIE 1 : ETAT DE L'ART

CHAPITRE I : EMBALLAGE FLEXIBLE

I.1	Exemple de fonctionnalités de structure de conditionnement Flexibles a deux couches	17
I.2	Exemples de structures de conditionnement souples a trois couches	18
I.3	Exemples de structure de conditionnement souples a cinq couches	19
I.4	Exemples de structure comportant plus de cinq couches	20
I.5	Pilotes et tendances de l'emballage	21

CHAPITRE II. POLYETHYLENE

II.1.	Propriétés du LDPE	29
II.2.	Gamme de poids moléculaire du polyéthylène linéaire	34
II.3.	Propriétés du HDPE	35
II.4.	Effet de la densité sur la perméabilité a l'oxygène et a l'eau du polyéthylène	41
II.5.	Tendance des propriétés en polyéthylène	42

PARTIE 2 : PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE III. PROBLEMATIQUE ET MODE OPERATOIRE

III.1	Exigence technique et physique d'un film tri couche pochette de lait	49
III.2	Propriétés physico-mécaniques du « $DOWLEX^{TM}$ 2106GC LLDPE »	50
III.3	Propriétés physico-mécaniques du « Lupolen 2427 F »	51
III.4	Propriétés physico-mécaniques du « SABIC LLDPE 118WJ »	52
III.5	Propriétés physico-mécaniques du « POLYTEC BLANC PT 110470 »	52
III.6	Différents échantillon élaborés	56

LISTE DES TABLEAUX

III.7.	Fréquences infrarouges des composés chimiques et exemples de polymères les contenant	64
III.8.	Les matériaux peuvent être mous ou durs en fonction des propriétés de résistance à la traction	70

CHAPITRE IV. RESULTATS & DISCUSSION

IV.1	Bandes FTIR caractéristiques des échantillons	75
IV.2.	Translucidité de divers matériaux d'emballage du lait a la lumière fluorescente	76
IV.3.	Résistance de l'impression des cinq échantillons	77
IV.4.	Épaisseur moyenne des cinq échantillons	78
IV.5.	Coefficient de frottement des cinq échantillon	79
IV.6.	Valeurs critiques des tests de traction des cinq échantillons	81
IV.7.	Résistance a la déchirure des cinq échantillon	83

LISTE DES SCHEMAS

PARTIE 1 : ETAT DE L'ART

CHAPITRE I : EMBALLAGE FLEXIBLE

I.1 Jalons de l'historique de l'emballage. 3

I.2. Chaîne de valeur des emballages souples. 13

CHAPITRE II. POLYETHYLENE

II.1 La famille du polyéthylène 27

LISTE DES ANNEXES

01	Fiche technique d'un film pochette lait tri-couche fabriqué par la société SOEXPLAST	89
02	Exigence de la fiche technique de Giplait pour un film pochette lait tri-couche	91
03	A propos des différentes sociétés	92
04	Fiche technique du fournisseur de la matière $DOWLEX^{TM}$ 2106GC	95
05	Fiche technique du fournisseur de la matière Lupolen 2427F	98
06	Fiche technique du fournisseur de la matière SABIC LLDPE 118WJ	102
07	Fiche technique du fournisseur de la matière POLYTEC blanc PT 110470	104
08	Fiche de production de l'échantillon 01	105
09	Fiche de production de l'échantillon 02	106
10	Fiche de production de l'échantillon 03	107
11	Fiche de production de l'échantillon 04	108
12	Fiche de production de l'échantillon 05	109
13	Norme internationale ISO 527-3	110
14	Résultat des tests mécaniques de l'échantillon 01	114
15	Résultat des tests mécaniques de l'échantillon 02	115
16	Résultat des tests mécaniques de l'échantillon 03	116
17	Résultat des tests mécaniques de l'échantillon 04	117
18	Résultat des tests mécaniques de l'échantillon 05	118
19	Détermination des propriétés de traction et du coefficient de frottement de l'échantillon 01	119
20	Détermination des propriétés de traction et du coefficient de frottement de l'échantillon 02	123
21	Détermination des propriétés de traction et du coefficient de frottement de l'échantillon 03	127

LISTE DES ANNEXES

22	Détermination des propriétés de traction et du coefficient de frottement de l'échantillon 04	131
23	Détermination des propriétés de traction et du coefficient de frottement de l'échantillon 05	135

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le récent essor du secteur de la vente au détail a provoqué un changement radical dans la manière dont le lait est conditionné et distribué dans les centres urbains. L'augmentation de la consommation de lait et l'évolution des modes de vie ont amené le secteur laitier à se lancer dans des solutions d'emballage plus intelligentes, durables, économiques et recyclables, tout en consommant moins d'énergie et d'eau et en émettant moins de gaz à effet de serre. Dans l'idéal, dans une économie circulaire, il est important de garder à l'esprit les conséquences associées ainsi que la disponibilité de ressources alternatives.

Les emballages en plastique offrent des avantages en cascade à la chaîne de valeur sous la forme d'une durée de vie prolongée des aliments sans nécessiter de réfrigération ni de réduction des émissions liées au transport. L'utilisation d'emballages en plastique au lieu de cartons permet de réduire les coûts environnementaux à près de quatre fois moins que les solutions classiques.

La fonction principale d'un emballage est de protéger le produit, c'est à travers cette fonction que la société tire le meilleur avantage de la prévention du gaspillage alimentaire, permettant la réalisation d'économies d'échelle dans la production et la distribution de biens au monde entier. Les emballages souples sont parfaitement adaptés aux défis du marché et constituent la forme d'emballage qui connaît la croissance la plus rapide. La technologie des films multicouches induit cette croissance en permettant de combiner des couches spécialisées dotées de propriétés de résistance aux soudures, barrières ou aux abus afin de répondre aux exigences d'emballage de la manière la plus économique.

À cela s'ajoute la diversité des procédés de fabrication pouvant être utilisés pour assembler ces structures. Les tendances futures conduiront à une spécialisation accrue, ce qui souligne la nécessité d'une compréhension fondamentale de la technologie des emballages souples.

Le polyéthylène (PE) est le plastique le plus largement utilisé aujourd'hui dans les emballages souples. Il est apprécié pour sa barrière à l'eau, sa ténacité, sa scellabilité et sa transparence. Le polyéthylène avec son large spectre de propriétés physiques est utilisé dans une multitude d'applications. La clé de son adaptabilité réside dans sa morphologie semi-cristalline ajustable, qui peut être contrôlée en manipulant des variables moléculaires et de traitement. La ténacité, la dureté, la clarté et d'autres caractéristiques physiques peuvent être régulées en modifiant son poids moléculaire, son type de comonomère et sa teneur en comonomère. Des résines adaptées à la plupart des procédés de fabrication thermoplastiques du commerce peuvent être créées en contrôlant le poids moléculaire, la distribution du poids

moléculaire et les caractéristiques de ramification. Dans le monde, la consommation annuelle de polyéthylène dépasse 40 milliards de kilogramme, dont environ 35% sont utilisés aux États-Unis. Un polyéthylène haute densité, basse densité et linéaire basse densité remplit la grande majorité de cette demande, un copolymère d'éthylène-acétate de vinyle, un polyéthylène de très basse densité et des ionomères étant utilisés dans des quantités bien moindres.

Le but de ce travail de recherche est d'« extraire les facteurs déterminant la qualité d'un film tri-couche de conditionnement pochette de lait en se basant sur l'élaboration de plusieurs formulations, et en choisir la meilleure qui donne de bons résultats de caractérisation ».Ce travail est structuré en quatre chapitres dont :

CHAPITRE I : EMBALLAGE FLEXIBLE, qui rappelle l'apparition des emballages souples avec leurs caractéristiques avantageuses qui justifient leur utilisation qui s'accroit continuellement ces dernières décennies avec l'introduction de nouvelles technologies.

CHAPITRE II : POLYETHYLENE, consacré à l'étude des polymères à base de polyéthylène et leur large spectre de propriétés physiques qui est adapté dans une multitude d'applications, en manipulant des variables moléculaires et de traitement.

CHAPITRE III : PROBLEMATIQUE ET MODE OPERATOIRE, qui a pour objectif de présenter d'une part, les matériaux utilisés dans cette étude, la préparation des échantillons en utilisant l'extrusion gonflage, pour un film tri-couche d'un emballage : pochette de lait, en détaillant toutes les étapes de cette mise en forme, et les diverses techniques qui ont permis la caractérisation des films préparés.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION, qui est consacré à exposer les résultats obtenus des analyses faites de nos échantillons, et les discuter afin de répondre à la problématique composée. Des projections des notions cités dans les chapitres précédant vont être utiles afin de pouvoir enrichir les discussions.

PARTIE 1 :

ETAT DE L'ART

PARTIE 1 : ETAT DE L'ART

Cette partie rappelle les éléments indispensables à la compréhension et à l'étude du sujet. Un état de l'art sur les emballages souples à travers une synthèse bibliographique est présenté dans le chapitre I. Ce chapitre rappelle l'apparition de ces structures avec leurs caractéristiques avantageuses qui justifient leur utilisation qui s'accroit continuellement ces dernières décennies avec l'introduction de nouvelles technologies. L'emballage souple a reconnu quant à lui une diffusion plus rapide, grâce aux multiples caractéristiques qui le rend plus utile et efficace que l'emballage rigide, et surtout la structure stratifiée (multicouches) qui ne cesse de se développer afin de répondre aux exigences du marché en créant de nouvelles fonctionnalités concurrentielles.

Des éléments succincts mais indispensables sur les polyéthylènes sont rappelés dans le Chapitre II, et notamment ceux intéressant leur large spectre de propriétés physiques qui est adapté dans une multitude d'applications, en manipulant des variables moléculaires et de traitement. Dans ce chapitre, on s'attache à décrire le processus de polymérisation des polyéthylènes, leurs caractéristiques physiques qui peuvent être régulées en modifiant leur poids moléculaire, leurs type et teneur des comonomères, pour qu'elles soient adaptées à la plupart des procédés de fabrication thermoplastiques du commerce, en contrôlant le poids moléculaire, la distribution du poids moléculaire et les caractéristiques de ramification.

CHAPITRE I :

EMBALLAGE FLEXIBLE

CHAPITRE I : EMBALLAGE FLEXIBLE

I.1. Introduction

La fonction principale d'un emballage est de protéger le produit, c'est à travers cette fonction que la société tire le meilleur avantage de la prévention du gaspillage alimentaire, permettant la réalisation d'économies d'échelle dans la production et la distribution de biens au monde entier.

L'emballage a évolué pour répondre aux besoins changeants de la chaîne de valeur ; Par exemple, à l'époque moderne, l'emballage sert de plate-forme de communication fournissant des informations sur le contenu, des instructions et un message de marketing. Les emballages souples sont parfaitement adaptés aux défis du marché et constituent la forme d'emballage qui connaît la croissance la plus rapide. La technologie des films multicouches induit cette croissance en permettant de combiner des couches spécialisées dotées de propriétés de résistance aux soudures, barrières ou aux abus afin de répondre aux exigences d'emballage de la manière la plus économique. À cela s'ajoute la diversité des procédés de fabrication pouvant être utilisés pour assembler ces structures. Les tendances futures conduiront à une spécialisation accrue, ce qui souligne la nécessité d'une compréhension fondamentale de la technologie des emballages souples.

1.2. Histoire de l'emballage

Les premières sociétés de chasseurs-cueilleurs utilisaient probablement des peaux d'animaux et d'autres textiles pour transporter et stocker de la nourriture. Le développement de l'agriculture il y a au moins 10000 ans a coïncidé avec le développement d'autres formes d'emballage. L'agriculture a favorisé la croissance de sociétés plus larges, donc la nécessité de stocker de la nourriture. Les premiers greniers utilisaient probablement des paniers tissés à partir de diverses plantes. Les preuves les plus anciennes de tissage de paniers remontent à environ 10 000 à 12 000 ans, mais les artefacts antérieurs pourraient ne pas avoir survécu [1] (Schéma I.1).

Le polyéthylène (PE) est le plastique le plus largement utilisé aujourd'hui dans les emballages souples. Il est apprécié pour sa barrière à l'eau, sa ténacité, sa scellabilité et sa transparence. Hans von Pechmann a d'abord fabriqué du PE, bien qu'il l'ait fait accidentellement lors du chauffage de diazométhane dans un tube à essai en 1898. La substance cireuse blanche a été analysée par des collègues pour contenir de longues molécules qu'ils ont surnommée polyméthylène.

CHAPITRE I : EMBALLAGE FLEXIBLE

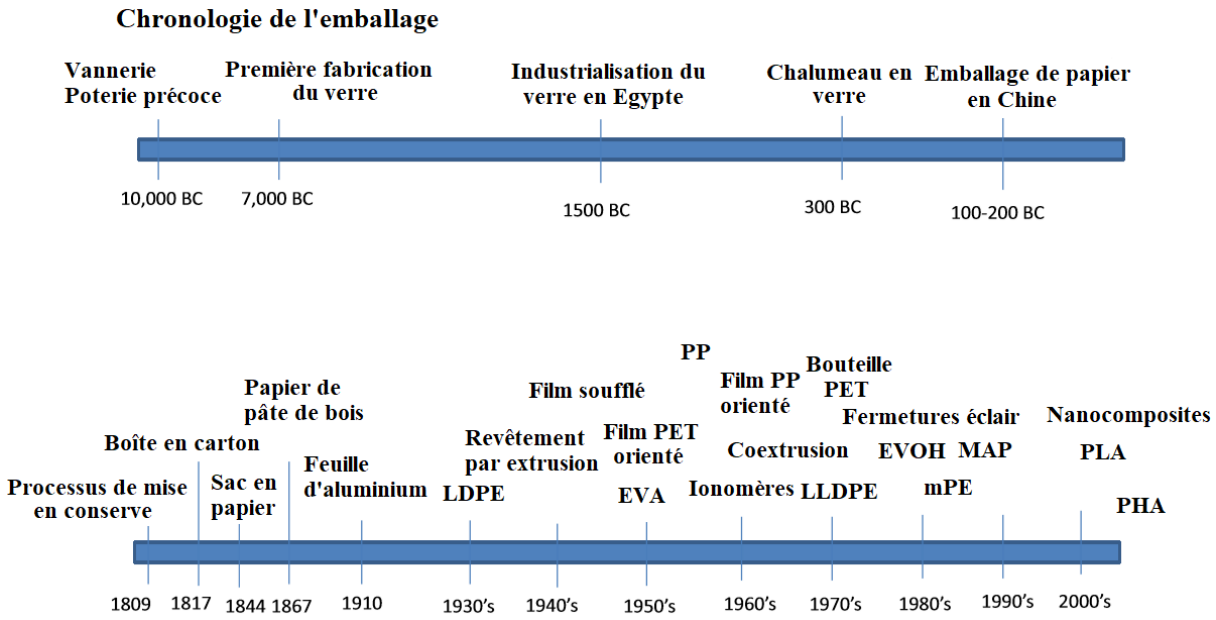


Schéma I.1 Jalons de l'historique de l'emballage.[2]

Dans les années 1930, ICI développa le procédé de polymérisation radicalaire à haute pression pour la fabrication de polyéthylène basse densité (LDPE). Commercialisé en 1939, le LDPE a été utilisé pendant la Seconde Guerre mondiale pour les radars et des câbles d'isolation. DuPont a collaboré avec ICI et la production aux États-Unis a commencé en 1943. Union Carbide et Dow Chemical produisaient également du LDPE dans les années 1950 [3].

Le polyéthylène linéaire basse densité (LLDPE) et le polyéthylène haute densité (HDPE) ont été mis au point dans les années 1950. La technologie implique l'utilisation d'un catalyseur et d'une chimie de coordination. Il existe trois chimies de base : le chrome généralement utilisé dans les procédés en suspension et en phase gazeuse, le Ziegler Natta dans les procédés en phase gazeuse et en solution et le métallocène dans tous les procédés. Le procédé au catalyseur au chrome a été mis au point chez Phillips Petroleum dans les années 1950 et introduit sous le nom de Marlex HDPE. Karl Ziegler (Allemagne) et Giulio Natta (Italie) ont mené leurs recherches dans les années 1950 et le LLDPE a été commercialisé dans les années 1970. Le métallocène PE a été découvert en Allemagne en 1976 par Walter Kaminsky et Hansjorg Sinn et développé par Dow et ExxonMobil dans les années 1980 [3].

Entre 1950 et 1990, d'autres matériaux utilisés dans les emballages ont été introduits : éthylène acétate de vinyle (EVA), copolymères d'éthylène et d'acide, ionomères, polypropylène (PP), polyamide 6 (PA6), éthylène alcool vinylique (EVOH), polychlorure de vinylidène (PVDC), polystyrène et résines liantes.

Au fur et à mesure de l'avancement des matières plastiques, les processus permettant de les transformer en emballages souples ont évolué. Le revêtement par extrusion en est un

exemple. À la suite de la Seconde Guerre mondiale, en 1946 et 1947, H.P. Smith a mis au point un procédé précoce de couchage du LDPE sur du papier. Le procédé actuel consistant à appliquer un film libre sur du papier a été mis au point à la même époque par DuPont, en collaboration avec Hartig Engine et Machine Co. DuPont a collaboré étroitement avec St. Regis Co., qui a été le premier à fabriquer des produits revêtus par extrusion sur une échelle commerciale. International Paper, Sealright et Egan ont également été les premiers à innover. En 1957, le premier carton de lait recouvert de LDPE était commercialisé. À partir de là, la technologie a évolué vers de nombreuses autres formes d'emballage [4].

Le procédé de soufflage de film s'est également développé avec l'avènement du LDPE. La demande de films d'emballage imperméables présentant une bonne ténacité à basse température a progressé dans les années 1940 et 1950, et le LDPE était le plastique qui répondait à ce besoin. La technologie permettant de fabriquer des films soufflés a évolué au cours de cette période, principalement par les producteurs de films qui fabriquaient leurs propres matrices et équipements auxiliaires. La société Visking serait la première société à développer l'extrusion de PE. La plupart des technologies restaient secrètes jusqu'à la fin des années 1950, lorsque les fournisseurs de résine ont commencé à acheter des producteurs de film et à ouvrir la technologie pour développer le marché de leurs résines [5].

Les procédés d'extrusion ont été utilisés pour la première fois au milieu des années 1800 pour fabriquer des feuilles de gutta-percha, de caoutchouc et de gomme laque. Des extrudeuses à vis d'aspect moderne sont apparues au milieu des années 1930 en Allemagne et aux États-Unis [6]. Au fur et à mesure que les matériaux ont été développés, il en a été de même pour les feuilles et d'autres procédés de filière plate, tels que le film coulé et le revêtement par extrusion.

La combinaison de matériaux dans un emballage souple multicouche est pratiquée depuis le début de l'ère de l'emballage moderne. Les revêtements sur du papier, tels que la cire ou l'argile, ont été utilisés très tôt pour fournir une résistance à l'humidité. Dans les années 1940, les adhésifs étaient utilisés pour coller les couches de scellant sur des substrats tels que le cellophane et le papier d'aluminium. La coextrusion, dans laquelle les couches sont combinées pendant le processus de fabrication du film, a été commercialisée dans les années 1960 pour l'extrusion à plat, suivie peu après pour le film soufflé [6,7].

Les machines d'emballage ont également évolué avec la disponibilité de nouveaux matériaux, allant des premières machines de fabrication de sacs à la fabrication de machines d'embouteillage. La machine de formage-scellage verticale a été brevetée par Walter Zwoyer en 1936 [9].

CHAPITRE I : EMBALLAGE FLEXIBLE

Les formes d'emballage ont évolué au fil des années avec une sophistication croissante. Les sacs en papier ont été introduits dans les années 1840 avec des sacs en papier collés avec goussets dans les années 1870. Les cartons en papier laminé avec du papier d'aluminium ont été introduits en 1921. Les cartons pour le lait enduits de cire sont apparus au début des années 1900 [10] et la version enduite de LDPE en 1957. Les emballages à barrière anti-atmosphère modifiés pour améliorer la durée de conservation des produits à base de viande ont été utilisés dans l'industrie dans les années 1970. Les fermetures à glissière ont été utilisées dans les années 50, mais pas de manière intensive dans les emballages souples avant les années 80. La pochette de stand-up a gagné une popularité dans les années 1990.

L'évolution constante de la technologie, qu'il s'agisse de la résine, du substrat, du processus ou de la forme de l'emballage, a été une constante dans la croissance dynamique des emballages souples multicouches au cours des 50 dernières années. Aujourd'hui, il existe une pléthore de matériaux d'emballage et de formes qui continuent d'évoluer à mesure que les besoins en emballage évoluent. Une ou deux couches étaient peut-être courantes il y a quelques années, mais cinq, sept et neuf couches sont maintenant la norme avec certaines structures d'emballages utilisant des centaines de couches. Il existe souvent plusieurs façons de résoudre un besoin d'un emballage en modifiant les couches ou le processus. Par exemple, un film barrière peut être fabriqué en stratifiant un substrat barrière tel qu'une feuille d'aluminium sur un film thermosoudable ou en co-extrudant une résine barrière tel qu'un copolymère d'éthylène alcool vinylique (EVOH) avec un agent d'étanchéité. Souvent, le choix dépend des besoins secondaires de l'application et des équipements dont dispose le convertisseur.

1.3. Avantages de l'emballage

La fonction de l'emballage est d'aider à la distribution de produits au profit de la société [11]. D'un point de vue technique, l'emballage protège le produit. Pour un produit alimentaire, cela signifie généralement qu'il empêche la détérioration ou prolonge la durée de conservation du produit avant que le consommateur ne l'utilise. La résistance à la barrière et aux abus sont deux considérations principales. La barrière peut impliquer la création de joints d'étanchéité hermétiques, le blocage de la lumière ou la faible perméabilité aux gaz tels que l'humidité et l'oxygène. Cela peut également inclure la prévention de la migration des composants alimentaires dans l'emballage ou de la migration des composants d'emballage dans les aliments. L'emballage peut aider à prévenir la croissance de microbes nuisibles en permettant la stérilisation après conditionnement au moyen de techniques telles que la stérilisation en cornue, la radiation ou la pasteurisation à haute pression.

CHAPITRE I : EMBALLAGE FLEXIBLE

L'abus d'emballage prend de nombreuses formes. L'emballage peut être soumis à une crevaison lente, telle qu'un produit pointu dans l'emballage, tel qu'un os ou une nouille. Des impacts à grande vitesse peuvent survenir pendant le remplissage, la manipulation et la distribution. Le stockage à froid ou à chaud peut être un facteur. L'emballage peut être soumis à une pression interne créée par des changements d'altitude pendant le transport. La capacité de résister à de tels abus doit être intégrée à l'emballage.

D'un point de vue marketing, l'emballage est une publicité (Figure I.1). C'est souvent le seul mécanisme dont dispose le propriétaire de la marque pour informer et séduire le consommateur. Des graphiques étincelants peuvent attirer l'attention du consommateur et lui indiquer pourquoi il doit acheter le produit. À cette fin, l'emballage doit souvent fournir une surface pour l'impression. La totalité ou des parties de l'emballage peuvent avoir besoin d'être transparentes pour que le consommateur puisse voir ce qu'il achète.



Figure I.1. L'emballage et le marketing

Du point de vue de l'exploitation, un emballage idéal a un facteur de forme efficace, facilitant le transport (Figue I.2). La forme de l'emballage influe sur le nombre d'emballages pouvant s'adapter sur une palette et sur un camion. Cela influence également ce qui peut être mis sur une étagère : pourra-t-il se dresser tout seul ou a-t-il besoin d'un piquet ? Peut-il être empilé sur un plateau ou plus d'un plateau ? De telles formes influencent les endroits où le produit peut être exposé dans le magasin.

CHAPITRE I : EMBALLAGE FLEXIBLE



Figure I.2. L'emballage et le transport

D'un point de vue juridique, l'emballage fournit un service en fournissant un support pour afficher le contenu (Figure I.3). Les lois sur les étiquettes dans de nombreux pays exigent de plus en plus d'espace sur l'emballage, dans la mesure où de nombreux produits pharmaceutiques ont des étiquettes qui s'ouvrent pour afficher toutes les informations requises. Les lois sur l'étiquetage peuvent nécessiter une liste d'ingrédients, le poids net, le dosage et divers avertissements. Le propriétaire de la marque peut également souhaiter inclure des informations de contact, des suggestions de recettes, etc.

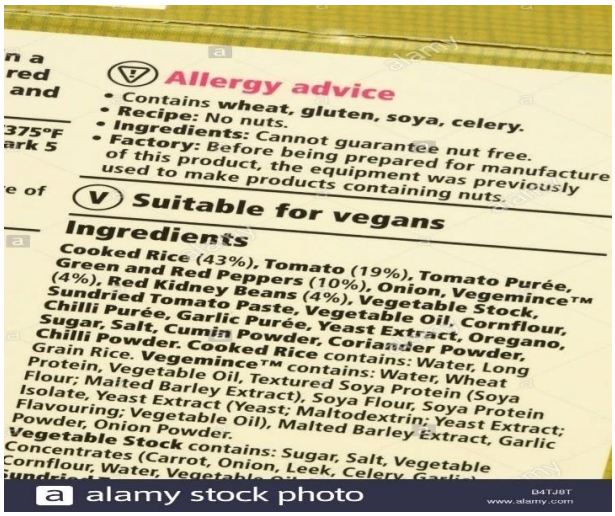


Figure I.3. L'emballage et l'affichage du contenu

Les avantages de l'emballage pour la société sont nombreux. Les emballages aident à réduire la faim dans le monde, stimulent le développement économique, permettent de prendre des mesures salvatrices dans le secteur de la santé et contribuent à la durabilité. L'ONU estime que la population mondiale atteindra 9 milliards d'habitants d'ici 2043 [12], soit 2 milliards de plus qu'en 2012. L'augmentation de la production alimentaire ainsi que la réduction des déchets seront essentielles pour nourrir le monde. L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation

et l'agriculture (FAO) estime qu'environ 1/3, voire 1,3 milliard de tonnes de nourriture sont gaspillées chaque année [13].Une étude de l'Institut de l'ingénierie mécanique [14] conclut que 30% à 50% des aliments sont gaspillés. La cause du gaspillage alimentaire diffère selon les pays. Une distribution et des infrastructures médiocres entraînent des pertes alimentaires substantielles dans les pays en développement. L'emballage peut jouer un rôle clé dans la conservation des aliments tout au long de la chaîne alimentaire, comme cela a été démontré dans les pays développés. Le transfert des meilleures pratiques vers les pays en développement contribuera dans une large mesure à réduire le risque de pénurie alimentaire future.

Dans les pays développés, plus de produits alimentaires sont à la portée du consommateur, où davantage est gaspillé. Cela est en partie dû aux achats excessifs du consommateur. L'emballage peut également jouer un rôle ici. Bien que les emballages à usage unique apparaissent comme un gaspillage, les emballages avec contrôle des portions peuvent en réalité être plus durables que les emballages en vrac s'ils permettent de réduire la quantité d'aliments non utilisés. Les progrès des technologies de barrière et des technologies refermables peuvent également prolonger la durée de vie au niveau des consommateurs, contribuant ainsi à réduire le gaspillage alimentaire.

L'emballage de ces dernières années a souvent été diabolisé dans le cadre du problème de la durabilité. Toutefois, si l'ensemble de la chaîne alimentaire est pris en compte, les emballages ne contribuent que peu au stress environnemental. Busser et al. [11] évalue l'impact des emballages sur plusieurs produits alimentaires. Ils constatent que l'impact de l'emballage est mineur comparé au produit. Par exemple, pour le café, la culture et le brassage représentent 82 à 99% de la consommation d'énergie non renouvelable et des émissions de gaz à effet de serre. L'emballage ne contribue qu'environ 1 à 5%, selon le type d'emballage. L'étude prend également en compte l'appauvrissement de la couche d'ozone, l'acidification et l'eutrophisation. Ces impacts ne sont pas non plus significativement affectés par l'emballage. Des conclusions similaires sont tirées pour les deux autres produits alimentaires considérés : les épinards congelés et le beurre. Pour les épinards congelés, le maintien du produit au froid tout au long de la distribution, et en particulier chez le consommateur, s'avère responsable de la majeure partie du stress environnemental. La production de beurre l'emporte sur d'autres facteurs, notamment l'emballage, pour son impact sur l'environnement. En effet, on peut en conclure que l'emballage empêche que le stress environnemental ne soit encore plus important en raison de la prévention de la détérioration et des dommages tout au long de la distribution et de l'utilisation.

CHAPITRE I : EMBALLAGE FLEXIBLE

Bien que les emballages puissent réduire l'impact environnemental du processus de distribution des aliments, il existe toujours des possibilités de réduire le stress environnemental par le choix des matériaux, l'optimisation des processus de conversion des emballages et la réduction des emballages. En effet, la tendance récente à réduire les emballages en remplaçant les emballages rigides, tels que les canettes d'acier ou les bocaux en verre, par des emballages souples est en partie due à cette dynamique (l'autre facteur est le coût économique). Un certain nombre d'études ont tenté de comparer un type de colis à un autre. Certains ont une réputation douteuse, parrainés par des groupes d'intérêts particuliers d'un côté ou de l'autre. Mais de manière intuitive, la réduction de la quantité de matière utilisée devrait réduire l'impact sur l'environnement. Une étude de Flexible Packaging Association[15] montre une réduction substantielle de la consommation d'énergie non renouvelable et des émissions de gaz à effet de serre lors du passage d'un emballage rigide ou même en papier à un emballage souple en plastique. Par exemple, le fait de passer de contenants de boisson en verre ou en métal à une pochette en plastique permet de réduire la consommation d'énergie de 50% et les émissions de gaz à effet de serre de 75%. Il ne fait aucun doute que cette étude est motivée par le renforcement du statut de ses membres, mais néanmoins, réduire la quantité de matière utilisée dans un colis revêt un sens inhérent, tant du point de vue financier qu'environnemental.

L'emballage offre également de nombreux avantages pour la santé et le bien-être de la société [16]. Les dispositifs médicaux emballés dans un emballage facile à ouvrir, inviolable et stérilisable garantissent que les instruments peuvent être utilisés en toute sécurité dans la salle d'opération. L'emballage permet aux produits pharmaceutiques d'atteindre des régions isolées du monde où il n'y a pas de stockage en froid ni de conditions sanitaires. Les opérations de secours d'urgence dépendent fortement des marchandises préemballées pour une livraison rapide dans les zones qui en ont besoin.

Ce n'est pas un hasard si l'utilisation de l'emballage s'est développée à l'ère de la production en série et du marchandisage [17]. D'énormes chaînes d'approvisionnement se sont développées, impliquant des pièces non finies ou des biens transportés d'un lieu à l'autre. Cela ne serait pas possible sans emballage. L'emballage a contribué à stimuler le développement économique en permettant aux consommateurs d'acheter en libre-service. Il a réduit les coûts de distribution, de promotion et de garantie de la qualité des produits et des services aux consommateurs. L'emballage a remplacé le vendeur dans de nombreux marchés en fournissant des informations sur l'étiquette. En éliminant les coûts de la chaîne logistique, le coût des produits vendus a diminué, rendant les produits plus abordables sur le marché de masse.

L'emballage a un impact négatif sur la société et l'environnement, surtout lorsqu'il n'est pas utilisé de manière responsable. Ceux-ci incluent les émissions de gaz à effet de serre pendant la production, la libération possible de toxines dans l'environnement, la cicatrisation de paysages provenant de mines (aluminium) ou de coupes à blanc (papier) et l'accumulation de plastiques dans nos océans [18]. Il est clair que davantage peut être fait pour réduire ces conséquences négatives, telles que le recyclage et une meilleure collecte des emballages usagés. Mais les avantages des emballages, en particulier des emballages souples, sont nombreux et l'emportent généralement sur les inconvénients.

1.4. Modes de consommation

Les emballages souples ont connu une croissance plus rapide que les autres formes d'emballage au cours des dernières décennies. Le principal facteur a été le coût. Les emballages souples utilisent généralement moins de matière sur une base pondérale que les autres formes d'emballage, ce qui entraîne une utilisation moindre de la matière et des économies de transport. Les emballages rigides ont toujours eu l'avantage de pouvoir être refermés (capuchons et couvercles) et de stérilisation à haute température, mais les emballages flexibles ont permis de combler l'écart avec l'introduction de nouvelles technologies.

La taille du marché des emballages souples dépend de la manière dont il est défini. La Flexible Packaging Association ainsi que PCI Films Consulting le définissent comme suit, qui est adopté ici:

Les emballages flexibles, comme le définit PCI Films Consulting, englobent la fabrication, la fourniture et la transformation de films plastiques et cellulosiques, de feuilles d'aluminium et de papiers utilisés séparément ou en combinaison, pour les emballages alimentaires destinés à la vente au détail; les applications d'emballage non alimentaire telles que la nourriture pour animaux domestiques, le suremballage de produits d'hygiène, les détergents ménagers, le tabac; et certains autres secteurs spécialisés dans les emballages non alimentaires, tels que les emballages médicaux et pharmaceutiques. La définition de PCI s'applique spécifiquement aux emballages souples flexibles fournis par un convertisseur (imprimés, laminés, coextrudés ou transformés en sacs et sachets). La valeur des emballages souples est mesurée au niveau de l'emballeur. Cette définition exclut spécifiquement les pellicules rétractables et étirables utilisées pour l'emballage secondaire et l'emballage de palettes, les sacs de transport, les sacs en libre-service et les comptoirs de supermarché, les sacs d'ensilage, les sacs à ordures, les GRV industriels et autres emballages industriels, etc.[19]

On peut trouver des estimations de la taille du marché dans divers rapports d'études de

marché [20-25] et organismes gouvernementaux tels que le recensement américain [25]. Celles-ci vont de 17 à 26 milliards de dollars aux États-Unis, soit environ 20% du marché global de l'emballage et la deuxième plus grande forme (après le carton ondulé). Des précautions doivent être prises lors de l'examen de ces rapports. Les différences entre les définitions de marché et les méthodologies utilisées pour obtenir les données peuvent donner des résultats très différents. Même pour la même source, il peut y avoir des divergences dans les données. Selon les estimations, la part du marché mondial des emballages souples va de 25% à 37% pour les Amériques, de 23% à 34% pour l'Europe et de 27% à 33% pour l'Asie [26-28]. Le taux de croissance globale en 2011 était d'environ 4-5%. Les projections tablent sur une croissance plus lente (mais toujours supérieure à la croissance du PIB) dans les régions développées et une croissance beaucoup plus rapide dans les pays en développement au cours des cinq prochaines années.

Les emballages alimentaires constituent la principale utilisation finale des emballages souples, mais les estimations varient considérablement entre 56% et 83% [27,29]. Les autres utilisations principales comprennent les emballages non alimentaires de détail, industriels, non alimentaires institutionnels, médicaux et pharmaceutiques.

Un certain nombre de tendances de la consommation entraînent des changements dans le secteur de l'emballage souple :

• Les principaux détaillants et propriétaires de marques continuent de promouvoir la durabilité, par la réduction, la réutilisation et le recyclage de la matière. Les emballages souples ont la réputation d'être plus difficiles à recycler que les formes d'emballage rigides. L'industrie doit continuer à réduire les déchets d'emballage et les emballages légers pour concurrencer les emballages rigides, légers et faciles à recycler [19].

• Les législations peuvent forcer l'adoption de matériaux à base de combustibles non fossiles [19], mais jusqu'à présent, les matériaux biosourcés restent trop coûteux pour être utilisés couramment. Les coûts plus élevés des matières premières et l'absence de propriétés de barrière élevées ont gardé aux produits biodégradables et compostables une niche [19].

• L'Europe envisage des mandats en vue d'une économie «circulaire» pour les emballages souples [30]. Cela signifie réutiliser, réparer, remettre à neuf et recycler les matériaux et produits existants de manière plus ciblée. Cela entraîne de nouvelles approches monomatérielles de l'emballage.

• La valorisation énergétique des déchets et la pyrolyse devraient progresser dans les années à venir pour aider à « recycler » les déchets d'emballage multicouches [31].

CHAPITRE I : EMBALLAGE FLEXIBLE

• Les emballages souples restent relativement à l'abri des récessions mondiales [19]. Les utilisations alimentaires dépassent les utilisations non alimentaires [32].

• Les coûts matériels représentent en moyenne 56% des ventes. Le bénéfice avant impôts pour les convertisseurs est de 4,4% [27].

• Une croissance plus forte est attendue dans les régions en développement que dans les pays développés. Le revenu personnel disponible global augmente et il s'accompagnera d'une augmentation des achats de produits emballés de toutes sortes [19]. Les marchés les plus dynamiques ont été la Chine et l'Inde, avec des taux de croissance de 12% et 22% par an en 2012, respectivement [19,33].

• Le commerce interrégional ne représente actuellement que 3,8% de la production et de la consommation mondiales, l'Europe de l'Ouest représentant près de 60% des exportations [33]. Une augmentation des exportations d'emballages souples ou de produits préemballés aux États-Unis en provenance du Mexique ou d'Asie est prévue [19].

• On s'attend à ce que les emballages à barrière élevée se développent : BOPET, PA, EVOH [26], barrière à l'humidité élevée et films métallisés [19]. De nouveaux films transparents à haute barrière arrivent sur le marché et vont faire concurrence aux films métallisés [31].

• Les sacs restent la plus grande forme d'emballage souple. Les emballages rigides continueront à être convertis en sachets à emballage vertical avec des gains pour les sachets plats et stérilisables [31,32].[1]

• Les emballages flexibles vont s'étendre à de nouveaux segments de marché, tels que les condiments visqueux (au-delà du ketchup) et les produits de santé et de beauté tels que les shampooings, les soupes, etc, en recherchant des emballages plus flexibles pour accentuer les identités de marque. Des options plus faciles à ouvrir et à refermer deviendront disponibles [31].

• Le nombre de couches en coextrusion continuera à augmenter [31]. Non seulement les 9 couches offrent une plus grande souplesse dans les combinaisons de matériaux que les lignes standard à 3 ou 5 couches, mais elles permettent également au convertisseur de contrôler plus précisément l'épaisseur des films à 5 couches conventionnels. Ceci est accompli en combinant des couches pour une seule couche épaisse. Un meilleur contrôle de la jauge de couche permet des gains de réduction et de durabilité.

[1]Freedonia. Description of converted flexible packaging to 2015;2013. Consulté le 18/06/2019, à partir de : http://www.freedoniagroup.com/ Converted-Flexible-Packaging.html.

1.5. Chaîne de valeur de l'emballage

La chaîne de valeur de l'emballage comprend un certain nombre d'acteurs, comme indiqué sur le schémaI.2 Ceux-ci incluent les éléments suivants :

- Fournisseurs de matériaux (résines, adhésifs, substrats).
- Convertisseurs film / feuille.
- Pelliculeuses et imprimantes.
- Fabricants d'équipements (transformation et conditionnement).
- Emballeurs (y compris les emballeurs sous contrat).
- Entreprises de biens de consommation courante.
- Grossistes, distributeurs.
- Détaillants (montée des marques de magasins).
- Consommateur.

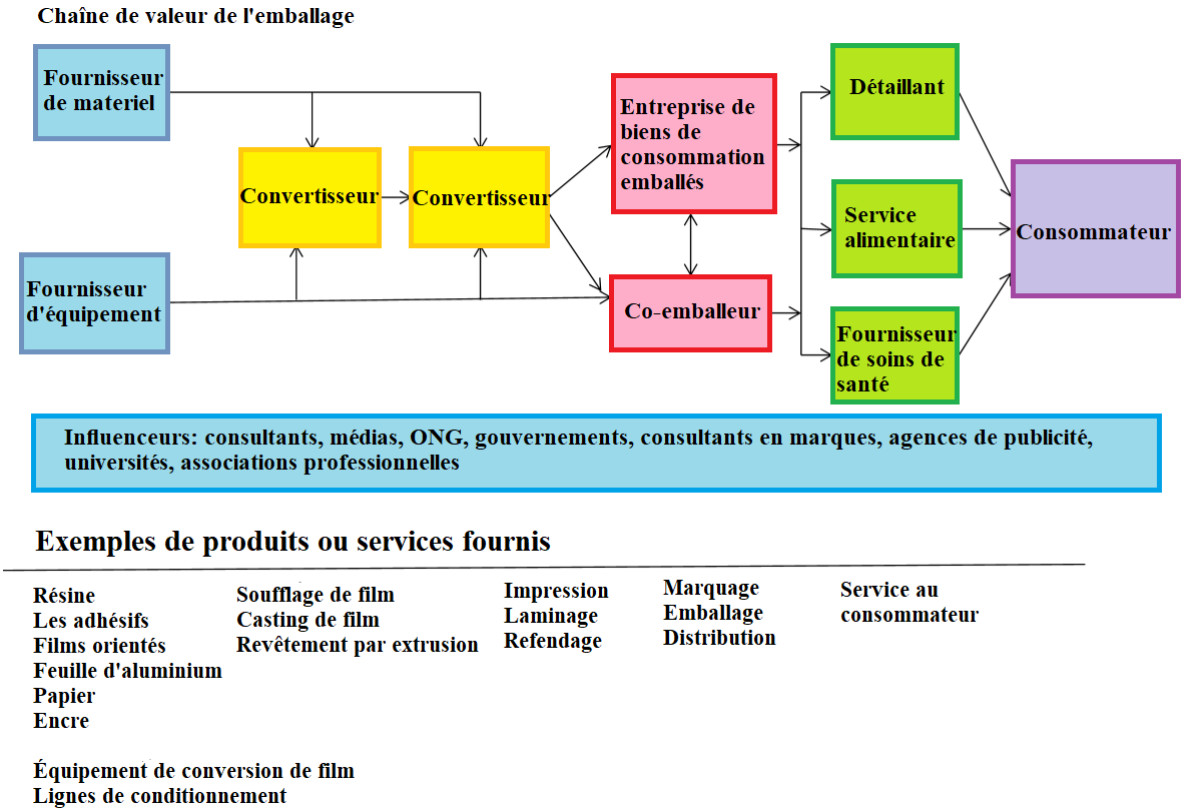


Schéma I.2 Chaîne de valeur des emballages souples.[2]

Les fournisseurs de matériaux fournissent les matières premières pour la fabrication de l'emballage. Ceux-ci comprennent les polymères utilisés par le convertisseur pour fabriquer des films, tels que le polyéthylène ; des adhésifs ; et des substrats, y compris le papier, les feuilles d'aluminium et les films polymères. Chacun des matériaux a sa propre chaîne de valeur. Par exemple, le producteur de résine utilise des monomères tels que l'éthylène pour fabriquer le

polymère. L'éthylène, quant à lui, est produit à partir de pétrole (procédés à base de naphta), de gaz naturel (procédés à base d'éthane) ou d'éthanol d'origine biologique. Néanmoins, une tendance sur le marché consiste à envisager l'utilisation de monomères issus de sources renouvelables pour la fabrication de polymères classiques à base d'huile. Braskem a construit une usine de fabrication de polyéthylène à partir d'éthylène dérivé de la canne à sucre. Coca-Cola a lancé des bouteilles en polyester partiellement dérivées de monomères biosourcés. Jusqu'à présent, les monomères biosourcés étaient plus chers que leurs homologues à base de combustibles fossiles.

La dynamique changeante de l'offre et du coût en éthane, en particulier aux États-Unis où de nouvelles sources de gaz naturel provenant de la nouvelle technologie d'extraction, a jusqu'ici fait pencher la balance du côté des polymères à base de combustibles fossiles. Des arguments similaires peuvent être lancés pour de nouveaux polymères dérivés de sources biologiques, tels que l'acide polylactique, les polymères à base d'amidon et les polyhydroxyalcananes. Les nouveaux polymères souffrent de la concurrence avec des polymères qui ont été mis au point pendant de nombreuses années pour atteindre la transformabilité et les propriétés souhaitées. Comme avec toute technologie perturbatrice, il faut parfois du temps avant que ces polymères acquièrent une traction suffisante pour être largement utilisés dans des emballages souples.

Les convertisseurs de film ou de feuilles transforment les résines en films monocouches ou multicouches. Les procédés courants pour les emballages flexibles comprennent les films soufflés et coulés et les revêtements par extrusion ou laminage. Chacun de ces procédés peut utiliser la technologie de coextrusion dans laquelle plusieurs couches sont combinées pour former une structure multicouche au cours de la fabrication du film. Des processus d'orientation tels que des bâtis d'espacement ou des doubles bulles peuvent également être utilisés.

Le pelliculage et l'impression du film sont souvent effectués par le transformateur qui réalise le film, mais peuvent être effectués séparément dans une autre usine ou entreprise. La stratification implique la combinaison de films ou de substrats en utilisant généralement un procédé de stratification par adhésif ou de plastification par extrusion. Dans la stratification adhésive, des adhésifs à base de solvant, à base d'eau ou sans solvant sont utilisés pour lier les substrats ensemble. La chaleur est appliquée après stratification pour sécher ou durcir l'adhésif.

Dans la stratification par extrusion, un polymère fondu est utilisé comme adhésif. Le refroidissement solidifie le polymère et verrouille les couches en place. La lamination thermique est un troisième processus moins pratiqué dans l'industrie de l'emballage. Un

exemple est la stratification thermique d'un film barrière sur un plateau monocouche pour améliorer les performances de barrière du plateau. Le film est amené par un déroulage secondaire juste après la fabrication de la feuille et est encore chaud. La chaleur résiduelle lie le film à la feuille lorsque la pression est appliquée.

Les fournisseurs d'équipement fournissent à l'industrie du matériel de fabrication, de laminage, de pelliculage, d'impression, d'enroulement et de déroulement. Les fournisseurs d'équipements d'emballage sont probablement les plus diversifiés compte tenu de la multitude de formes d'emballage actuellement disponibles sur le marché. Les exemples incluent les packs de bâton, les sachets pour oreillers, les sachets à fond plat, les boîtes de jus, les canettes composites, les sachets en boîte, les plateaux avec couvercles. Il existe de nombreuses manières d'emballer un produit et de produire un formulaire d'emballage donné.

Les emballeurs mettent le produit dans l'emballage, souvent sur des lignes de conditionnement à grande vitesse, le scellent et l'envoient pour distribution. À une certaine époque, le conditionneur était synonyme du propriétaire de la marque. Le propriétaire de la marque a fait ses propres emballages, souvent à plusieurs endroits, ce qui était logique pour la distribution locale. De plus en plus, des conditionneurs indépendants ou sous contrat se sont installés. Au début, ils ont géré le trop-plein des propriétaires de marques. Depuis, ils ont évolué pour fournir des services aux marques de distributeur ou même aux propriétaires de marques qui ont décidé de ne pas investir dans leurs propres lignes ou équipements.

Les entreprises des produits de consommation courante (CPG) ou les propriétaires de marques contrôlent le développement, la production, la distribution, le marketing et la stratégie de marque du produit. Les GPC peuvent avoir une portée locale, régionale, nationale ou internationale. Ils peuvent choisir de sous-traiter certaines de ces fonctions à des co-emballeurs ou à des sociétés de services marketing. De plus en plus, les détaillants ont créé leurs propres étiquettes « privées » qui font concurrence aux propriétaires de marques traditionnelles.

Une chaîne d'approvisionnement peut avoir des distributeurs ou des grossistes entre le GPC et le détaillant. Les distributeurs se chargent de fournir le produit au détaillant. Le détaillant est la société ayant un accès direct au consommateur. C'est ici que le consommateur vient acheter le produit. De plus en plus, le détaillant peut avoir une composante de son activité en ligne pour attirer les clients d'Internet. Certains détaillants peuvent être complètement basés sur Internet. Les détaillants contrôlent en dernier ressort les produits et les formes d'emballage qu'ils accepteront. Les grands détaillants, tels que Walmart, deviennent de plus en plus influents sur les choix d'emballage, notamment en créant leurs propres marques de distributeur.

Le consommateur est le client final des biens de consommation et de nombreux produits alimentaires. Les préférences des consommateurs et les décisions d'achat à la fin déterminent quels produits seront fabriqués et emballés.

Outre l'industrie des biens de consommation, les industries de la restauration et des soins de santé sont d'importants utilisateurs d'emballages souples. Les structures et les formes d'emballage pour les services de restauration ressemblent souvent à celles du commerce de détail, bien que la taille ou la forme de l'emballage puisse varier. En outre, l'étiquetage et les graphiques sont peut-être moins critiques pour le service alimentaire que pour la vente au détail. Les dispositifs médicaux, tels que les instruments chirurgicaux, sont emballés dans un emballage souple stérilisable. L'emballage sous blister est souvent utilisé pour les produits pharmaceutiques. D'autres industries, telles que l'électronique et l'automobile, utilisent des emballages souples lors des opérations de fabrication internes, au fur et à mesure que les pièces sont déplacées.

Tout au long de la chaîne de valeur, des influenceurs ont un impact sur les décisions en matière d'emballage. Ces influenceurs comprennent des consultants, des sociétés de conception d'emballages, des consultants en marques et en publicité, des co-emballeurs, des associations commerciales, des revues spécialisées et d'autres médias, des universités, des organismes non gouvernementaux et des pouvoirs publics (en particulier des régulateurs).[2]

1.6. Assemblage d'emballage : Avantage de plusieurs couches

La structure d'emballage la plus simple consiste en un seul matériau ou une seule couche. Il existe un certain nombre de formes d'emballage et d'applications où cela fonctionne bien, comme les bocaux en verre, les canettes métalliques (bien que les canettes soient généralement recouvertes d'époxy, de sorte que même les emballages à couche unique peuvent comporter plus d'une couche), les bouteilles de soda en polyéthylène téréphtalate (PET) et les sacs en polyéthylène (PE). Mais chacune d'elles a ses limitations qui l'empêchent d'être utilisée plus largement. Le bocal en verre est lourd et cassable, les canettes métalliques ne sont pas transparentes et ne peuvent donc pas montrer le produit, Les bouteilles en PET ne possèdent pas de barrière à l'oxygène suffisante pour de nombreux produits et conviennent mieux aux liquides, et les sacs PE ne sont pas dotés de barrière contre l'oxygène et peuvent être limités dans la qualité d'impression pouvant être appliquée. L'ajout d'une couche supplémentaire entraîne certaines fonctionnalités, souvent de manière à réduire le coût global (même après intégration du coût de traitement supplémentaire lié à la création d'une structure plus complexe) par rapport à ce qui serait nécessaire pour qu'une couche unique remplisse la même fonction.

Ou plus souvent, la structure multicouche permet à l'emballage de combiner des fonctions impossibles avec une seule couche.

De toute évidence, une structure à deux couches se compose d'une couche interne (côté produit) et d'une couche externe. Dans une structure de conditionnement souple à deux couches typiques, la couche interne fournit une capacité de scellement et la couche externe est résistante à l'abus, à la capacité d'impression ou à l'effet barrière. Quelques exemples sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau I.1. Exemples de fonctionnalités de structures de conditionnement flexibles à deux couches [2]

Fonction de la couche interne	Fonction de couche externe	Exemple de structure	Exemple d'application
- Scellement à basse température. - Facile à ouvrir.	- Rigidité. - Barrière d'humidité.	- (HDPE-EVA). - (HDPE-ionomer)	- Doublure de céréales ou de craquelins. (Bag in box)
- Scellage.	- Rigidité. - À bas prix	- Papier / LDPE	- Soupe sèche. - Sachets d'épices

Les couches de mastic d'étanchéité courantes comprennent l'EVA, le LDPE, le LLDPE, les plastomères de polyéthylène et les ionomères. Celles-ci offrent une scellabilité à basse température pour des vitesses rapides dans les lignes d'emballage. Ils peuvent également contribuer à la performance de l'effet barrière. Par exemple, les ionomères ont une résistance exceptionnelle à l'huile et à la graisse. Cependant, ils manquent souvent de la rigidité, de l'intégrité structurelle et de la résistance aux abus nécessaires à l'application. C'est le rôle de la couche extérieure, qui peut également apporter des fonctionnalités supplémentaires. Le PEHD offre une barrière contre l'humidité et est souvent utilisé pour emballer des aliments secs tels que les céréales et les craquelins. Le PA peut être utilisé là où une thermoformabilité exceptionnelle peut être nécessaire, tel que des emballages en brique pour le fromage. Les films PET orientés offrent une excellente surface d'impression. Le papier est un substrat peu coûteux souvent utilisé dans les sachets et les sacs. Avec deux couches, une plus grande fonctionnalité peut être obtenue que l'une ou l'autre couche seule.

Trois couches offrent une flexibilité encore plus grande dans la conception de l'emballage. La fonction principale de la couche interne reste la scellabilité. La couche extérieure fournit à nouveau la résistance aux abus, la résistance à la chaleur (pendant le scellement), la rigidité, l'intégrité structurelle, une surface pour l'impression et, dans certains cas, une barrière contre l'humidité. Les mêmes substrats que ceux décrits dans les exemples à deux couches sont généralement utilisés en tant que couche externe dans des structures à trois couches. La couche

centrale peut fournir une variété de fonctions. Des couches de PVDC ou de métallisation peuvent être utilisées pour fournir une barrière à l'oxygène. De nombreux films sont imprimés et laminés sur une couche de scellant avec la face imprimée tournée vers l'intérieur, protégée des agressions extérieures par la couche de film. Ceci est appelé impression inversée. Des adhésifs peuvent être utilisés dans la couche centrale pour permettre la stratification de deux matériaux différents. Le recyclage peut être incorporé dans la couche centrale pour certaines applications. Des pigments tels que le dioxyde de titane (TiO_2), peuvent être ajoutés à une couche centrale pour créer une barrière lumineuse. Des exemples de telles structures sont présentés dans le tableau I.2 :

Tableau I.2. Exemples de structures de conditionnement souples à trois couches [2]

Fonction de la couche interne	Fonction de la couche centrale	Fonction de la couche externe	Exemple de structure	Exemple d'application
Scellage	Impression	Résistance à la température et aux abus, imprimabilité	OPET/print/EVA	Emballage de fromage
Scellage	Barrière à l'oxygène et adhérence	Résistance à la température et aux abus	OPET/PVDC Adhésif/EVA	Emballage de viande
Scellage	Adhésion	Résistance à la température et aux abus	PA/adh/mPE OPET/adh/EVA	Emballage de fromage
Scellage	Recyclage	Résistance à la température et aux abus	(HDPE-recycle-LLDPE)	Sacs
Scellage	Barrière lumineuse	Résistance à la température et aux abus, barrière d'humidité	(HDPE-HDPE+TiO_2-EVA)	Forfait collation
Scellage	Résistance à la formation de ponction	Scellage	(EVA-Surlyn-EVA)	Emballage forming web pour dispositif médical
Scellage	Adhésion	Thermoformage et résistance à la perforation	(PA6-tie-PE)	Emballage forming web pour dispositif médical

Un exemple est une bande de formation médicale. Ici, un ionomère, traditionnellement utilisé comme un mastic dans les emballages flexibles, trouve son utilisation comme noyau offrant une thermoformabilité et une résistance à la perforation exceptionnelles. Des couches moins chères en EVA ou en PE sont utilisées pour que la peau adhère à la couche supérieure en

polyéthylène filé-liée Tyvek de l'emballage. Une structure alternative pour cette application est (PA6-tie-PE) où le PA6 fournit la thermoformabilité et la résistance à la perforation.

Des exemples d'extension du concept de couches multiples à cinq sont présentés dans le tableau I.3 :

Tableau I.3. Exemples de structures de conditionnement souples à cinq couches [2]

Couche 1	Couche 2	Couche 3	Couche 4	Couche 5	Exemple de structures	Exemple d'application
Scellage	Adhésion	Barrière	Adhésion	Résistance aux abus, barrière d'humidité	(HDPE-tie-PA6-tie-EVA) (HDPE-tie-EVOH-tie-ionomer)	Barrière collation
Scellage	Adhésion	Barrière	Adhésion	Résistance aux abus, thermoformage	(PA6-tie-EVOH-tie-ionomer)	Paquet de bacon
Scellage	Adhésion	Thermoformage	Barrière	Résistance aux abus, thermoformage	(PA6-EVOH-PA6-tie-ionomer)	Forming Web pour emballage de viande
Scellage	Adhésion	Barrière d'humidité	Barrière d'humidité	Barrière d'humidité	(HDPE-HDPE-HDPE-HDPE-EVA)	Forfait collation

Là encore, la couche la plus interne est typiquement une couche d'étanchéité telle que PE, EVA ou un ionomère. La couche 2 est souvent une couche adhésive suivie d'une couche barrière, d'une autre couche adhésive et de la couche de résistance aux abus. Les exemples présentés ici sont tous réalisés par coextrusion. Les polymères barrières, tels que PA6 et EVOH, ne se lient pas à la plupart des polymères d'étanchéité. L'industrie a mis au point des résines liantes permettant de lier ces matériaux ensemble lors de la coextrusion. Le premier exemple est une extension du film d'emballage à collation à deux couches (scellant HDPE) évoqué précédemment. Cinq couches permettent l'incorporation d'une couche de PA6 ou d'EVOH pour fournir une barrière contre l'oxygène et les arômes. Le HDPE fournit la barrière contre l'humidité.

Les deux structures suivantes du tableau 1.3 représentent des bandes formant barrière souvent utilisées dans les emballages de viande. Le mastic ionomère offre une excellente étanchéité, en particulier en présence de graisse. Le PA est associé à l'EVOH pour aider à la thermoformabilité et à la résistance aux abus. La structure finale met en évidence l'un des avantages apportés par cinq couches ou plus à la flexibilité opérationnelle.

Ici, une structure d'emballage à deux couches est composée de cinq couches. L'épaisseur du PEHD est déterminée par la quantité de barrière anti-humidité nécessaire pour l'application et est souvent supérieure à celle pour laquelle un processus de film à deux couches est conçu. En mettant le HDPE en plusieurs couches, le convertisseur peut facilement créer la structure souhaitée. En effet, la flexibilité opérationnelle est l'une des principales motivations du convertisseur pour l'achat de lignes de film à sept et même à neuf couches. La flexibilité opérationnelle obtenue avec des couches supplémentaires peut également améliorer le contrôle de la répartition des couches dans le film. Sans cette souplesse, le convertisseur peut augmenter l'épaisseur d'une couche barrière onéreuse pour s'assurer que le film respecte les spécifications. Un meilleur contrôle du processus peut permettre à la couche d'être réduite.

La capacité de couches supplémentaires permet également de créer des structures supplémentaires. Quelques exemples de telles structures sont présentés dans le tableau I.4 :

Tableau I.4. Exemples de structures comportant plus de cinq couches [2]

Exemple de structure	Application
PE/Paperboard/PE/Al/(ACR-LDPE)	Poche aseptique
(PP-regrind-tie-EVOH-tie-PP)	Bol de cornue
OPET/print/adh/met- OPP/adh/(LLDPELLDPE-LLDPE)	Pochette stand-up
(LDPE-ACR)/ACR/Al/ACR/(ACR-LDPE)	Tube de dentifrice
(PA6-tie-PA6-EVOH-PA6-tie-LLDPE) (PA6-tie-PA6-EVOH-PA6-ionomère)	Forming web pour viande

1.7. Tendances de l'emballage dans le contexte d'une chaîne de valeur

Le tableau 1.5 récapitule un certain nombre de facteurs clés et de tendances en matière d'emballage flexible basés sur les discussions de DuPont avec les acteurs de la chaîne de valeur.

Dans cette analyse, les tendances et les besoins des consommateurs amènent les propriétaires de marques et les détaillants à adopter des comportements qui influencent l'innovation en matière d'emballage :

Tableau 1.5. Pilotes et tendances de l'emballage [2]

Tendances et besoins du consommateur	Implications du propriétaire de la marque/du détaillant	Conséquences pour l'emballage
Santé, sécurité, bien-être	Produire des produits de qualité	Emballage plus sûrs et plus frais
Simplicité, commodité	Améliorer l'expérience	Solutions-faciles à ouvrir
Offrir une surcharge	Différencier pour partager	Impact de plateau et expérientiel
Durabilité	Gens, planète, bénéfices	Réduire, recycler, renouveler, protéger
Abordabilité/valeur	Minimiser les coûts-productivité ; maximiser les profits	Structures légères

• Le premier est la tendance vers plus de santé, de sécurité et de bien-être. Les consommateurs veulent une alimentation plus saine, en particulier parce que les consommateurs des pays en développement sortent de la pauvreté pour rejoindre la classe moyenne en pleine croissance. Cela soulève le défi de la sécurité alimentaire et du rôle que joue l'emballage. L'implication pour le propriétaire de la marque est la nécessité d'améliorer la qualité du produit. Cela se traduit par des emballages et des technologies d'emballage assurant sécurité et fraîcheur, tels que l'utilisation de produits d'étanchéité de qualité pour empêcher les fuites, les résines ou revêtements à barrière élevée et la stérilisation dans l'emballage.

• Le consommateur continue d'accorder de la valeur à la simplicité et à la commodité. Les propriétaires de marques s'efforcent d'améliorer l'expérience du consommateur grâce à des fonctionnalités faciles à ouvrir et refermables, des emballages conçus pour être tenus à la main et des emballages allant au micro-ondes.

• Le consommateur est inondé de choix, en particulier dans les pays développés. Le propriétaire de la marque et le détaillant doivent continuellement innover pour gagner des parts. Cela conduit à de nouvelles conceptions d'emballage qui ont un impact sur les tablettes et offrent au consommateur une expérience pratique. De telles expériences incluent de plus en plus des interactions avec des téléphones intelligents pouvant nécessiter des modifications graphiques et autres technologies.

La durabilité continue d'orienter les choix des consommateurs. Les détaillants se sont également impliqués, entraînant des changements dans la conception, le contenu et la recyclabilité des emballages. Un exemple des choses à venir est la transition vers les pichets à lait en plastique de 1 gallon carré arrondi sur le marché américain dans les grands magasins de remise tels que Walmart et Costco [34]. La conception élimine le besoin d'une caisse d'expédition

puisque les pichets sont empilables. Cela économise 50% de main-d'œuvre et réduit l'utilisation d'eau (pour nettoyer les caisses) de 60 à 70%. Plus de gallons ajustés sur un camion et les caisses n'ont pas besoin d'être renvoyés. Ils économisent également de l'espace dans le magasin. D'autres produits ont emboîté le pas, tels que le passage de gobelets de yaourt ronds à carrés.

• Enfin, le consommateur est toujours à la recherche de valeur. Cela incite les propriétaires de marques à accroître leur productivité afin de minimiser leurs coûts. Une conséquence de ceci est l'allègement des structures d'emballage. Un livre blanc publié récemment par la Flexible Packaging Association illustre les progrès réalisés à cet égard par plusieurs exemples, dont les suivants [35]:

- ❖ Sur une période de 6 ans, le poids d'un emballage de hot dog de marque nationale a été réduit de 30%.
- ❖ Un emballage souple de barre chocolatée a été réduit de 60% en six ans.
- ❖ Les doublures de sacs de céréales et les films étirables ont été réduits en utilisant un film ionomère résistant.
- ❖ La technologie de coextrusion a permis aux emballages de fromages d'être 30% plus légers sans sacrifier les performances de la barrière.

1.8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons d'abord donné un coup d'œil sur l'historique de l'emballage, et son évolution au cours du temps, ses avantages qui sont multiples et qui justifient son utilisation qui s'accroit continuellement ces dernières décennies avec l'introduction de nouvelles technologies. L'emballage souple a reconnu quant à lui une diffusion plus rapide, grâce aux multiples caractéristiques qui le rend plus utile et efficace que l'emballage rigide, et surtout la structure stratifiée qui ne cesse de se développer afin de répondre aux exigences du marché en créant de nouvelles fonctionnalités concurrentielles.

CHAPITRE II :

POLYETHYLENE

CHAPITRE II : POLYETHYLENE

II.1. Introduction

Le développement du polyéthylène en tant que partie intégrante de la vie quotidienne ne s'est pas déroulé sans heurts. Il a été produit par hasard plusieurs fois avant que l'utilité des polymères synthétiques ne soit reconnue. Ce n'est que dans les années 1930 que les chimistes, tentant de fabriquer un produit totalement différent, ont créé par inadvertance du polyéthylène et en ont reconnu son potentiel. Initialement, le polyéthylène était un matériau de faible densité hautement ramifié avec une gamme limitée de propriétés physiques. Sa commercialisation a été accélérée par le besoin de matériel de guerre. Dans les années 1950, de nouveaux procédés de polymérisation ont été mis au point, produisant des polymères essentiellement linéaires ayant des densités plus élevées, élargissant ainsi la gamme de polyéthylènes disponibles. Dans les années 1960, la copolymérisation de l'éthylène avec de petites quantités d'autres alcènes élargissait encore la gamme de produits. Actuellement, le développement vise à synthétiser des résines de polyéthylène ayant des propriétés particulièrement adaptées à des applications spécifiques.[36]

II.2. Procédés de polymérisation de polyéthylène

Le polyéthylène est le polymère d'addition[1] le plus simple et nous décrirons brièvement son processus de polymérisation. Le polyéthylène est fabriqué en ouvrant la double liaison dans la molécule d'éthylène et en liant chimiquement les monomèresensemble dans un réacteur. Ce réacteur peut comporter un procédé autoclave (cuve agitée) ou un procédé tubulaire. Cela peut être fait à basse pression (environ 300 psi[2]) ou à des pressions aussi élevées que 50 000 psi. Les températures sont contrôlées à des niveaux élevés tels que 125 à 250 ° C, mais la température requise est très spécifique au type de structure de polymère souhaité.

Les autoclaves sont de grands récipients agités, comme le montre la figure II.1 (a). À haute pression, la polymérisation de l'éthylène se fait dans un autoclave, l'éthylène lui-même joue le rôle de solvant pour le polymère en formation. Aux pressions extrêmes utilisées, 15 000 à 50 000 psi, l'éthylène se situe au-dessus de son point critique[3] et agit donc à la fois comme un gaz et un liquide. Le polyéthylène basse densité hautement ramifié, tel que celui utilisé pour le moulage par soufflage, est fabriqué de cette façon. Les polymères autoclaves sont des matériaux hautement ramifiés car les initiateurs de radicaux libres et le monomère sont mélangés de

[1] Les réactions mises en jeu sont des additions, réalisés à partir de composés insaturés ; molécules possédant une ou plusieurs doubles ou triples liaisons. Ce sont des polyadditions.
[2] 1 psi = 6894.76.
[3]Point du diagramme de phase d'un corps pur au-delà duquel les phases liquide et gazeuse se confondent.

manière aléatoire avec la chaîne de polymère en croissance dans des conditions de haute énergie. Dans ces circonstances, un radical libre peut réagir avec un monomère pour augmenter la taille de la molécule en croissance, comme indiqué sur la FigureII.2, ou il peut extraire un hydrogène d'une chaîne polymère pour créer un site de réaction interne à cette chaîne, comme indiqué sur la FigureII.3. Si le site de l'attaque se trouve sur la même chaîne, près du radical libre, comme cela se produit le plus souvent, une branche à chaîne courte est produite. Lorsque le site est loin de la fin de la molécule, une longue chaîne est produite.[37]

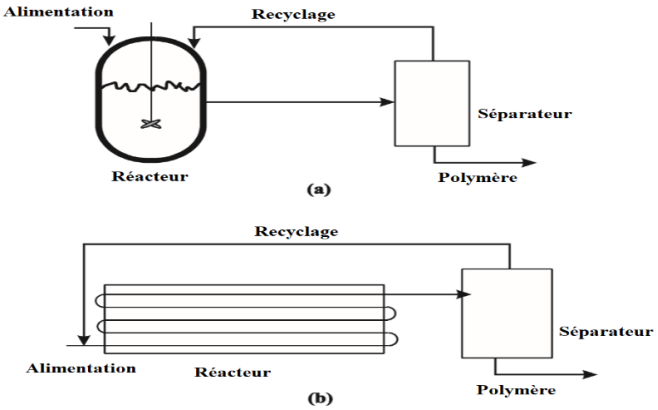


Figure II.1. Réacteurs de polyéthylène : (a) Réacteur autoclave, (b) Réacteur tubulaire[37]

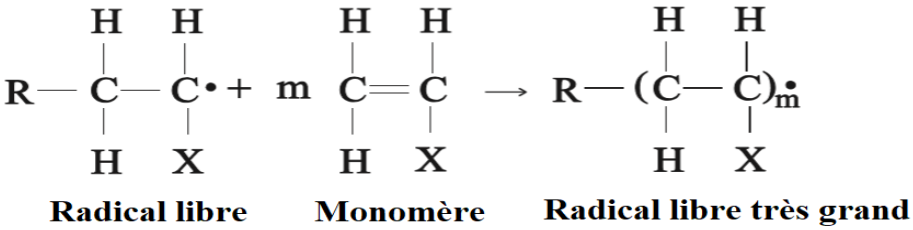


Figure II.2. L'étape de propagation dans la polymérisation radicalaire [37]

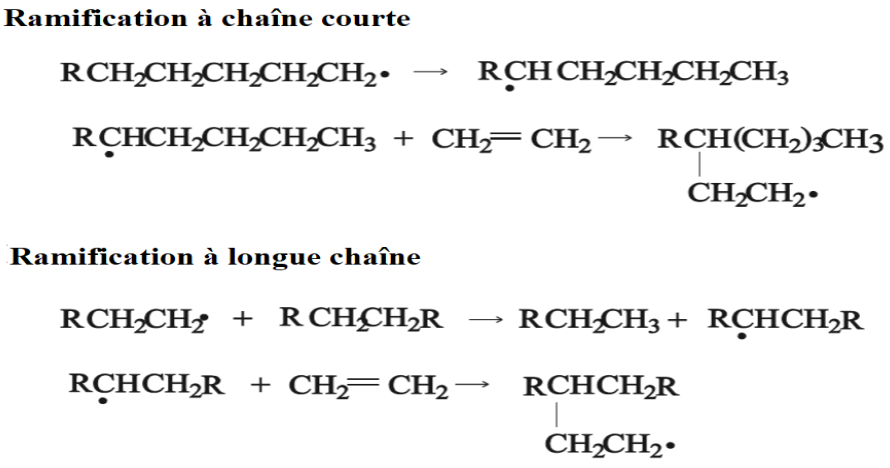


Figure II.3. Branchement de chaîne dans le PE, illustrant comment les réactions de transfert de chaîne peuvent donner des ramifications à chaîne courte ou longue [37]

Les réacteurs tubulaires, voir figure II.1 (b), sont utilisés pour fabriquer du film grade LDPE. L'écoulement à travers le tuyau du réacteur est turbulent, il y a donc un bon mélange dans la direction radiale ; Cependant, le profil de vitesse émoussé limite le retour en arrière qui se produit. Des initiateurs de radicaux libres sont injectés dans le flux en différents points du trajet pour provoquer la polymérisation et contrôler la ramification. La zone de réaction ayant une étendue limitée, la quantité de ramification est plus limitée que dans un autoclave. Pour le polyéthylène haute densité, la polymérisation est généralement effectuée à l'aide de catalyseurs Ziegler Natta (ZN) qui contrôlent la combinaison des monomères. La figure II.4 montre le concept général, et les figureII.4 et II.5 montrent les détails du processus d'addition. Étant donné que la combinaison ne se produit que sur la surface du catalyseur dans des conditions d'énergie relativement basses, il n'y a presque pas de ramification.[37]

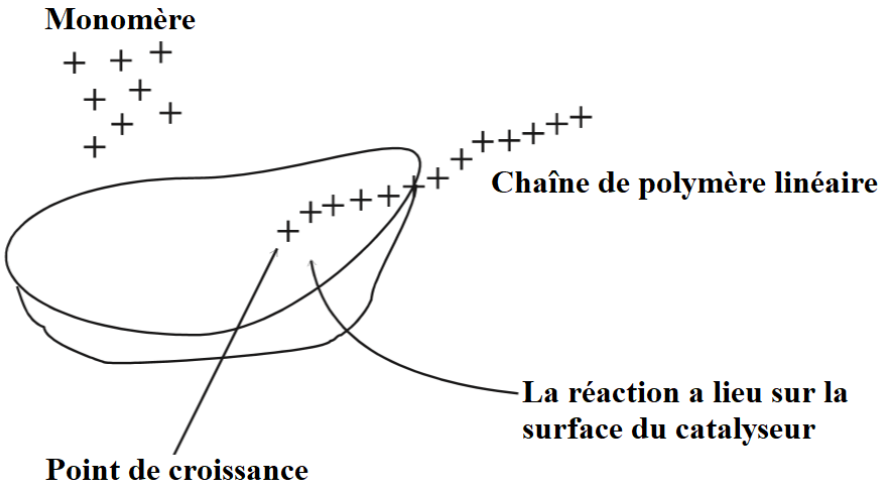


Figure II.4. L'effet de la surface du catalyseur sur la mise en forme ou la «personnalisation» de la molécule revêt une importance considérable.[37]

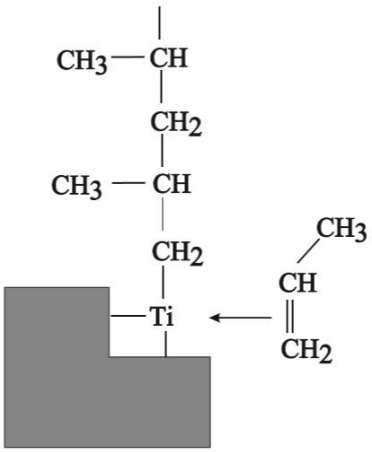


Figure II.5. L'atome de titane est un élément clé pour faciliter la réaction de polymérisation.[37]

CHAPITRE II : POLYETHYLENE

Pour obtenir l'effet d'une ramification limitée, qui améliore les caractéristiques de traitement du HDPE, une petite quantité d'hexène est généralement introduite. L'hexène est également utilisé pour contrôler la cristallinité et réduire la densité du HDPE afin de répondre à diverses demandes d'utilisation finale. Pour les qualités de film, la densité est généralement d'environ 0.956 g/cm^3, ce qui signifie qu'il y a moins de 10 branches/1000 atomes de carbone dans le polymère.

Etant donné que la polymérisation est facilitée par un catalyseur, elle peut être effectuée à basse pression, généralement autour de 300 psi. La polymérisation peut être effectuée en suspension, en solution ou en phase gazeuse. La polymérisation en solution est semblable à celle décrite précédemment en ce que le polymère est dissous dans le monomère.

Dans le procédé en suspension, un solvant porteur est utilisé pour dissoudre le monomère et mettre en suspension le catalyseur. Une fois que le polymère a atteint un poids moléculaire élevé, il devient insoluble et crée la suspension lorsqu'elle sort de la solution.

La polymérisation en phase gazeuse est réalisée dans un lit fluidisé[1] de catalyseur dans une tour verticale. L'éthylène s'infiltre à travers le lit de catalyseur, le fluidifie, se polymérise et précipite sous forme de poudre aspirée au bas de la tour.

La distribution du poids moléculaire est contrôlée par le choix des conditions du catalyseur et du réacteur. Il est également possible de le modifier radicalement en utilisant deux réacteurs ou plus en série dans des conditions de réaction différentes. Cette approche est utilisée pour créer un HMW-HDPE bimodal, utilisé pour les sacs d'épicerie et autres applications nécessitant une rigidité élevée.

Les catalyseurs Ziegler-Natta à base de chrome laissent une insaturation terminale dans certaines molécules ; c'est-à-dire qu'il reste une double liaison entre les deux derniers atomes de carbone de la chaîne. Cette insaturation est un site réactif et peut réagir lors de traitements ultérieurs, tels que la composition d'additifs ou la granulation avec des radicaux libres ou d'autres espèces actives pouvant être générées. Le résultat est la formation d'une quantité limitée de ramifications à longue chaîne, LCB. Cette LCB confère aux polymères fabriqués à partir de catalyseurs au chrome des propriétés uniques.

Comme cela a été indiqué, les sites de particules de catalyseur contrôlent la structure du polymère. Malheureusement, tous les sites sur un catalyseur ZN ne se comportent pas de la même manière. Il existe toujours des sites qui produisent un matériau hautement ramifié de

[1]Le principe est d'injecter sous un lit d'une matière un gaz ou un liquide sous pression. Ce fluide va « soulever » et disperser les grains de la matière.

faible poids moléculaire. En HDPE, ce matériau cireux doit être éliminé pour produire un polymère présentant les caractéristiques souhaitées.

Si la réaction consiste à produire du PE linéaire basse densité, en utilisant un comonomère pour produire les groupes latéraux qui interfèrent avec la cristallisation, les caractéristiques du site réactif sur le catalyseur affecteront également le polymère résultant. Sur les catalyseurs ZN, il existe des sites qui ont tendance à produire le matériau hautement ramifié, de faible poids moléculaire, alors que d'autres produisent principalement un polymère de haut poids moléculaire avec très peu de ramification, un matériau HDPE. Le fait que les sites n'intègrent pas tous le comonomère avec la même efficacité affecte les propriétés d'utilisation finale du polymère. Ces faits ne rendent pas le processus inutile, mais ils compliquent l'interchangeabilité des qualités de LLDPE provenant de fournisseurs différents, voire d'un même fournisseur, lorsque l'utilisation de systèmes de catalyseurs différents entraîne des différences de qualité. Les caractéristiques de ramification peuvent être mesurées en utilisant le TREF (Temperature Rising Elution Fractionation) pour caractériser les matériaux. La meilleure caractérisation est la mesure des propriétés d'utilisation finale nécessaires pour le matériau d'emballage. Le fait est que les polymères de LLDPE peuvent ne pas être interchangeables, même si l'indice de fusion (MI) et la densité sont identiques.

II.3. La famille de polyéthylène

Le polyéthylène est une famille de polymères à base d'éthylène. Il peut être linéaire ou ramifié, un homopolymère ou un copolymère. Dans le cas d'un copolymère, l'autre comonomère peut être un alcène tel que le propène, le butène, l'hexène ou l'octène; ou un composé ayant un groupe fonctionnel polaire tel que l'acétate de vinyle (VA), l'acide acrylique (AA), l'acrylate d'éthyle (EA) ou l'acrylate de méthyle (MA). Si le pourcentage molaire du comonomère est inférieur à 10%, le polymère peut être classé en tant que copolymère ou homopolymère.

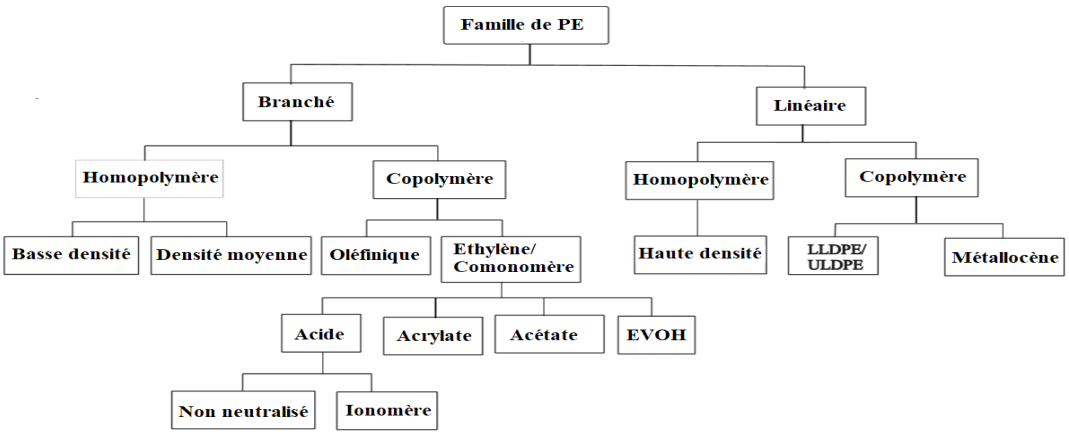


Schéma II.1 La famille du polyéthylène [37]

CHAPITRE II : POLYETHYLENE

Le schémaII.1ci-dessus présente un diagramme de la famille des polymères à base de monomère d'éthylène.

Le polyéthylène est le premier polymère oléfinique à avoir trouvé une utilisation dans les emballages alimentaires. Introduit dans les années 50, il est devenu un matériau courant en 1960, utilisé dans les films, les contenants moulés et les bouchons.

II.3.1. Polyéthylènes ramifiés

a. Polyéthylène à basse densité

La ramification de la chaîne dans le LDPE homopolymère confère à ce polymère un certain nombre de caractéristiques souhaitables telles que la clarté, la flexibilité, la thermosoudabilité et la facilité de traitement. Les valeurs réelles de ces propriétés dépendent de l'équilibre entre le poids moléculaire, la distribution du poids moléculaire et la ramification.

Le LDPE est également polyvalent en ce qui concerne le mode de traitement et s'adapte au film soufflé, au film coulé, au revêtement par extrusion, au moulage par injection et au soufflage. Le film est la plus grande forme de LDPE produite. Aux États-Unis, plus de la moitié de la production totale de LDPE est transformée en films d'une épaisseur inférieure à 300 microns. Les produits en LDPE comprennent les récipients et les sacs pour la nourriture et les vêtements, les doublures industrielles, les pare-vapeur, les films agricoles, les produits ménagers et les films rétractables et étirables. Le LDPE peut être utilisé seul ou en combinaison avec d'autres membres de la famille des résines PE.

Le LDPE se caractérise par son excellente flexibilité, sa bonne résistance aux chocs, sa bonne usinabilité, sa bonne résistance à l'huile, sa bonne résistance aux produits chimiques, ses bonnes caractéristiques de thermoscellage et son faible coût (environ 1.60 USD/kg). Sa transparence est meilleure que celle du HDPE en raison de son pourcentage de cristallinité inférieur. Pour la même raison, bien que ce soit un bon pare-vapeur, il est inférieur à celui du HDPE. De même, il s'agit d'une barrière anti-gaz encore plus pauvre que celle de HDPE. Un résumé des propriétés du LDPE est présenté dans le tableau II.1.

Le polyéthylène à densité moyenne (MDPE), compris entre 0.925 et 0.940 g/cm^3, est parfois répertorié dans une catégorie distincte, mais est généralement considéré comme la partie à haute densité du LDPE. Il est un peu plus fort, plus rigide et moins perméable que le LDPE de densité inférieure. Le procédé de fabrication du MDPE est similaire à celui du LDPE, bien qu'il soit généralement légèrement plus chaud.

Le principal concurrent du LDPE est le LLDPE, qui offre une résistance supérieure à des densités équivalentes. Cependant, le LDPE est toujours préféré dans les applications exigeant une grande clarté ou pour le revêtement par extrusion d'un substrat. [36]

Tableau II.1. Propriétés du LDPE [36]

Densité	0.910 à 0.925 g/cm^3
T_g	−120°C
T_m	105–115°C
Résistance à la traction	8.2–31.4 MPa (1200–4550 psi)
Module de traction	172–517 MPa (24,900–75,000 psi)
Allongement à la rupture	100–965%
Résistance à la déchirure	200–300 g/25 µm
WVTR	375–500 g µm/m^2 d à 37.8°C, 90% RH
Perméabilité à l'O_2, à 25 °C	163,000–213,000 cm^{3}µm/m^2 d atm
Perméabilité au CO_2, à 25 °C	750,000–1,060,000 cm^{3}µm/m^2 day atm
Absorption d'eau	<0.01%

L'éthylène peut être copolymérisé avec des composés alcènes ou des monomères contenant des groupes fonctionnels polaires, tels que l'acétate de vinyle et l'acide acrylique. Les copolymères éthylène/alcène ramifiés sont essentiellement identiques au LDPE, car dans la pratique commerciale, une certaine quantité de propylène ou d'hexène est toujours ajoutée pour aider à contrôler le poids moléculaire.

b. Acétate d'éthylène vinyle (EVA)

Des copolymères d'éthylène-acétate de vinyle (EVA) sont produits en copolymérisant des monomères d'éthylène et d'acétate de vinyle.

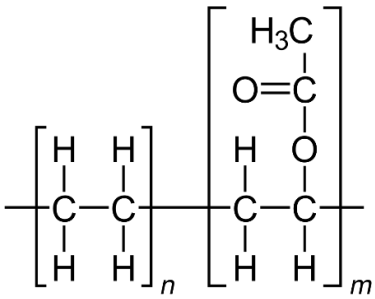


Figure II.6. Structure de l'éthylène-acétate de vinyle [38]

Le résultat est un copolymère statistique, dans lequel des groupes apparaissent en tant que groupes latéraux à des emplacements aléatoires de la chaîne carbonée, remplaçant les atomes d'hydrogène.

Des copolymères EVA avec des teneurs en acétate de vinyle (VA) allant de 5 à 50% sont disponibles dans le commerce. Pour la plupart des applications alimentaires, une valeur VA comprise entre 5 et 20% est recommandée. Les résines EVA sont principalement reconnues pour leur souplesse, leur ténacité et leur thermoscellabilité.

L'acétate de vinyle est une molécule polaire. L'inclusion de monomères polaires dans la chaîne principale pendant la production de copolymères d'éthylène ramifiés abaissera la cristallinité, améliorera la flexibilité, produira une plage de température de thermosoudage plus large, améliorera les propriétés de barrière et augmentera la densité. Ces changements de propriétés résultent de l'interférence avec la cristallinité provoquée par la présence d'irrégularités aléatoires produites par les groupes latéraux relativement volumineux du comonomère, plus l'augmentation des forces intermoléculaires résultant de la présence de groupes polaires dans le comonomère. L'augmentation de la densité est imputable à la présence d'atomes d'oxygène ayant une masse supérieure, ce qui compense largement la diminution de la cristallinité.

L'EVA est un copolymère statistique dont les propriétés dépendent de la teneur en acétate de vinyle et du poids moléculaire. À mesure que la teneur en VA augmente, la cristallinité diminue, mais la densité augmente. D'autres propriétés sont également affectées, ce qui entraîne une amélioration de la clarté, une meilleure flexibilité à basse température et une augmentation de la résistance aux chocs. À 50% de VA, l'EVA est totalement amorphe. L'augmentation de la polarité avec l'augmentation de la teneur en VA entraîne une augmentation de la force d'adhésion et de l'adhérence à chaud. Une augmentation du poids moléculaire moyen de la résine augmente la viscosité, la ténacité, la résistance du thermosoudage, le collage à chaud et la flexibilité.

c. Acide d'éthylène acrylique (EAA)

La copolymérisation de l'éthylène avec l'acide acrylique (AA) donne des copolymères contenant des groupes carboxyle (HO–C=O) dans les chaînes latérales de la molécule. Ces copolymères sont connus sous le nom d'acide éthylène acrylique, EAA.

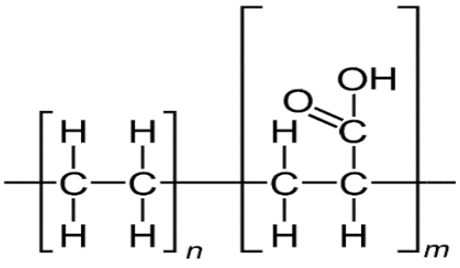


Figure II.7. Structure de l'acide éthylène acrylique

Ce sont des thermoplastiques flexibles présentant une résistance chimique et des propriétés de barrière similaires à celles du LDPE. L'EAA, cependant, est supérieur au LDPE en termes de résistance, de ténacité, de collant à chaud et d'adhérence, en raison de l'augmentation des interactions intermoléculaires fournies par les liaisons hydrogène. Les principales utilisations comprennent l'emballage sous blister et comme couche de liaison extrudée entre une feuille d'aluminium et d'autres polymères.

Au fur et à mesure que la teneur en AA augmente, la cristallinité diminue, ce qui implique que la clarté augmente également. De même, la force d'adhésion augmente en raison de l'augmentation de la polarité et la température du thermosoudage diminue en raison de la diminution de la cristallinité.

Les films de EAA sont également utilisés dans les emballages souples de viande, de fromage, de grignotines et de produits médicaux ; dans les pelliplacages; et dans la stratification adhésive. Les applications de revêtement par extrusion comprennent les emballages de condiments et d'aliments, le carton couché, les cartons aseptiques, les canettes composites et les tubes de dentifrice. Les réglementations de la FDA autorisent l'utilisation d'acide acrylique jusqu'à 25% pour les copolymères d'éthylène en contact direct avec les aliments.[37]

d. Ionomères

La neutralisation d'EAA ou d'un copolymère similaire, par exemple l'EMAA (acide éthylène méthacrylique), avec des cations tels que Na^+, Zn^{++}, Li^+, produit un matériau qui présente une transparence, une ténacité et une résistance à la fusion plus élevées que le copolymère non neutralisé. Ces matériaux sont appelés ionomères car ils combinent des liaisons covalentes et ioniques dans la chaîne du polymère. La structure d'un ionomère du type acrylate d'éthylène-sodium est :

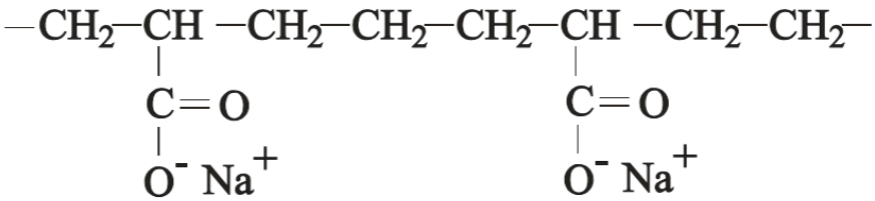


Figure II.8. Structure d'un ionomère du type acrylate d'éthylène-sodium[37]

Les monomères ont été développés en 1965 par R. W. Rees et D. Vaughan [39] alors qu'ils travaillaient pour DuPont, qui utilise le nom commercial Surlyn pour ces matériaux.

Les liaisons ioniques produisent des liaisons de type réticulations aléatoires entre les chaînes, ce qui donne les propriétés à l'état solide généralement associées aux matériaux de très

haut poids moléculaire. Cependant, les ionomères se comportent comme des matériaux thermoplastiques normaux, car les liaisons ioniques sont beaucoup plus facilement rompues que les liaisons covalentes, ce qui permet un traitement dans un équipement conventionnel. Les températures de traitement normales sont entre 175 et 290 ° C. La présence de liaisons ioniques diminue la capacité des molécules à se réorganiser en sphérulites, diminuant ainsi la cristallinité. La viscosité élongationnelle élevée causée par les liaisons ioniques confère une excellente résistance aux trous d'épingle.

Les propriétés barrière des ionomères seuls sont relativement médiocres, mais combinées au PVDC, au HDPE ou à la feuille, elles produisent des matériaux composites qui constituent d'excellentes barrières.

Les ionomères sont fréquemment utilisés dans des applications de revêtement critiques, des films et des stratifications. Les applications incluent des couches de thermosoudage dans une variété de structures multicouches et composites. Ils sont utilisés en combinaison avec le nylon, le PET, le LDPE et le PVDC.

La stratification par coextrusion et le revêtement par extrusion sont les techniques de traitement les plus courantes. Les ionomères sont utilisés dans les emballages où la formabilité, la ténacité et l'aspect visuel sont importants. Les films d'emballage alimentaire constituent le plus grand marché unique. Ils sont très résistants aux huiles et aux produits agressifs et fournissent des joints fiables sur une large plage de températures. Les ionomères adhèrent très bien au papier aluminium. Ils sont également largement utilisés en tant que couche thermoscellable dans les films composites destinés aux viandes fraîches et transformées, telles que les hot dogs. Les autres applications des ionomères comprennent les aliments congelés (poisson et volaille), le fromage, les grignotines, les jus de fruits (contenant de type Tetra Pak^{TM}), le vin, l'eau, l'huile, la margarine, les noix et les produits pharmaceutiques. Les pellicules ionomères de forte épaisseur sont utilisées dans les emballages pelliculaires pour les produits matériels et électroniques en raison de leur excellente adhésion au carton ondulé et de leur excellente résistance à la perforation.

Les ionomères peuvent résister aux impacts à des températures aussi basses que –90 ° C (inférieures au LDPE). Le sodium peut être remplacé par d'autres métaux tels que le zinc et d'autres comonomères tels que l'acide méthacrylique qui peuvent être utilisés. Il existe plus de cinquante qualités d'ionomères disponibles dans le commerce, dotées d'une large gamme de propriétés. En général, les types d'ions sodium ont de meilleures propriétés optiques, une meilleure adhérence à chaud et une meilleure résistance à l'huile. Les ionomères de zinc sont

plus inertes vis-à-vis de l'eau et ont de meilleures propriétés d'adhérence en coextrusion et pour le revêtement par extrusion d'une feuille.

II.3.2. Polyéthylènes linéaires

Le polyéthylène haute densité est le deuxième plastique d'emballage le plus utilisé. Comme indiqué précédemment, il est produit par polymérisation d'éthylène, mais sa structure est presque totalement linéaire, contrairement à la structure hautement ramifiée du polyéthylène basse densité. Cela se traduit par une plus grande capacité de cristallisation, produisant un tassement plus serré des molécules et par conséquent une densité plus élevée.

Les polyéthylènes linéaires sont traditionnellement fabriqués à l'aide d'un catalyseur stéréospécifique de Ziegler-Natta, du nom des deux chimistes qui les ont inventés dans les années 1950. Ces catalyseurs sont fabriqués à partir d'une combinaison d'un halogénure de métal de transition, tel que le tétrachlorure de titane, et d'un agent réducteur, tel qu'un alkyl d'aluminium. Un exemple de la structure du catalyseur est présenté à la figure II.9.

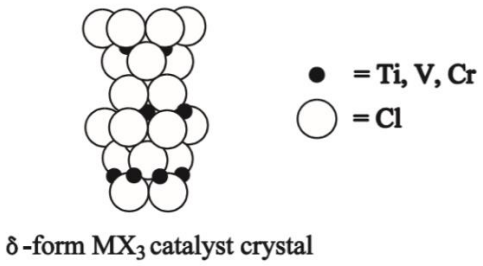


Figure II.8.Un catalyseur typique de Ziegler-Natta[37]

La première application de ces catalyseurs a été la production de HDPE. Dans un réacteur à haute pression, la polymérisation d'éthylène ne pouvait pas atteindre des densités très supérieures à 0.94g/cm^3. Ces nouveaux catalyseurs, qui permettent uniquement la combinaison de radicaux libres dans une orientation spécifique, ont permis d'augmenter la densité à 0.97.g /cm^3. Plus tard, dans les années 1970, Dow et Union Carbide ont étendu l'utilisation de la technologie des catalyseurs Ziegler-Natta à la production de polyéthylènes de faible densité en incorporant des comonomères tels que le 1-butène, le 1-hexène et le 1-octène dans le squelette du polymère.

Les groupes latéraux résultants placés au hasard ont diminué la cristallinité du matériau, réduisant ainsi la densité. La technologie des catalyseurs Ziegler-Natta permet de contrôler la densité grâce au pourcentage de comonomère incorporé dans le squelette. Étant donné que les réactions se déroulent à des températures et à des pressions relativement basses, les réactions de captage d'hydrogène responsables de la ramification dans le LDPE ne se produisent pas de

manière significative. Les conditions réactionnelles plus douces facilitent également un meilleur contrôle du poids moléculaire moyen et de la distribution du poids moléculaire. Les polyéthylènes linéaires peuvent être divisés en groupes comme suit, la densité étant indiquée entre parenthèses:

- ULDPE : PE ultra basse densité (0.89-0.915 g/cm^3)
- LLDPE : PE linéaire à faible densité (0.916–0.940 g/cm^3)
- HDPE : PE haute densité (0.940–0.965 g/cm^3)
- HMW-HDPE : HDPE de haut poids moléculaire (0.940–0.965 g/cm^3)

Le poids moléculaire du polyéthylène linéaire varie du moyen à l'ultra élevé, comme indiqué dans le tableau II.2 :

Tableau II.2. Gamme de poids moléculaire du polyéthylène linéaire [37]

Type	Masse moléculaire relative (poid moléculaire)
Poids moléculaire moyen	<110,000
Poids moléculaire élevé	110,000 à 250,000
Poids moléculaire très élevé	250,000 à 3,500,000
Très haut	> 3,500,000

a. Polyéthylène linéaire haute densité (HDPE)

Le PE haute densité est un thermoplastique linéaire non polaire, blanc laiteux. Sa densité varie de 0.940 à 0.965 g/cm^3 et sa température de fusion est d'environ 128 à 138 ° C. C'est l'un des polymères les plus polyvalents et le deuxième plastique le plus utilisé dans l'industrie de l'emballage. Les applications typiques incluent :

- Des récipients pour le lait, les détergents, l'eau de Javel, les jus, les shampoings, l'eau et les bidons de produits chimiques industriels fabriqués par extrusion-soufflage ;
- Seaux, contenants de produits laitiers à paroi mince et fermetures par moulage par injection ;
- Les contenants de cosmétique, les flacons pharmaceutiques et les déodorants fabriqués par moulage par injection ; et
- Films soufflés et coulés utilisés dans les applications d'emballage souple telles que les emballages de céréales, de craquelins et de grignotines, les emballages pour produits de charcuterie et les sacs d'épicerie.

CHAPITRE II : POLYETHYLENE

Les chaînes moléculaires des homopolymères de HDPE sont longues et droites, avec peu de ramifications. Le HDPE forme une grande fraction de régions cristallines ordonnées lorsqu'il refroidit en dessous de sa T_m. Cet emballage compact produit du HDPE ayant une cristallinité de 65 à 90% et contribue à ses bonnes propriétés barrière contre l'humidité et à sa non-transparence. Le HDPE a une excellente résistance à une large gamme de composés chimiques: produits à base d'eau, hydrocarbures aliphatiques de poids moléculaire moyen, alcools, acétone, cétones, acides dilués et bases. Il n'est pas acceptable pour les hydrocarbures aromatiques tels que le benzène. La résistance à la traction du HDPE peut atteindre 45 MPa. La force d'impact est principalement contrôlée par le MW, bien qu'elle soit affectée par le MWD. Le HDPE se caractérise également par de bonnes propriétés de barrière à l'humidité et de mauvaises caractéristiques de barrière à l'oxygène et aux composés organiques. Il a de bonnes caractéristiques d'usinabilité. Le tableau II.3 résume les propriétés du HDPE :

Tableau III.3 Propriétés du HDPE [37]

Densité	0.94 à 0.965 g/cm^3
T_g	-120 ° C
T_m	128–138 ° C
Résistance à la traction	17.3–44.8 MPa
Module de traction	620 à 1,089 MPa
Allongement à la rupture	10-1200%
Résistance à la déchirure	20–60 g/25 µm
WVTR	125 g µm / m^2 d à 37.8 ° C, 90% RH
Perméabilité à l'O_2, 25 ° C	40,000–73,000 cm^{3}µm / m^2 d atm
Perméabilité au CO_2, à 25 ° C	De 200,000 à 250,000 cm^{3}µm / m^2
Absorption de l'eau	<0.01%

Comme pour d'autres polymères, les propriétés sont influencées par le poids moléculaire moyen et la distribution du poids moléculaire. À mesure que la masse moléculaire relative (ou le poids moléculaire) augmente, la résistance à la traction, la résistance au choc et la résistance à la fissuration sous contrainte augmentent.

La fissuration sous contrainte environnementale est un problème courant pour le polyéthylène haute densité. Cela peut être défini comme la défaillance d'un matériau soumis à une contrainte et exposé à une substance chimique, dans des conditions où l'exposition à la contrainte seule ou à la substance chimique seule ne provoque pas de défaillance. Des produits tels que les détergents à lessive sont des agents connus de fissuration sous contrainte. Dans les

produits alimentaires, les acides gras peuvent également entraîner une fissuration sous contrainte, mais ils sont moins graves que dans les détergents. Un degré élevé de cristallinité augmente la tendance à la fissuration sous contrainte environnementale. Par conséquent, le copolymère HDPE est utilisé pour des applications telles que les bouteilles de détergent. Le comonomère réduit la cristallinité en perturbant le tassement étroit des chaînes moléculaires linéaires, et offre ainsi une plus grande résistance à la propagation des fissures.

b. Polyéthylène linéaire basse densité (LLDPE)

Comme mentionné ci-dessus, le polyéthylène linéaire peut être produit sous forme d'homopolymère, ce qui donne un polyéthylène haute densité, HDPE, ou sous forme de copolymère ayant comme comonomère un alcène tels que le butène, l'hexène et l'octène.

- Butène $H_2C = CH\ CH_2\ CH_3$
- Hexène $H_2C = CH\ (CH_2)_3CH_3$
- Octène $H_2C = CH\ (CH_2)_5\ CH_3$

La présence d'un comonomère dans le processus de polymérisation, lorsqu'un catalyseur stéréospécifique est utilisé, conduit à la production d'un polymère plutôt linéaire avec des groupes pendants très courts ressemblant à des branches. Ce polymère est appelé polyéthylène linéaire basse densité (LLDPE) ou polyéthylène ultra basse densité (ULDPE), en fonction de la densité obtenue par l'addition du comonomère. Plus la quantité de comonomère ajouté est importante, plus la densité du copolymère est faible. Par exemple, si l'hexène est utilisé, les groupes pendants sont les suivants :

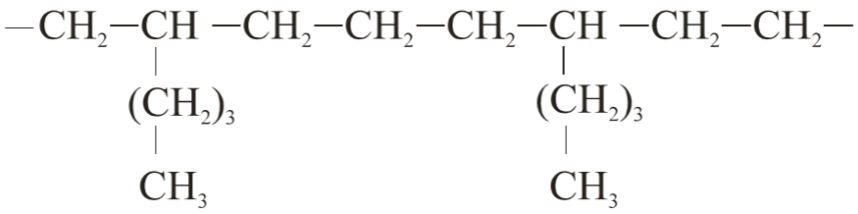


Figure II.9. Exemple d'un copolymère où le groupe pendant est un hexène

Normalement, la quantité de comonomères varie de 1 à 10% sur une base molaire.

Les propriétés physiques du LLDPE sont contrôlées par son poids moléculaire (MW) et sa densité (0.916–0.940 g/cm^3). En raison de la régularité accrue de la structure et de la distribution plus étroite du poids moléculaire, le LLDPE tend à avoir des propriétés mécaniques améliorées par rapport au LDPE de même densité. La rigidité accrue entraîne une augmentation de 10 à 15 ° C du point de fusion du LLDPE par rapport au LDPE.

Le LLDPE a une résistance à la traction, une résistance à la perforation, des propriétés de déchirure et un allongement supérieur à ceux du LDPE. Cependant, le LDPE a une meilleure clarté et brillance que le LLDPE. Le LDPE a également de meilleures propriétés de thermoscellage.

Les utilisations typiques du LLDPE incluent les films étirables/collants, les sacs d'épicerie et les sacs d'expédition robustes. Le LDPE et le LLDPE sont souvent mélangés pour optimiser les avantages des deux matériaux, en renforçant la résistance du LLDPE et ajoutant au LDPE les propriétés dethermoscellage et la capacité de traitement.

Il a été constaté que lorsque la densité est poussée au-dessous de 0.91 g/cm^3 par l'incorporation de niveaux plus élevés de comonomère, le niveau d'hexane extractibles augmente au-delà de celui approuvé par la FDA. Ces substances extractibles peuvent également s'oxyder, entraînant des odeurs et des saveurs désagréables.

Les polyéthylènes avec de plus grandes quantités de comonomère et par conséquent une densité inférieure à la plage normale de LLDPE sont appelés polyéthylène très basse densité, VLDPE, ou polyéthylène ultra basse densité, ULDPE. Alors que ceux-ci peuvent être produits en utilisant des catalyseurs Ziegler-Natta, ils sont souvent fabriqués en utilisant des catalyseurs à base de métallocène, comme décrit ci-après.

c. Polymères à métallocènes

Dans les années 1990, une nouvelle famille de polyéthylènes à base de catalyseurs métallocènes est apparue. Ces catalyseurs offraient une nouvelle capacité significative d'adaptation des propriétés des polyéthylènes linéaires et d'autres polyoléfines. En particulier, ils ont la capacité de fournir une incorporation plus uniforme des comonomères.

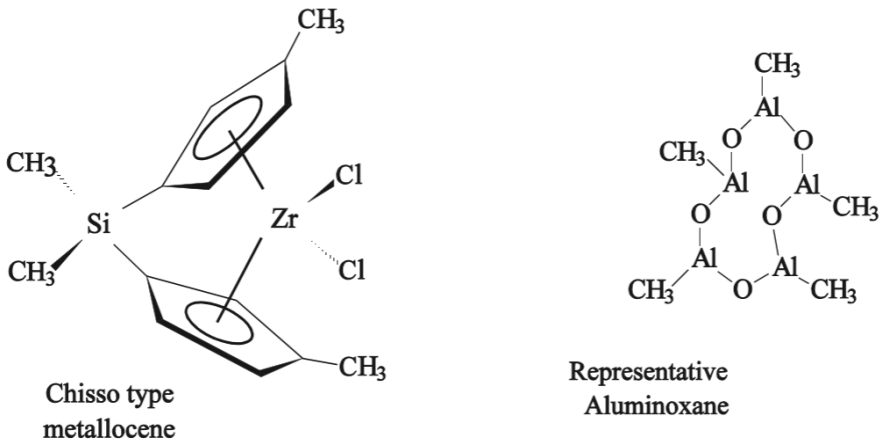


Figure II.9. Catalyseur à base de métallocène à site unique avec un co-catalyseur à base d'aluminoxane[37]

Les catalyseurs métallocènes (Fig. II.9) ont été découverts au début des années 1950 par Natta et Breslow et ont été utilisés pour la fabrication de polyéthylène en 1957. Ces catalyseurs ont été utilisés pour produire du polystyrène syndiotactique en 1984 et du polypropylène syndiotactique (FINA) en 1986. Cependant, la commercialisation du polyéthylène n'est arrivée qu'au milieu des années 90, les avantages des nouveaux systèmes de catalyseurs n'ayant pas été pleinement appréciés. Les catalyseurs métallocènes utilisés aujourd'hui contiennent couramment un co-catalyseur pour augmenter l'activité du catalyseur.

Les premiers catalyseurs métallocènes étaient des complexes de biscyclopentadiényl titane et du chlorure de dialkylaluminium. Ces catalyseurs n'étaient pas stables et produisaient des rendements très faibles. Cependant, ils ont été les premiers systèmes catalytiques à produire des copolymères de polypropylène et de butène-1 avec une très grande uniformité de comonomère, du fait qu'ils n'avaient qu'un seul type de site actif.

Dans les années 1980 et 1990, des techniques améliorées de caractérisation des polymères ont été utilisées pour expliquer certaines des caractéristiques, notamment un voile plus intense et des extractibles plus élevés du LLDPE. Les catalyseurs Ziegler-Natta traditionnels se sont avérés avoir trois types différents de sites sur les particules de catalyseur.

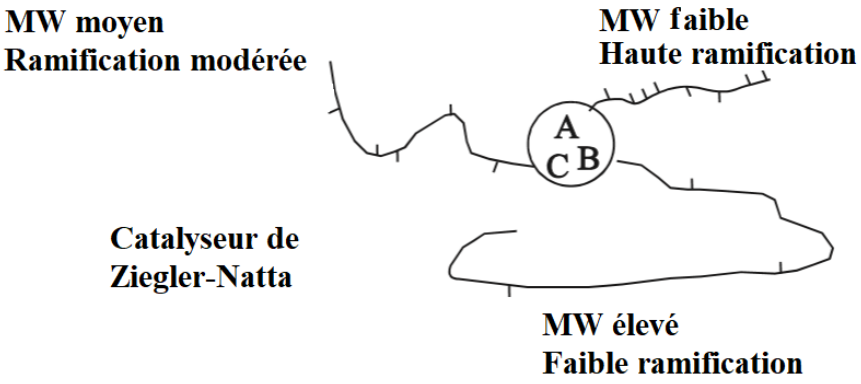


Figure II.10. Sites catalytiques de Ziegler-Natta (Remarque : la «ramification» découle de l'incorporation du comonomère, les groupes latéraux ne sont donc pas de véritables branches.)[37]

Comme le montre la figure II.10 ci-dessus, un type de site produisait une espèce à faible poids moléculaire avec une forte proportion de comonomère. Un autre site a produit une espèce à haut poids moléculaire avec très peu de comonomère, et le troisième type de site a produit l'espèce prédominante à poids moléculaire moyen avec une quantité moyenne de comonomère, qui était le polymère souhaité.

Lorsque le contenu du comonomère a été augmenté pour produire des densités inférieures à 0.91 g/cm^3, le pourcentage de matériau de faible poids moléculaire avec une concentration

élevée de comonomère a augmenté. Les substances extractibles et les odeurs sont dues à cette espèce à faible poids moléculaire. Le trouble dans le LLDPE est principalement dû à la fraction linéaire à haut poids moléculaire qui développe un degré élevé de cristallinité.

Les catalyseurs métallocènes, quant à eux, ne contiennent qu'un type de géométrie de site. Ils sont donc souvent appelés catalyseurs à site unique (Fig. II.11). Ils produisent le copolymère souhaité, en incorporant le comonomère proportionnellement à la quantité ajoutée au réacteur. Cela se traduit par de meilleures propriétés. Comparés aux catalyseurs de Ziegler-Natta, les catalyseurs à base de métallocène, en fournissant un meilleur contrôle de la teneur en comonomères, produisent une incorporation plus uniforme et un contrôle amélioré de la DPM. Cela se traduit par une clarté améliorée et une plus faible capacité d'extraction, ce qui permet une plus grande incorporation du comonomère. La résistance à la traction et la résistance à la déchirure sont toutes deux améliorées et le polymère a un toucher plus doux.

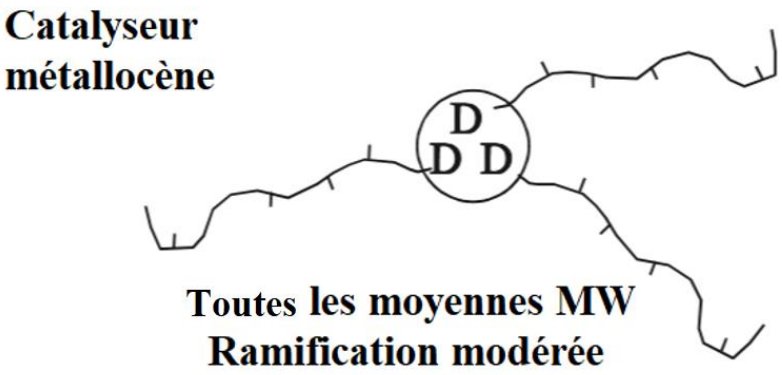


Figure II.11. Catalyseur au métallocène ; site unique (Remarque : la «ramification» découle de l'incorporation du comonomère, les groupes latéraux ne sont donc pas de véritables branches.)[37]

La principale classe de catalyseurs à base de métallocène utilisée aujourd'hui est celle des catalyseurs Kaminsky-Sinn. [40] Ils sont à base de titane, de zirconium ou d'hafnium et utilisent le méthylaluminoxane comme co-catalyseur. Ces catalyseurs produisent une incorporation de comonomère très uniforme et des distributions de poids moléculaires très étroites.

La figure II.12 montre les résultats pour les substances extractibles à l'hexane sur des LLDPE classiques et sur des polymères métallocènes de densité inférieure, mais à teneur similaire en comonomère. La figure II.13 montre l'effet du changement de catalyseur sur la brume dans les films.

Les catalyseurs métallocènes permettent également l'incorporation de nouveaux comonomères qui ne peuvent pas être utilisés avec des catalyseurs Ziegler-Natta plus anciens.

Des alpha-oléfines longues peuvent être incorporées, donnant l'effet d'une ramification contrôlée à longue chaîne et offrant certains des avantages du LDPE, tels que le thermoscellage amélioré, ainsi que les avantages procurés par le contrôle des MW et MWD.

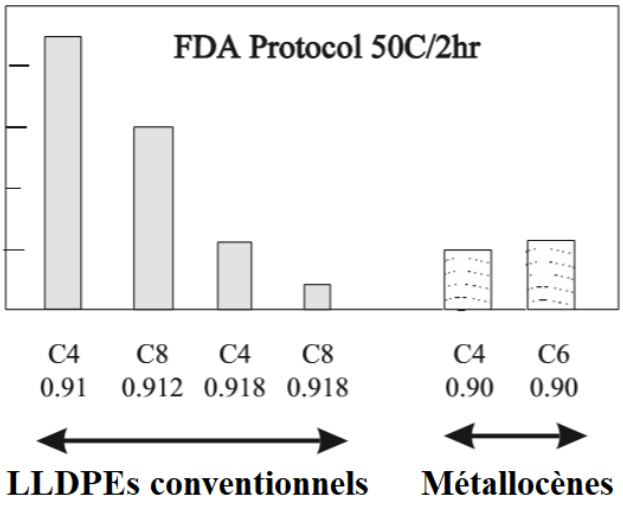


Figure II.12. Matières extractibles à l'hexane, aux densités indiquées [37]

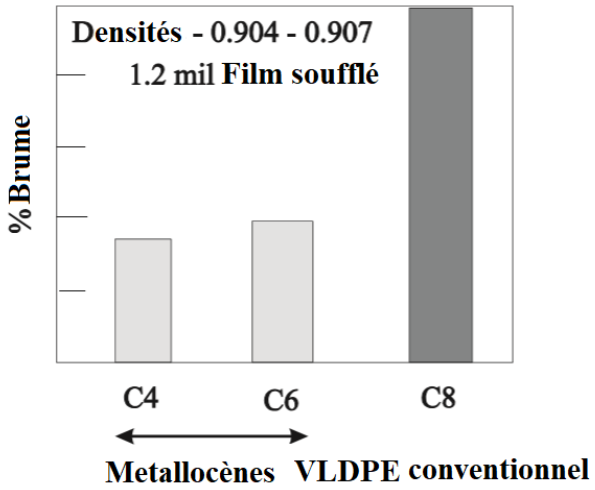


Figure II.13. Effet du changement de catalyseur sur la brume dans les films [37]

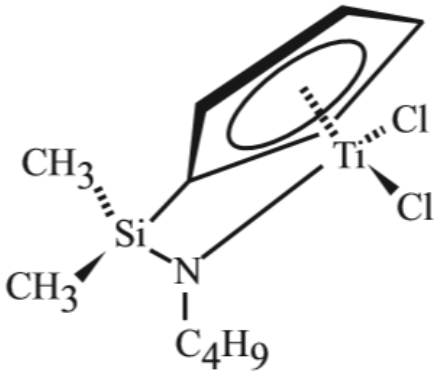


Figure II.14. Catalyseur à géométrie contrainte [37]

Les catalyseurs à géométrie contrainte (Figure II.14) sont utilisés pour produire un LLDPE à « ramification à chaîne longue » contrôlée (LCB). Ces branches dites à longues chaînes résultent de l'incorporation d'α-oléfines supérieures, qui sont de longs alcènes (plus longs que l'octène) avec une double liaison à une extrémité.

Le traitement est similaire à LLDPE. La MWD plus étroite des métallocènes se traduit par une viscosité plus élevée à des taux de cisaillement élevés et, par conséquent, des exigences de puissance plus élevées pour l'extrudeuse.

Le contrôle amélioré de la structure du polymère offert par ces catalyseurs offre au producteur de polymère une capacité considérablement plus grande d'adapter le polymère aux besoins de l'utilisateur final. La recherche sur les polymères avec des catalyseurs à base de métallocène se poursuit. On peut donc s'attendre à davantage de progrès pour le polyéthylène, le polypropylène et d'autres polyoléfines.

II.4. Tendances de propriété dans la famille du polyéthylène

La famille des polyéthylènes possède de nombreuses propriétés communes. Les tableaux II.4 et II.5 ci-dessous montrent la relation entre ces propriétés et le poids moléculaire, la DPM et la densité.

Tableau II.4 Effet de la densité sur la perméabilité à l'oxygène et à l'eau du polyéthylène[37]

Densité de polyéthylène g/cm^3	WVTR g mm / m^{2}day	Perméabilité à l'oxygène cm^3 mm/m^{3}dayatm
0.910	0.866	275
0.915	0.779	256
0.920	0.685	225
0.925	0.579	201
0.930	0.465	165
0.935	0.366	137
0.940	0.276	104
0.945	0.244	91.3
0.950	0.208	76.4
0.955	0.185	70.1
0.960	0.145	61.0

Tableau II.5 Tendances des propriétés en polyéthylène [37]

À mesure que le poids moléculaire augmente :	
Résistance à la traction	Augmente
Résistance aux chocs	Augmente
Clarté	Augmente
Élongation ultime	Augmente
Force de fonte	Augmente
Résistance à la déchirure	Diminue
À mesure que la distribution de poids moléculaire s'élargit :	
Élongation ultime	Diminue
Impact de déchirure	Diminu
La résistance aux chocs	Diminue
Pression de fusion	Diminue
Force de fonte	Augmente
À mesure que la densité augmente :	
Résistance à la traction	Augmente
Température de fusion	Augmente
Clarté	Diminue
Élongation ultime	Diminue
Résistance au déchirement	Diminue
Résistance aux chocs	Diminue
Blocage	Diminu
Perméabilité au gaz	Diminue

II.5. Conclusion

Le polyéthylène avec son large spectre de propriétés physiques est utilisé dans une multitude d'applications. La clé de son adaptabilité réside dans sa morphologie semi-cristalline ajustable, qui peut être contrôlée en manipulant des variables moléculaires et de traitement. La ténacité, la dureté, la clarté et d'autres caractéristiques physiques peuvent être régulées en modifiant son poids moléculaire, son type de comonomère et sa teneur en comonomère. Des résines adaptées à la plupart des procédés de fabrication thermoplastiques du commerce peuvent être créées en contrôlant le poids moléculaire, la distribution du poids moléculaire et les caractéristiques de ramification. Dans le monde, la consommation annuelle de polyéthylène

dépasse 40 milliards de kilogramme, dont environ 35% sont utilisés aux États-Unis. Un polyéthylène haute densité, basse densité et linéaire basse densité remplit la grande majorité de cette demande, un copolymère d'éthylène-acétate de vinyle, un polyéthylène de très basse densité et des ionomères étant utilisés dans des quantités bien moindres.[36]

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

[1] Scarre, C. (Ed.). (1993). Smithsonian timelines of the ancient world. Smithsonian Institution.

[2] Morris, B. A. (2016). The science and technology of flexible packaging: multilayer films from resin and process to end use. William Andrew.

[3] Demirors, M. (2011). The History of Polyethylene. In 100+ Years of Plastics. Leo Baekeland and Beyond (pp. 115-145). American Chemical Society.

[4] Bezigian, T. (Ed.). (1999). The Extrusion Coating Manual. Tappi Press.

[5] Giles, G. A., Fasman, G. D., & Bain, D. R. (Eds.). (2001). Technology of plastics packaging for the consumer market. CRC Press.

[6] BCC Research. History of plastic sheet ;2013. Consulté le 18/05/2019, à partir de: http://www. bccresearch.com/blog/report-archives/historyplastic-sheet.html.

[7] Djordjevic, D. (1992). Coextrusion (Vol. 62). iSmithersRapra Publishing.

[8] Frey, T. D., Albright, J. A. (1986). Coextrusions for flexible packaging. In: Baker M, editor. Wiley encyclopedia of packaging technology. New York: John Wiley and Sons; p. 199.

[9] General Packaging Equipment. History of the VFFS machine and general; 2013. Consulté le 18/05/2019, à partir de : http://www.generalpackaging. com/history.html.

[10] Doug and Linda's Dairy Antique Site. Wax milkcontainers; 2013. Consulté le 18/05/2019, à partir de: http://dairyantiques.com/Wax_Milk_ Containers.html.

[11] Büsser, S., Steiner, R., Jungbluth, N., & FPE, F. P. E. (2008). LCA of Packed Food Products. Brussels: ESU Services Ltd. for Flexible Packaging Europe.

[12] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, Population Estimates and Projections Section, UN world population prospects, the 2010 revision;2010. Consulté le 18/05/2013, à partir de : http://esa.un.org/ unpd/wpp/index.htm.

[13] Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., &Meybeck, A. (2011). Global food losses and food waste: extent, causes and prevention. FAO, Rome.

[14] Institution of MechanicalEngineers. Global food.Wastenot,wantnot;2013.consulté le 18/05/2019, à partir de : http://www.imeche.org/knowledge/ themes/environment/global-food.

[15] Flexible Packaging Association. (2009). Flexible packaging, less resources, less footprint, more value. 3rd ed.

BIBLIOGRAPHIE

[16] SPI. The Plastics Industry Trade Association, Plastics in Packaging, consulté le 18/05/2019, à partir de : http://www.plasticsindustry.org/About Plastics/content.cfm?ItemNumber¼636&nav ItemNumber¼1118.

[17] Anthony S. A public service announcement for packaging?. Packaging World; 2013. February 19, consulté le 19/02/2019, à partirde : http://www. packworld.com/print/54474.

[18] Ragsdale TE. Food packaging study, Areporton environmental impact. Ashland Food Cooperative; 2005. Consulté le 18/05/2013, à partir de: http:// www.ashlandfood.coop/sites/default/files/ packaging-study.pdf.

[19] Spalding MA. A global flexible-packaging market SWOT statement to 2016. In: The converting Curmudgeon, Consulté le 21/04/2019, à partirde : http://converting curmudgeon.com/2013/04/21/a-global-flexiblepackaging-market-swot-statement-to-2016/.

[20] SmithersPira. Marketreports;2013. Consulté le 18/05/2019, à partir de : https://www.smitherspira. com/MarketReports/Home.aspx.

[21] Freedonia. Industry market research;2013. Consulté le 18/05/2019, à partirde : http://www. freedoniagroup.com/?ReferrerId¼AP-Adwords &gclid¼CLPf_IiLo7cCFYyZ4AodLS4AYA.

[22] Visiongain. Packaging;2013. Consulté le 19/05/2019, à partir de : http://www.freedoniagroup.com/? ReferrerId¼AP-Adwords&gclid¼CLPf_ IiLo7cCFYyZ4AodLS4AYA.

[23] BCC Research. Plastics;2013. Consulté le 20/05/2019, à partir de : http://www.bccresearch.com/index/ category/code/plastics.

[24] PCI Films Consulting Limited. Flexible packagingmarketreports;2013. Consulté le 19/05/2019, à partir de : http://www.pcifilms.com/main.asp? selection¼Market Studies&subsel¼Flexible PackagingMarket Reports.

[25] U.S. Census Bureau. North American Industryclassification system, Consulté le 18/05/2019, à partir de : http://www.census.gov/eos/www/naics/ index.html.

[26] Flexible Packaging Association. Report to members. 2012. Consulté le 18/05/2019, à partir de : http://www.flexpack.org/PDFs/Misc_Reports/ FPA_RTM2011.pdf.

[27] Homan J. European and global markets for flexible packaging. In: FPA Annual Conference, Arizona; 2012. Consulté le 19/05/2019, à partir de : https://www.flexpack.org/MEMONL/mo_ presentations/2012_am/Jan_Homan.pdf.

BIBLIOGRAPHIE

[28] Smithers P. Versatility and innovation to drive global flexible packaging market, Consulté le 18/05/2019, à partirde : https://www.smitherspira. com/versatility-and-innovation-to-drive-globalflexible-packaging-market.aspx.

[29] Flexible Packaging Association. Flexible packagingfacts&figures;2013. Consulté le 18/05/2019, à partir de : http://www.flexpack.org/INDUST/industry_ facts_figures.asp.

[30] European Commission. Moving towards a circular economy. 2015. Consulté le 25/04/2019, à partir de : http://ec.europa.eu/environment/circulareconomy/index_en.htm.

[31] Romanik R. Eleven trends shaping flexible packaging. In: Packaging world, 2013; 2013. Consulté le 25/04/2019, à partir de : http://www. packworld.com/print/54859.

[32] Freedonia. Description of converted flexible packaging to 2015;2013. Consulté le 18/06/2019, à partir de : http://www.freedoniagroup.com/ Converted-Flexible-Packaging.html.

[33] Converting Quarterly. Global flexible packaging market to reach $90 billion in 2016;2013. viewed on May 18, 2013, from: http://www. convertingquarterly.com/industry-news/articles/id/4600/global-flexible-packaging-marketto-reach-90-billion-in-2016.aspx.

[34] RosenbloomS.Solutionormess?Amilkjugfor a green earth. New York Times; 2008. June 30, viewed June 10, 2013, from: http://www. nytimes.com/2008/06/30/business/30milk. html?pagewanted¼all.

[35] Flexible Packaging Association. Flexible packaging lightweighting strategies and innovation. 2011. viewed June 10, 2013, from: http://www. flexpack.org/sustainable_packaging/FPA_ Lightweighting_White_Paper.pdf.

[36] Peacock, A. (2000). Handbook of polyethylene: structures: properties, and applications. CRC press.

[37] Selke, S. E., &Culter, J. D. (2016). Plastics packaging: properties, processing, applications, and regulations. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.

[38] https://fr.wikipedia.org/wiki/Éthylèneacétate_de_vinyle, , consulté le 03/08/2019

[39] Rees, R. W., & Vaughan, D. J. (1965). Surlyn. A Ionomers The Effects of Ionic Bonding on Polymer Structure, 287-295.

[40] Sinn, H., & Kaminsky, W. (1980). Ziegler-Natta catalysis. In Advances in Organometallic Chemistry (Vol. 18, pp. 99-149). Academic Press.

PARTIE 2 :

PARTIE EXPERIMENTALE

PARTIE 2 : PARTIE EXPERIMENTALE

Cette partie expérimentale est répartie en deux chapitre :

1- Chapitre III : Problématique et mode opératoire

Ce chapitre a pour objectif de présenter d'une part, les matériaux utilisés dans cette étude, la préparation des échantillons en utilisant l'extrusion gonflage, pour un film tri-couche d'un emballage : pochette de lait, en détaillant toutes les étapes de cette mise en forme, et les diverses techniques qui ont permis la caractérisation des films préparés. A savoir, L'infrarouge à transformée de Fourier (IR-TF) et les différents tests mécaniques (les tests mécaniques en traction, épaisseur…)

2- Chapitre VI : Résultats et discussion

Ce chapitre est consacré à exposer les résultats obtenus des analyses faites de nos échantillons, et les discuter afin de répondre à la problématique composée dans le chapitre précédent qui était d'« extraire les facteurs déterminant la qualité d'un film tri-couche de conditionnement pochette de lait en se basant sur l'élaboration de plusieurs formulations, et en choisir la meilleure qui donne de bons résultats de caractérisation ».Des projections des notions citées dans les chapitres précédents vont être utiles afin de pouvoir enrichir les discussions, en citant aussi des travaux d'autres auteurs qui ont abordé cette même problématique plus ou moins modifiée selon leurs intérêts.

CHAPITRE III :

PROBLEMATIQUE & MODE OPERATOIRE

CHAPITRE III : PROBLEMATIQUE & MODE OPERATOIRE

III.1. Introduction

Ce chapitre présente d'une part, les matériaux utilisés dans cette étude ainsi que l'élaboration des différents échantillons en utilisant la mise en forme appropriée (extrusion gonflage) pour un film tri-couche d'un emballage : pochette de lait, en détaillant toutes les étapes de cette mise en forme, et d'autres part, les diverses analyses qui ont permis la caractérisation des films préparés et qui sont les suivantes :

- L'infrarouge à transformée de Fourier (IR-TF).
- La résistance de l'impression.
- L'épaisseur moyenne.
- La largeur.
- L'allongement à la rupture (longitudinale-transversale).
- La résistance à la traction (longitudinale-transversale).
- Le module d'élasticité (longitudinale-transversale).
- La résistance à la déchirure (longitudinale-transversale).
- Le coefficient de frottement.

Au cours de cette partie, des rappels théoriques sur ces méthodes de caractérisation sont fournis afin de montrer leurs principes, modes opératoires et les informations qui peuvent être extraites pour caractériser nos échantillons.

Notre problématique est d'extraire les facteurs déterminant la qualité d'un film tri-couche de conditionnement pochette de lait en se basant sur l'élaboration de plusieurs formulations, et en choisir la meilleure qui donne de bons résultats de caractérisation.

III.2. Produit élaboré et matériaux utilisés

III.2.1 Produit élaboré

Le film à usage pochette de lait est fabriqué à partir de deux matières de base Polyéthylène Basse Densité, dont une est de type radicalaire (LDPE) et une de type Linéaire (LLDPE) et d'un colorant blanc de qualité alimentaire. [Annexe 01]

Le film tri-couche d'emballage conditionnement du lait est tenu de satisfaire un certain nombre de critères :[Annexe 01]

- Alimentarité ;
- Résistance à la traction et allongement ;
- Glissement du film ;

- Opacité (barrière à la perméabilité des gaz, rayonnement etc…)
- Soudabilité, souplesse et brillance du film.

Chimiquement :[Annexe 01]

- Il ne doit présenter aucun effet aux sels, aux bases et à la plupart des acides.
- Il ne doit présenter aucune odeur sensible, ni saveur aux températures courantes, et exempt d'action toxique ni par contact ou ingestion.
- Sa perméabilité à la vapeur doit être très faible, et une absorption d'eau inférieure à 0.4%.

Le film tri-couche pochette de lait doit répondre à certaines exigences techniques et physiques qui peuvent être résumées dans le tableau III.1 suivant :

Tableau III.1 Exigences techniques et physiques d'un film tri-couche pochette de lait [Annexe 01, 02]

Propriétés	**Unités**	**Exigences**	**Norme**
Largeur (Laize)	mm	320 à 324 ± 2	
Epaisseur	mm	0.07 à 0.08 ± 5	
Résistance à la traction longitudinale	MPa	16 à 24	ISO R527
Résistance à la traction transversale	MPa	10 à 22	ISO R527
Allongement à la rupture longitudinale	%	400 à 700	ISO R527
Allongement à la rupture transversale	%	690 à 860	ISO R527
Module d'élasticité longitudinale	MPa	13 à 15	ISO R527
Module d'élasticité transversale	MPa	10 à 13	ISO R527
Résistance à la déchirure longitudinale	Gr	900 à 1000	ISO R527
Résistance à la déchirure transversale	Gr	1000 à 1200	ISO R527
Elongation ultime longitudinale	%	970	ISO R527
Elongation ultime transversale	%	1220	ISO R527
Grade du PEBD	g/10 min	0.7 à 1	ISO R292
Rétractabilité à chaud longitudinale	%	75	CENT CM24
Rétractabilité à chaud transversale	%	15	CENT CM24
Dart test	Gr	800	ASTMD 1709
Coefficient de friction	-	0.3	ASTMD 1894
Résistance à la soudure à 115 °C	N/mm	18/15	

Les caractéristiques des différentes couches sont les suivantes :[Annexe 01]

- **Couche externe :** Blanche traitée et brillante recevant les encres d'impression alimentaires, et convenable à la soudure.
- **Couche intermédiare :** Opaque blanche assurant une barrière à la perméabilité, permettant une meilleure conservation du produit.
- **Couche interne :** Neutre, au contact avec l'aliment (lait, l'ben) du film bobiné.

III.2.2Matériaux utilisés

Pour synthétiser nos films, on a utilisé les matériaux suivants :

a. Polyéthylène métallocène mPE

Le polyéthylène métallocène basse densité linéaire (mPE) utilisé est un copolymère de l'éthylène avec 1-Hexène produit par The DOW Chemical Company aux USA et commercialisé sous le nom de « DOWLEX ™2106GC LLDPE ». Il a été gracieusement offert par l'Entreprise SOEXPLAST [Annexe 03 (b)] du groupe ENPC [Annexe 03 (a)]. Les principales propriétés de ce polymère, selon la fiche technique du fournisseur [Annexe 04], sont résumées dans le Tableau III.2 :

Tableau III.2. Propriétés physico-mécaniques du « DOWLEX ™ 2106GC LLDPE »

Propriété	Unité	Valeur	Norme
Densité	g/cm^3	0.917	ASTM D792
Indice de fusion (190 °C/2.16 kg)	g/10 min	3.3	ISO 1133
Résistance à la traction - Limite élastique (23 µm), film coulé - Rupture (23 µm), film coulé	 MPa MPa	 6.20/5.50(MD/TD) 38.0/21.0(MD/TD)	ASTM D882
Allongement à la traction - Rupture (23 µm), film coulé	 %	 500/780(MD/TD)	ASTM D882
Essai au choc de dard (23 µm), film coulé	g	140	ASTM D1709A
Etirement du film - allongement maximum (23 µm), film coulé	%	260	Méthode DOW
Etirement du film- étirement maximal à la perforation (23 µm), film coulé	%	160	Méthode DOW
Température de fusion	°C	220 à 280	
Brillance à 45° (23 µm), film coulé		93	ASTM D2457
Brume (23 µm), film coulé	%	0.60	ASTM D1003

b. Polyéthylène basse densité radicalaire (LDPE)

Le LDPE utilisé est un polyéthylène (homopolymère) basse densité additivé. Il contient un antioxydant, un antidérapant et un anti-bloquant. Il se caractérise par une bonne résistance à l'état fondu menant à une bonne stabilité des bulles lors de l'extrusion du film soufflé. Il est livré sous forme de pellets sous le grade « Lupolen 2427 F » qui est produit par « Lyondellbasell » aux USA et commercialisé. Ses principales propriétés, telles qu'elles sont données par le fournisseur [Annexe 05], sont résumées dans le Tableau III.3 :

Tableau III.3. Propriétés physico-mécaniques du « Lupolen 2427 F »

Propriété	**Unité**	**Valeur**	**Norme**
Densité	g/cm^3	0.924	ISO 1183-1
Indice de fusion (190 °C/2.16 kg)	g/10 min	0.75	ISO 1183-1
- Module de traction - Contrainte de traction à la limite d'élasticité	MPa MPa	260 11	ISO 527-1,-2 ISO 527-1,-2
Résistance à la traction - Limite élastique - Rupture	 MPa %	 24/22(MD/TD) 300/600(MD/TD)	 ISO 527-1,-3 ISO 527-1,-3
Point de fusion maximal	°C	111	ISO 3146
Température d'extrusion	°C	170 à 220	
- Brillance - à20° - à 60°		 >40 <90	 ASTM D2457 ASTM D2457
Brume	%	<8	ASTM D1003
Additifs - Agent glissant, Erucamide - Antibloc, Silice naturelle	 ppm ppm	 500 900	 LYB Method ISO 3451-1

c. Polyéthylène basse densité radicalaire linéaire (LLDPE)

SABIC LLDPE 118WJ est une résine de polyéthylène linéaire basse densité au butène, généralement utilisée pour les applications à usage général, produite par la société Sabic de l'Arabie Saoudite. Les films produits à partir de cette résine sont résistants, avec une bonne résistance à la perforation, une résistance élevée à la traction et de bonnes propriétés de remplissage. La résine contient un additif antidérapant et antidérapant. SABIC LLDPE 118WJ

est exempt de TNPP. Ce produit n'est pas destiné à et ne doit pas être utilisé dans des applications pharmaceutiques / médicales. Les principales propriétés de ce polymère, selon la fiche technique du fournisseur [Annexe 06], sont résumées dans le Tableau III.4 :

Tableau III.4. Propriétés physico-mécaniques du « SABIC LLDPE 118WJ »

Propriété	Unité	Valeur	Norme
Densité	g/cm^3	0.918	ASTM D1505
Indice de fusion (190 °C/2.16 kg)	g/10 min	1	ASTM D1238
Formulation		Agent de glissement Agent anti-blocage	
Résistance aux chocs de dard	g/µm	145	ASTM D1709
Module de sécante à 1%	MPa	220/260(MD/TD)	ASTM D882
- Contrainte de rupture - Allongement à la rupture - Contrainte au seuil d'écoulement	MPa % MPa	40/32(MD/TD) 750/800(MD/TD) 11/12(MD/TD)	ASTM D882 ASTM D882 ASTM D882
Résistance à la déchirure Elmendorf	g	165/300(MD/TD)	ASTM D1922
Brillance à 60°		60	ASTM D2457
Brume	%	10	ASTM D1003

d. Colorant à base de PE

Le colorant « POLYTEC Blanc PT 110470 » est un mélange de couleur blanc à base de polyéthylène adapté à tous les processus conventionnels, recommandé d'utiliser le LDR de 2-5% dépendant à l'application choisie. Les principales propriétés de ce colorant, selon la fiche technique du fournisseur [Annexe 07], sont résumées dans le Tableau III.5 :

Tableau III.5. Propriétés physico-mécaniques du « POLYTEC Blanc PT 110470 »

Propriété	Unité	Valeur	Norme
Polymère de base		PE	PT STD
Polymère de base &contenu additif	%	40	PT STD
Contenu pigment blanc	%	60	PT STD ISO
Indice de fusion	g/10 min	30	ASTM D1238
Application de contact alimentaire		Oui	AP (89)1
Migration		5	DIN 53775 PART3
Sans métaux lourds		Oui	Directive 2002/96/EC

CHAPITRE III : PROBLEMATIQUE & MODE OPERATOIRE

Les photos ci-dessous montre les différentes matières premières utilisées dans nos élaborations :

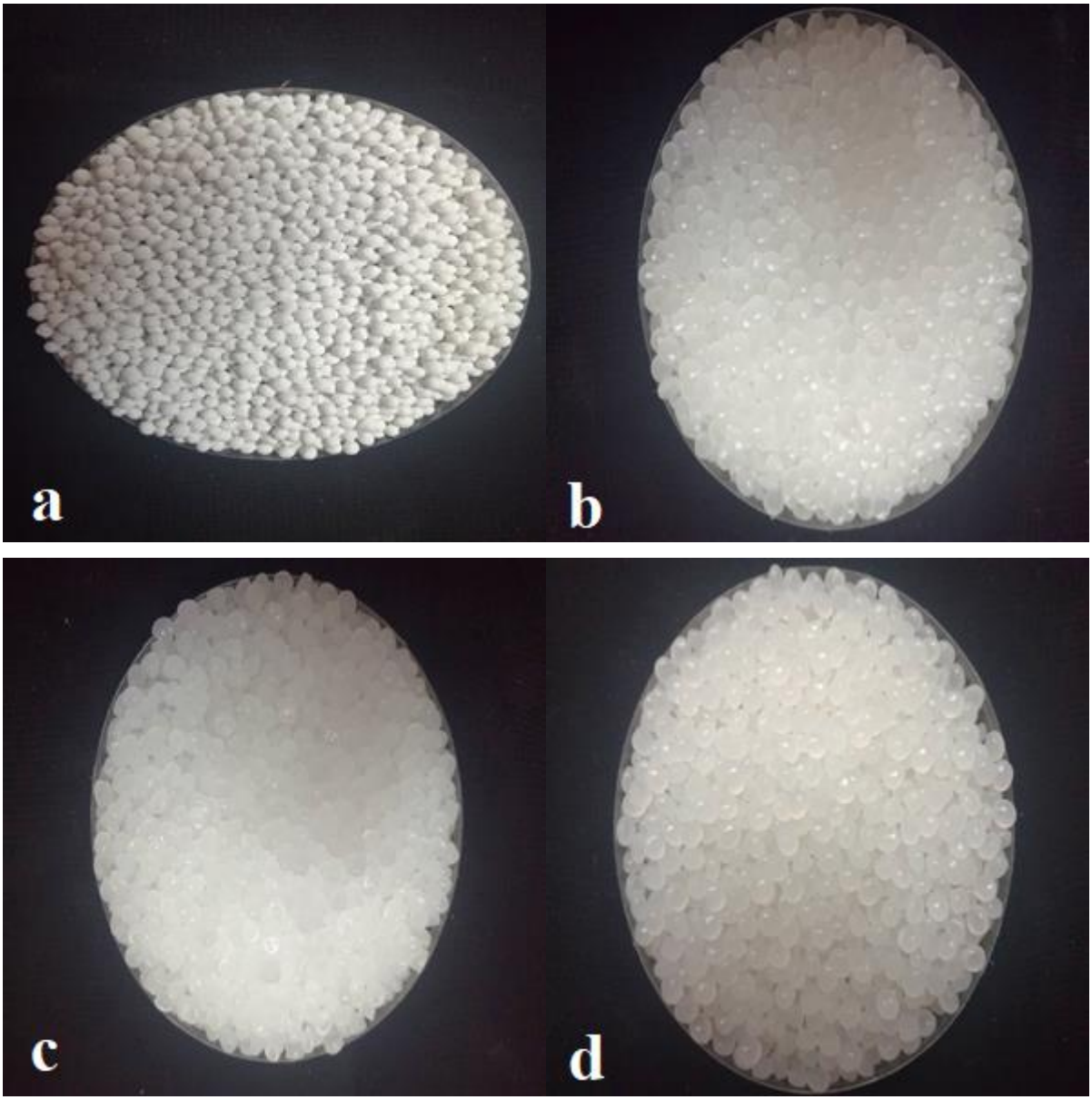


Figure III.1. (a) Colorant (b) LDPE (c) LLDPE (d) mPE

La figure montre les matières premières utilisées dans l'élaboration de nos films, elles sont fabriquées sous forme de granulés blancs de forme ovoïde. Cette forme est très pratique à stocker, à manipuler, et bien adaptée aux processus (remplissage aisé des machines et malaxage facilité).

La production des granulés plastiques comprend plusieurs étapes, commençant par la synthèse de la résine (polymérisation et formulation) puis faire le compoundage qui s'agit de la mise en forme du formulat (se présentant par exemple sous forme de boudins en sortie de

malaxeur) par extrusion au travers d'une filière à trous circulaires, puis coupe des cordons refroidis et séchage pour fabriquer des granulés de 1 à 5 millimètres de diamètre.

Le colorant est de couleur blanche de composition de 60% de pigment TiO_2et 40% de polymère de base qui doit être le même que le polymère mis en jeu (le polyéthylène) pour assurer le pouvoir de mélange avec la résine. Contrairement aux colorant qui sont absorbés par le support et s'unissent chimiquement aux molécules qu'ils colorent, les pigments se fixent uniquement à la surface de l'objet. Malgré que le TiO_2utilisé est alimentaire selon la fiche technique, son ajout est fortement déconseillé pour la santé à cause de sa taille micrométrique et nanométrique[1], et c'est pour cela qu'il est juste ajouté dans la formulation de la première et la deuxième couche du film tri-couche.

Le colorant est utilisé afin de blanchir et intensifier la brillance du film de la pochette de lait afin de créer l'opacité qui sert à retarder la dégradation du contenu (lait et produits laitiers). Les produits alimentaires et les boissons présentent des sensibilités très variables à la lumière naturelle ou artificielle. [1] En raison de leur composition, le lait et les produits laitiers constituent d'ailleurs un cas idéal pour effectuer l'étude de la photosensibilisation des produits alimentaires. [2-7]La photosensibilité dépend surtout de leur composition globale et de leur teneur en riboflavine en particulier, qui agit comme photosensibilisateur. Maints autres composés tels que produits soufrés, antioxydants et métaux lourds, ainsi que la composition de la matière grasse jouent en général un rôle déterminant. La photosensibilité des produits alimentaires dépend encore de nombreux autres facteurs, au nombre desquels on peut citer :

- leur teneur en oxygène dissous ou disponible, donc la perméabilité de leur emballage à ce gaz;
- leur température ;
- la durée de leur exposition à la lumière ainsi que l'intensité et le spectre d'émission de la source utilisée ;
- la translucidité de leur emballage, qui détermine le niveau énergétique des réactions de photo-oxydation ;
- leurs caractéristiques spectrales de réflexion, de transmission et d'absorption. [8]

Le risque d'apparition de défauts dus à la lumière est encore accru par certains facteurs tels que l'influence de la saison (plus grande sensibilité en hiver), l'homogénéisation du lait, de même que la température de stockage des produits emballés. [9]

[1]C'est surtout le fait que cette substance contienne des nanoparticules – d'une taille inférieure à 100 nanomètres facilitant leur pénétration dans l'organisme – qui soulève depuis plusieurs années l'inquiétude des associations de défense des consommateurs et de l'environnement.Il semblerait que le dioxyde de titane soit en mesure de pénétrer la paroi de l'intestin et de se retrouver dans l'organisme causant des troubles du système immunitaire.

A partir de la figure III.1, nous constatons que les granulés des différents polymères sont souples, agréables au touché et de couleur blanche opaque, mais à l'œil nu, on remarque que cette couleur vire vers le jaunâtre pour le LLDPE, alors qu'elle est plus apparente pour les mPE, et ce à cause des additifs de chaque polymère utilisé.

La ramification de la chaîne dans le LDPE homopolymère confère à ce polymère un certain nombre de caractéristiques souhaitables telles que la clarté, et c'est ce qui rend ce polymère plus clair que les autres polymères, il a un aussi un faible pourcentage de cristallinité ce qui le rend plus transparent. Malgré que le LLDPE est plus résistant que le LDPE à des densités équivalentes, cependant, le LDPE est toujours préféré dans les applications exigeant une grande clarté ou pour le revêtement par extrusion d'un substrat.

Comparés aux catalyseurs de Ziegler-Natta, les catalyseurs à base de métallocène, en fournissant un meilleur contrôle de la teneur en comonomères, produisent une incorporation plus uniforme et un contrôle amélioré de la DPM. [10] Cela se traduit par une clarté améliorée des mPE par rapport au LLDPE, ce qui a été observé à l'œil nu en comparant les deux polymères.

III.3. Elaboration des échantillons

III.3.1. Le procédé de l'extrusion gonflage

Le gonflage de gaines ; avec l'extrusion de film à plat est un procédé très utilise en plasturgie permettant la mise en œuvre des films. Il s'agit d'un procédé d'extrusion pour lequel la filière est annulaire et permet donc la formation d'une gaine ; qui est ensuite découpée afin de former un film.

La plupart des polymères passent toujours une fois dans une extrusion qui sont sous forme de granulés pour fabriquer des films ; des tubes ; des gainages de câbles ; des profilés …etc.

La technique de production de film par extrusion gonflage consiste à extruder une mince gaine qui, momentanément pincée, est gonflée avec de l'air.

Le principe consiste à extruder de la matière au travers d'une filière annulaire au centre de laquelle est injecté de l'air. Une bulle se forme dont le diamètre correspond à la largeur de la gaine recherchée. En modulant la vitesse de tirage du banc d'enroulement, il est possible d'obtenir des épaisseurs variables (25 à plus de 100 µm avec nos équipements).

Les paramètres de réglage sont gérés par des équipements automatisés. Au cours du processus de fabrication, les opérateurs vérifient et relèvent périodiquement la conformité des caractéristiques des gaines (dimension, poids au mètre).

III.3.2. Le mode opératoire du procédé

b. Emmagasination de la matière première

La matière première est remplie dans de grands silos pour alimenter l'extrudeuse, comme c'est montré sur la figure III.2suivante :



Figure III.2. Les silos d'emmagasination de la matière première

c. Formulation des différents échantillons

On élabore cinq formules de films en voulant comparer :

1- Le taux de colorant utilisé, et son impact sur la qualité du film.

2- Le taux LDPE/LLDPE dans une formule et son impact aussi sur les propriétés mécaniques du film.

3- La comparaison entre le mPE et le LLDPE utilisé sur la qualité du film élaboré.

Tableau III.6. Différents échantillons élaborés [Annexes 8-12]

Echantillon		Colorant (%)	LDPE (%)	LLDPE (%)	mPE (%)
1	1ére couche	3	33	64	0
	2ème couche	5	33	62	0
	3ème couche	0	35	65	0
2	1ére couche	2	33	65	0
	2ème couche	4	33	63	0
	3ème couche	0	35	65	0
3	1ére couche	4	33	63	0
	2ème couche	6	33	61	0
	3ème couche	0	35	65	0
4	1ére couche	3	33	0	64
	2ème couche	5	33	0	62
	3ème couche	0	35	0	65
5	1ére couche	3	50	47	0
	2ème couche	5	50	45	0
	3ème couche	0	50	50	0

d. Alimentation et dosage de la matière première

La machine automatique d'extrusion gonflage des films tri-couches utilisée de l'usine est récente (2015) et de marque MAKI avec une capacité de production de 600 kg/h avec une tolérance d'épaisseur avancée « Sigma2 ».

La matière première est ajoutée dans la trémie sous forme de granulés ; la trémie alimente en continu le cylindre chauffé contenant trois vis rotatifs :

1- Vis A : la couche extérieure ;

2- Vis B : la couche intermédiaire ;

3- Vis C : la couche intérieure.

Chaque couche a 4 différents dosages, par exemple : A1 A2 A3 A4 / B1 B2 B3 B4 / C1 C2 C3 C4.

Nous pouvons ainsi faire 4 différents dosages dans une seule vis Par exemple :
A1 : linéaire ; A2 radicalaire ; A3 : vide ; A4 : colorant.



Figure III.3. Trémies et système de dosage

Le système de pesage (ou dosage) a pour but de peser chaque vis àla dose prescrite à l'aide d'un vérin automatique ; la vis assure à la fois le chauffage par le fourreau qui est reparti en plusieurs zone :

1- Zone d'alimentation (ou culasse) : permet un transport régulier, et un compactage de la matière. Le chenal de la vis est rempli de grains de matière solide qui sont comprimés entre eux. Au bout de quelques filets, cet ensemble solide progresse en bloc à l'intérieur du canal, entraîné vers l'avant par friction au contact de la paroi du cylindre. Une bonne adhérence de la matière sur la paroi du cylindre est recherchée, pour augmenter le processus d'écoulement en bloc. Ainsi la température de la vis doit être inférieure à celle du fourreau, et suivant les formulations, elle peut être refroidit par un liquide caloporteur passant à l'intérieur. Pour éviter

une fusion trop rapide des grains après la trémie et éviter les bouchons. Il est parfois nécessaire de refroidir aussi le fourreau.

2- Zone de fusion (ou de compression) : le cylindre est chauffé, le mécanisme de fusion commence lorsqu'un film de matière se forme entre le lit solide et la paroi chaude du fourreau. Après que le mécanisme de fusion est commencé, le lit solide continue d'avancer en bloc alors que la matière fondue tourne sur elle-même, entraînée à l'arrière du canal par la face avant du filet de vis. Dans cette zone le diamètre intérieur de la vis augmente, donc la hauteur du filet diminue, ce qui a pour but de forcer la fusion du lit solide.

3- Zone de pompage (ou de régularisation, homogénéisation, malaxage) : partie cylindrique située en bout devis, homogénéise la matière et régule le débit. Elle sert à porter le polymère à la pression nécessaire pour assurer l'écoulement dans la filière au débit voulu. La hauteur de filet est à nouveau constante mais plus faible que dans la zone d'alimentation. Elle doit permettre une bonne homogénéisation de la matière avec les adjuvants ou les pigments.

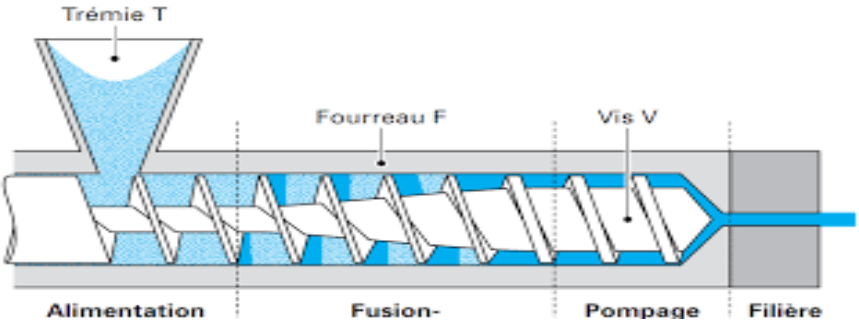


Figure III.4. Les zones de la vis

e. Extrusion de la matière première

Ensuite ; le malaxage se produit pour améliorer la stabilité de l'extrusion, on cherche à améliorer la capacité de fusion d'une vis en décalant la zone de fusion vers l'arrière. La mise en pression et le dosage du polymère qui est refoulé sous pression dans la tête d'extrusion ; la tête contient une filière pour donner une pâte à l'aide des régulateurs de température grâce aux colliers et aux ventilateurs.



Figure III.5. Parties de l'extrudeuse (vis +fourreau)

f. Gonflement de l'extrudât

Le polymère fondu est entrainé à la sortie verticalement de la filière par des rouleaux pinceurs pour être étiré et gonflé au contact de l'air où il est emprisonné à l'intérieur de la bulle et se réchauffe rapidement ; lorsque le débit est élevé, il faut accélérer le refroidissement puis il ya un système d'aspiration qui aspire l'air frais et retire l'air pollué (qui contient le solvant).

L'extrudât est refroidi par un anneau de refroidissement tandis que de l'air est insufflé à l'intérieur pour former une bulle (Figure III.6). La bulle est ensuite mise à plat progressive entre les auvents pincés (Figure III.7) pour éviter les plis pour être tiré entre les cylindres de tirage qui lui assure une vitesse de rotation stable et une pression contrôlée de manière à ne pas fragiliser le film au niveau des plis.

La filière subit deux étirages mécaniques ; le premier dans le sens de la hauteur qui est dûà la différence de vitesse entre le tirage et la vitesse d'extrusion et qui s'appelle un étirage longitudinal ; le deuxième dans le sens de largeur est dû à l'air, légèrement sous pression contenu dans le ballon, et qui s'appelle l'étirage transversal.

Le ballon de gonflage a 18 mètres avec un tirage rotationnel pour avoir une épaisseur homogène dans les bobines (pour éliminer les points forts et faibles dans la bobine) avec un système de rotation de 64 petits moteurs qui ont pour but de varier le volume d'air entrant.



Figure III.6. La bulle de gonflage



Figure III.7. Les auvents pincés

g. Contrôle du film

Le but de la caméra contrôleur (Figure III.8), est pour calculer les points d'épaisseur (quand il ya un point faible le moteur augmente le volume d'air et le contraire en cas d'existence des points forts. C'est un système très important pour avoir une bonne homogénéité d'épaisseur.



Figure III.8. Caméra contrôleur

h. Traitement corona

Pour obtenir un mouillage suffisant et une adhésion adéquate sur le film plastique, un prétraitement juste avant l'unité d'impression, de complexage ou d'enduction est nécessaire.

La solution pour optimiser le mouillage et l'adhésion d'un support est dans l'utilisation d'une unité de décharge corona depuis que cette technique a prouvé sa haute efficacité avec un coût modéré et sa facilité d'insertion dans une ligne de production.

Le traitement corona est une décharge électrique à haute fréquence vers la matière. Il en résulte une amélioration de la connexion chimique (dyne/cm) entre les molécules dans le plastique et le liquide appliqué (encre d'impression). Le traitement de surface ne réduit pas ou ne change pas la résistance de la matière. Cela ne change pas non plus son apparence.

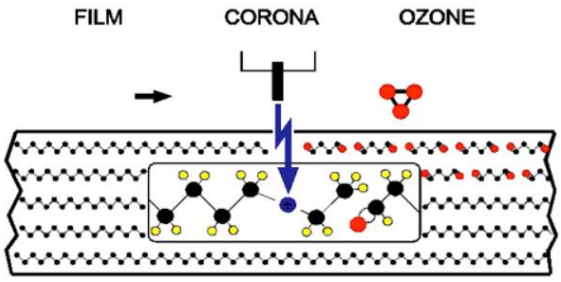


Figure III.9. Traitement corona de la surface du film

i. Enroulement et bobinage

Après enroulement (Figure III.10) et bobinage (Figure III.11) à l'aide des paramètres de réglage de longueur des bobines conditionnées ; il est nécessaire de découper le film selon les besoins de conditionnement mentionnés par le client.

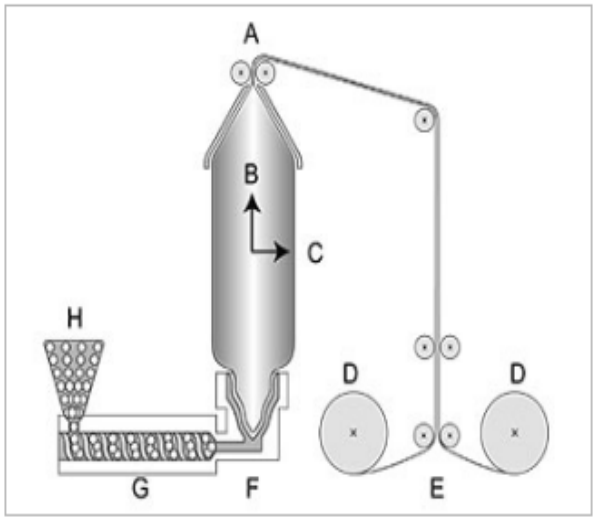


Figure III.10. Enroulement du film



Figure III.11. Bobinage du film

Et la figure suivante montre un schéma détaillé d'une extrusion gonflage :



Légende

(A) ... Rouleaux presseurs
(B) ... Longitudinal
(C) ...Transversal
(D) ... Rouleau
(E) ... Stations Corona
(F) ... Tête soufflante
(G) ... Vis sans fin
(H) ... Extrudeuse

Figure III.12. Schéma détaillé du processus d'extrusion gonflage

j. Impression du film

L'impression du film est réalisée avec la mixture de 8 couleurs de base ; l'opération est faite en utilisant les solvants (méthoxy ; alcool …etc.) ; un système d'encrage automatique contient des encres à forte viscosité qu'il faut les diluer grâce à une machine qui l'aspire automatiquement puis l'applique sur le film après dilution.

CHAPITRE III : PROBLEMATIQUE & MODE OPERATOIRE

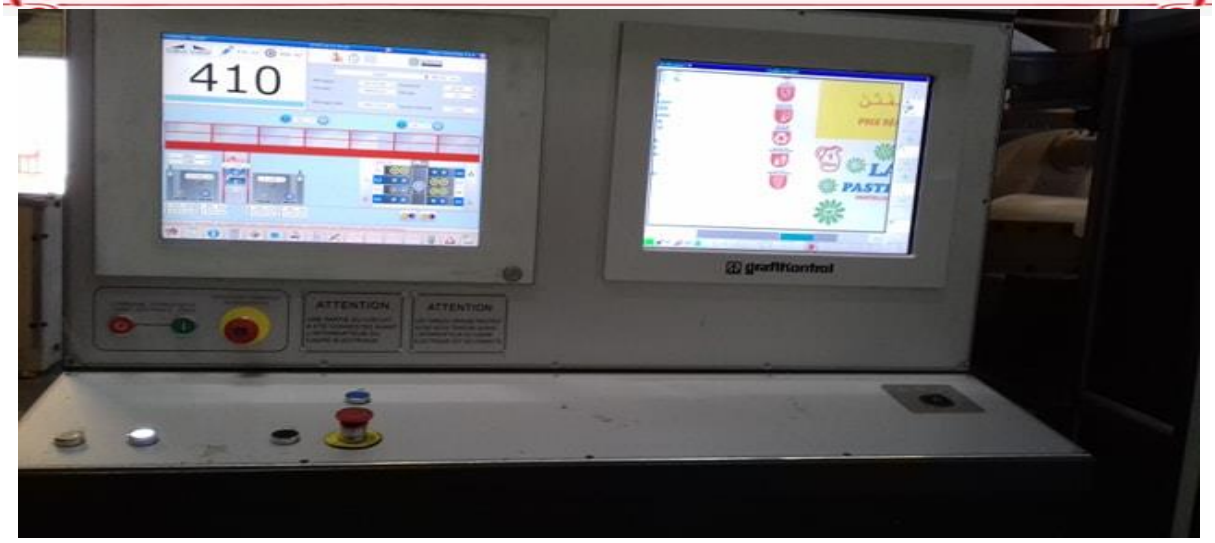


Figure III.13. Système de contrôle de l'impression

Le contrôle de l'impression se fait grâce à une caméra qui prend des flashs pour régler l'impression avec une grand vitesse sans l'arrêt de la machine ; elle marche avec le film latéralement ; la photo apparait sur un écran dont le réglage l'impression se produit automatiquement en cas de décalage.



Figure III.14. Camera de contrôle de l'impression

Finalement ; on découpe le film avec une machine spéciale selon les besoins des clients, avec des dimensions précise.

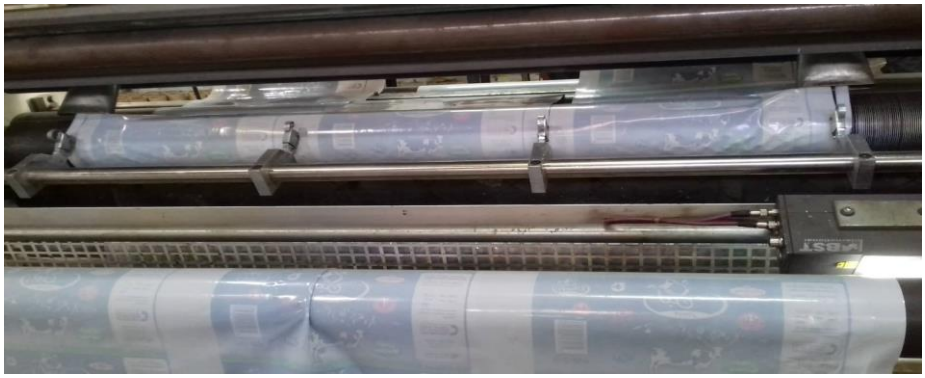


Figure III.15. Machine de découpage

Et le film tri-couche de conditionnement pochette de lait élaboré est prêt comme c'est montré sur la figure suivante :



Figure III.16. Film impressionné prêt à l'usage

III.4. Caractérisation des films

III.4.1. Identification des plastiques à l'aide de la spectrophotométrie IR

Lorsque le rayonnement infrarouge (IR) passe à travers un film, une partie du rayonnement est absorbée par le matériau et le reste le traverse. En spectroscopie IR, ce rayonnement transmis est détecté et converti en un spectre qui révèle une empreinte digitale unique du matériau. Les transformées de Fourier sont une construction mathématique utilisée pour convertir le signal en un spectre utile, d'où le nom de spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.

Le FTIR est une technique puissante d'identification des types de polymères dans un film d'emballage. Chaque type de polymère possède son propre spectre d'absorption IR caractéristique. Les chimistes analytiques peuvent utiliser FTIR pour identifier des groupes fonctionnels sur un polymère en connaissant les spectres de différents groupes moléculaires, tels que des acides ou des aldéhydes.

Certaines d'entre elles sont présentées dans le tableau III.7. Il existe des bases de données de spectres de matériaux standard que le technicien peut utiliser comme point de départ pour déterminer quels matériaux sont présents. Ces bibliothèques, cependant, peuvent ne pas fournir de détails sur des qualités ou des mélanges spécifiques. Cela prend de l'expérience. De nombreux fournisseurs de résines et de convertisseurs de film ont accumulé cette expérience au fil du temps et constituent de bons endroits pour consulter afin d'aider à identifier les structures.[11]

Tableau III.6. Fréquences infrarouges des composés chimiques et exemples de polymères les contenant [12]

Bond	Compound Type	Polymer	Frequency Range (cm^{-1})
C–H	Alkanes	PE, PP, ethylene copolymers	2850–2960 1350–1470
C–H	Alkenes	Unsaturated fatty acid slip agents	3020–3080 675–1000
C–H	Aromatic rings	PET, PS	3000–3100 675–870
C–H	Alkynes		3300
C=C	Alkenes	Unsaturated fatty acid slip agents	1640–1680
C≡C	Alkynes		2100–2260
C–C	Aromatic rings	PET, PS	1500, 1600
C–O	Alcohols, ethers, carboxylic acids, esters	EAA, EMAA, EVA, EVOH, PET	1080–1300
C=O	Aldehydes, ketones, carboxylic acids, esters	EAA, EMAA, EVA, EVOH, PET, PA	1690–1760
O–H	Alcohols, phenols	EVOH	3610–3640 3200–3600
N–H	Amines	PA6	3300–3500
C–N	Amines	PA6	1180–1360
C≡N	Nitriles		1515–1560
$-NO_2$	Nitro compounds		1345–1385

Les techniques FTIR sont très utiles pour identifier le type de polymères présents. Ils peuvent ne pas être en mesure de différencier les types ou les qualités de polymère au sein d'une famille de polymères. Par exemple, différents types de polyéthylène [polyéthylène haute densité (HDPE), polyéthylène linéaire basse densité (LLDPE), polyéthylène basse densité (LDPE)] ont des spectres IR similaires. Il en va de même pour certains types de polyamide et de qualités d'EVOH.

Les mélanges de polymères peuvent également constituer un défi, surtout si les spectres se chevauchent. Parfois, FTIR peut identifier qualitativement si un type de polymère ou de groupe fonctionnel est présent, mais sans des courbes d'étalonnage soigneuses générées à partir d'étalons connus, il peut être impossible de déterminer la quantité présente dans un mélange ou une coextrusion. Si le film peut être décollé, l'ATR peut être appliqué sur la surface exposée pour déterminer la composition de cette couche.[12]

Les échantillons préparés ont été analysés par FTIR à l'aide d'un appareil de type (FTIR-8400 SHIMADZU), du hall technologique de l'université de Médéa. Les analyses ont été faite dans le domaine infrarouge entre 4000cm^{-1} et 400cm^{-1}, sans préparation préalable sous forme de film.

III.4.2. Transparence et opacité

La transmittance est le pourcentage de lumière incidente qui traverse l'échantillon. Elle est déterminée par l'intensité des effets d'absorption et de diffusion. L'absorption dans les polymères est généralement insignifiante. Par conséquent, si la diffusion est nulle, l'échantillon sera transparent. Un matériau opaque a une faible transmittance et, par conséquent, un grand pouvoir diffusant. Le pouvoir diffusant d'un polymère résulte d'inhomogénéités morphologiques et / ou de la présence de cristaux. Un polymère homogène amorphe tel que le polystyrène « cristal » aura un pouvoir diffusant faible ou nul et sera donc transparent. Un polymère hautement cristallin tel que le HDPE sera principalement opaque. La transmittance peut être déterminée selon la norme ASTM D1003. Un matériau transparent est défini comme ayant une valeur de transmittance supérieure à 90%. [13]

III.4.3. Propriétés mécaniques des films

Les polymères présentent un ensemble de comportements mécaniques dont les valeurs changent considérablement avec la température et la rapidité des tests, ainsi qu'avec la structure intrinsèque du polymère. La résistance à la traction, la résistance à la déchirure, la résistance aux chocs et à l'éclatement, la résistance au pliage, la résistance aux trous d'épingle et à l'abrasion revêtent toutes une importance pratique dans les emballages en plastique.

a. Propriétés de traction [13]

Nous utilisons souvent une courbe de charge de déformation en traction (voir Figure III.17) pour examiner le comportement mécanique d'un matériau d'emballage. Cette courbe relie la charge appliquée à la déformation résultante d'un échantillon. Généralement, il est mesuré à l'aide d'un appareil qui fournit un taux de déformation lent et constant et utilise un capteur de force pour mesurer et enregistrer la force requise pour produire cette déformation.

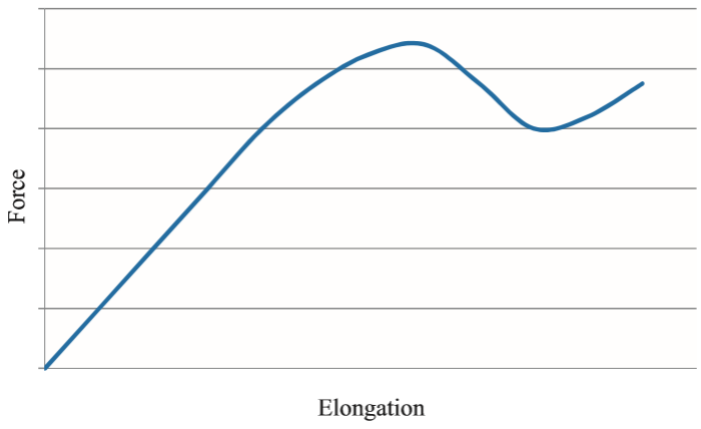


Figure III.17. Un exemple de courbe de charge-déformation

Une courbe contrainte-déformation (Figure III.18) standardise la courbe de charge-déformation en normalisant la charge en fonction de la surface transversale de l'unité et en normalisant la déformation à une longueur unitaire. La contrainte est alors la charge de traction appliquée divisée par la surface transversale initiale de l'échantillon et la déformation correspond à l'augmentation de la longueur divisée par la longueur initiale de l'échantillon.

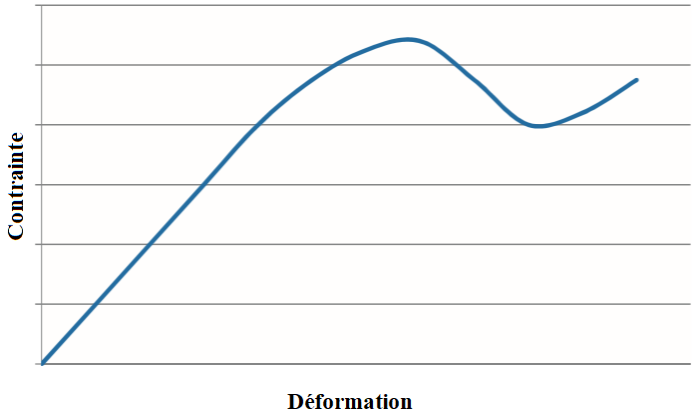


Figure III.18. Un exemple de courbe contrainte-déformation

L'équation de base pour la contrainte, la force par unité de surface, est la suivante :

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Où σ est la contrainte, F est la force et A la surface de la section transversale (la surface perpendiculaire à la direction de la contrainte). Le stress est exprimé en unités de pascal ou psi. La déformation, ϵ, est l'augmentation de longueur fractionnaire sans dimension :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Où ΔL est le changement de longueur et L_0, la longueur d'origine. Dans les essais de traction, la longueur initiale n'est pas la longueur totale de l'échantillon, mais plutôt la distance entre les poignées ou la longueur de la jauge, car il s'agit de la longueur effective de l'échantillon, la partie de l'échantillon affectée par la force d'étirage.

Comme c'est mentionné, le comportement de l'échantillon est affecté par le taux d'étirement, les courbes de contrainte-déformation sont généralement obtenues à de faibles taux de déformation. Une courbe de contrainte-déformation nous donne une représentation graphique de la réponse du matériau à une contrainte de traction appliquée et nous permet d'identifier certains points et certaines régions d'intérêt. Pour pratiquement tous les matériaux, y compris les plastiques, il existe une période initiale de déformation dans laquelle il existe une

relation linéaire entre contrainte et déformation. Dans cette région, une augmentation du stress produit une augmentation proportionnelle de la contrainte.

À un moment donné, la courbe contrainte-déformation commence à s'écarter d'une ligne droite, signalant la fin de ce comportement directement proportionnel. Le point qui marque la fin de la partie droite de la courbe contrainte-déformation est appelé limite proportionnelle.

Dans la limite proportionnelle, la constante de proportionnalité détermine la relation quantitative entre contrainte-déformation. Cette constante de proportionnalité est appelée module d'élasticité ou module de Young et est communément désignée par E. Elle est égale à la pente de la partie linéaire initiale de la courbe contrainte-déformation.

L'équation permettant de déterminer le module d'élasticité, le rapport entre la contrainte appliquée et la déformation produite dans la partie élastique du comportement du matériau, E, est la suivante :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Où la contrainte et la déformation sont toutes deux mesurées dans la partie linéaire de la courbe.

Au fur et à mesure que le module de Young augmente, la contrainte requise pour atteindre une déformation donnée augmente. Généralement, cela signifie que le matériau est plus raide ou plus rigide. Strictement parlant, la raideur (ou rigidité) fait référence à la résistance à la flexion, plutôt qu'à l'étirement.

En pratique, il existe une relation étroite entre le module de flexion, qui mesure la résistance à la flexion, et le module de traction, qui mesure la résistance à l'étirement. Par conséquent, le terme rigide est souvent utilisé pour décrire un matériau à haut module d'élasticité, une grande pente dans la partie élastique de la courbe contrainte-déformation, car cela signifie qu'une grande contrainte est nécessaire pour produire une faible quantité de déformation à la traction. Par exemple, E du LDPE est de 250 mPa, alors que pour le «cristal» PS, il est de 2500 mPa. Les valeurs de module de traction dans les polymères.

Dans la partie élastique de la courbe contrainte-déformation, lorsqu'une contrainte appliquée est supprimée, la déformation produite disparaît et le matériau reprend ses dimensions d'origine. Nous définissons la limite d'élasticité comme le dernier point de la courbe contrainte-déformation pour lequel cela est vrai. De même, l'allongement élastique est défini comme la contrainte maximale sous laquelle le comportement élastique est maintenu ; ainsi, l'allongement élastique est la contrainte correspondant à la déformation à la limite élastique. Les valeurs d'élongation sont généralement exprimées en pourcentage.

Si nous dépassons la limite élastique, le matériau subira un certain degré de déformation permanente et ne retrouvera pas entièrement ses dimensions d'origine lorsque la contrainte appliquée sera supprimée.

La détermination de la limite d'élasticité sur une courbe contrainte-déformation nécessite des expériences répétées afin de déterminer à quel point la déformation permanente commence à apparaître. On ne peut pas le distinguer d'un simple examen de la courbe. Cependant, on peut affirmer avec certitude que la limite élastique n'est pas antérieure à la limite proportionnelle.

Le point d'élasticité est le point auquel le matériau commence à subir une augmentation de la déformation sans nécessiter une augmentation de la contrainte. Le point d'élasticité, s'il existe, se situe toujours après la limite d'élasticité et indique la déformation plastique (permanente). Par conséquent, nous pouvons rétrécir l'emplacement de la limite d'élasticité à la région située entre la limite proportionnelle et le point d'élasticité.

Comme le comportement dupoint d'élasticité reflète les réarrangements des molécules dans la matière plastique, les plastiques testés à des températures bien inférieures à leur Tg peuvent ne pas avoir de limite d'élasticité.

Le point de rupture de la courbe contrainte-déformation est le point de rupture du matériau. À ce stade, la contrainte tombe à zéro et le matériau est divisé en deux parties déconnectées. L'allongement final ou allongement à la rupture est la déformation au point de rupture, généralement indiquée en pourcentage. La résistance ultime ou la résistance à la traction d'un plastique est la contrainte la plus élevée qu'il puisse supporter sans défaillance. Par conséquent, il apparaît comme le point le plus élevé de la courbe contrainte-déformation.

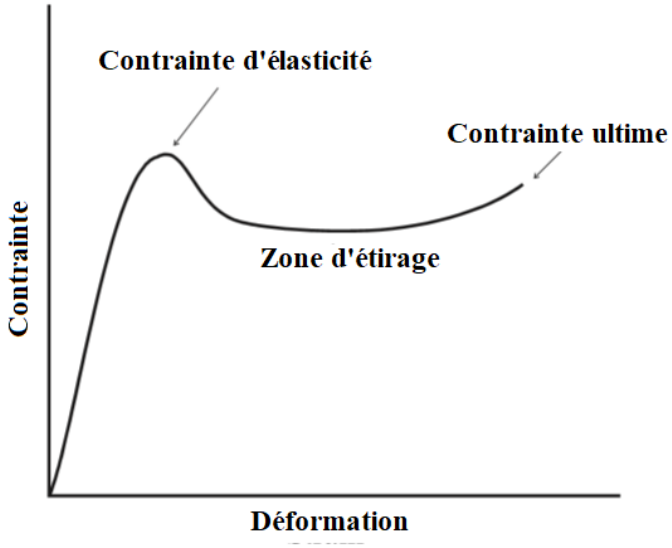


Figure III.19. Courbe contrainte-déformation, lorsque la résistance à la traction est indiquée à la limite d'élasticité

CHAPITRE III : PROBLEMATIQUE & MODE OPERATOIRE

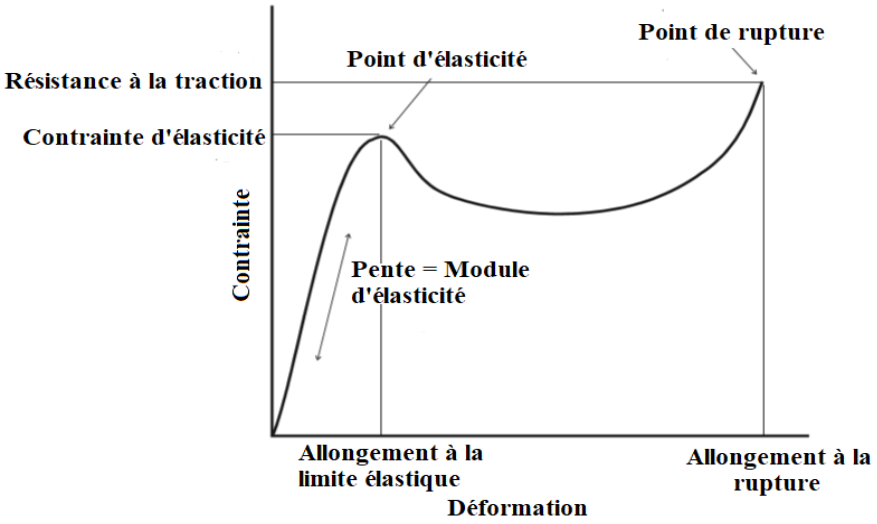


Figure III.20. Courbe contrainte-déformation, lorsque la résistance à la traction est indiquée à la rupture

La résistance à la traction est généralement soit à la limite d'élasticité (Figure III.19), soit au point de rupture (Figure III.20) du plastique. Si la résistance à la traction du matériau est atteinte à la rupture, un autre paramètre important est la limite d'élasticité, la contrainte au point d'élasticité.

La résilience est la capacité d'un matériau à absorber de l'énergie puis à revenir à ses dimensions d'origine. La résilience est une propriété largement des régions amorphes d'un polymère. L'augmentation de la cristallinité et de l'orientation a tendance à diminuer la résilience. La réticulation (sauf si elle est trop importante) augmente la résilience en empêchant la déformation plastique et en renforçant ainsi la capacité du matériau à revenir à ses dimensions d'origine. La résilience est mesurée par l'aire sous la partie élastique de la courbe contrainte-déformation (jusqu'à la limite élastique).

La ténacité est l'énergie qu'un matériau peut absorber avant de se rompre. Elle est mesurée par l'aire sous la courbe de contrainte-déformation totale. Une mesure significativement différente de la ténacité lorsque les polymères sont testés à des vitesses de déformation élevées, comme dans les tests de résistance aux chocs.

La brièveté est définie comme l'impossibilité de faire l'expérience d'une quantité importante de contrainte sans rupture. Ainsi, il est souvent associé à un manque de ténacité, bien que ce ne soit pas identique à cela. Les polymères amorphes et semi-cristallins deviennent fragiles lorsqu'ils sont refroidis en dessous de leur température de transition vitreuse. Un matériau fragile a une courbe contrainte-déformation courte. En revanche, un matériau ductile pourra être déformé de manière extensive sans rupture, ce qui lui donnera une longue courbe contrainte-déformation. Il convient de noter que le fait qu'un matériau soit ductile ou fragile ne

concerne pas directement sa résistance à la traction. Un matériau fragile peut être soit faible et fragile, soit très fort etfragile, en fonction de la force nécessaire pour produire la faible élongation qu'elle est capable de subir. De même, un matériau ductile peut avoir une résistance à la traction élevée ou faible.

Le fluage fait référence à la tendance d'un matériau à continuer à se déformer avec le temps lorsqu'il est soumis à une charge constante. En raison de la nature viscoélastique des plastiques, les molécules ont tendance à changer lentement de position lorsqu'elles sont soumises à une telle contrainte, ce qui peut entraîner une déformation importante dans le temps. Ceci est important dans des domaines aussi divers que les palettes en plastique et les bouteilles en plastique contenant des contenus sous pression.

La relaxation des contraintes est la tendance d'un matériau, lorsqu'il est exposé à une déformation constante, à subir une réduction de la quantité de contrainte nécessaire pour maintenir cette déformation. Cela aussi est une conséquence du réarrangement moléculaire dans le polymère qui se produit lentement sur une longue période. La relaxation des contraintes est particulièrement importante pour les films étirables, car leur « pouvoir de maintien » diminue avec le temps.

Les tests relatifs aux propriétés de traction sont décrits dans la norme ASTM D882 ; Les tests de propriétés de flexion sont décrits dans les normes ASTM D790 et ASTM D6272. Le tableau 3.4 indique la relation entre la douceur ou la ténacité d'un matériau et les valeurs de module d'élasticité, de limite d'élasticité, de résistance et d'allongement.

Tableau III.7. Les matériaux peuvent être mous ou durs en fonction des propriétés de résistance à la traction [13]

Type de polymère[1]	**Module d'élasticité**	**Contrainte d'élasticité**	**Contrainte ultime**	**Allongement à la rupture**
Doux et faible	Faible	Faible	Faible	Modéré
Doux et robuste	Faible	Faible	Modéré	Haut
Fragile et dur	Haut		Modéré	Faible
Dur et fort	Haut	Haut	Haut	Modéré
Dur et robuste	Haut	Haut	Haut	Haut

[1] Robuste : résiste à l'échec, même après déformation ;
Fort - résiste à la fois à la déformation et à l'échec ;
Ductile - se déforme avant la rupture ;
Fragile - se brise avant de se déformer ;
Dur - résiste aux bosses, aux égratignures et à toute modification permanente sous la force de compression.

Le comportement observé sur la courbe contrainte-déformation correspond au comportement viscoélastique typique des matériaux polymères. Le comportement viscoélastique dépend fortement de la température à laquelle le test est effectué et de sa relation avec la Tg de l'échantillon. Cela dépend également du taux de déformation, comme mentionné précédemment. En général, une déformation très rapide ne laisse pas le temps nécessaire au réarrangement moléculaire et conduit au comportement caractéristique d'un matériau plus fragile. Les effets de la température et de la vitesse des tests sur les matières plastiques sont illustrés aux Fig. III.21 et III.22 respectivement.

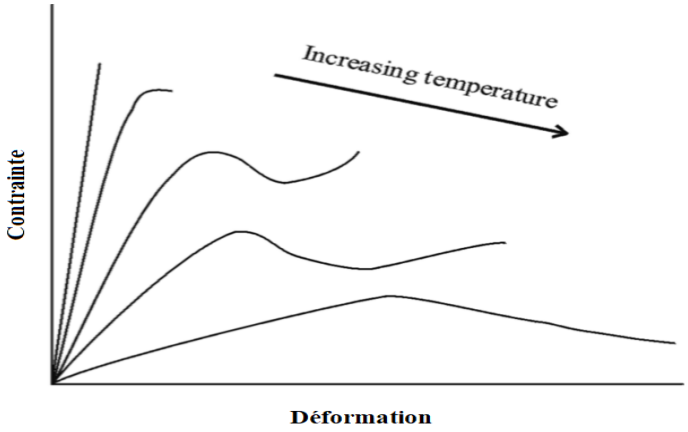


Figure III.21. Effet de la température sur la courbe contrainte-déformation

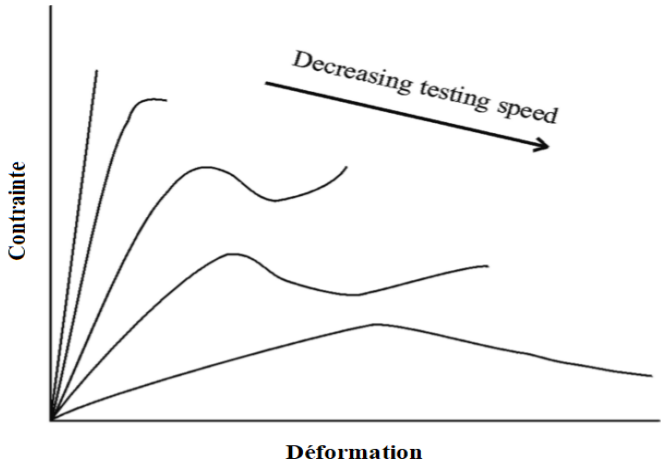


Figure III.22 Effet de la vitesse des tests sur la courbe contrainte-déformation

b. Résistance à la déchirure [13]

La mesure de la résistance à la déchirure d'un matériau évalue l'énergie absorbée par l'échantillon lors du déclenchement et / ou de la propagation de la déchirure. Deux méthodes ASTM standards sont disponibles : les méthodes D1004 et D1922. Le premier est conçu pour mesurer la force nécessaire pour initier la déchirure. Il couvre la détermination de la résistance

à la déchirure d'un échantillon en plastique souple à des taux de charge très faibles, c'est-à-dire 51 mm / min. La norme ASTM D1922 mesure l'énergie nécessaire à la propagation d'une déchirure après son déclenchement par un petit trou dans l'échantillon. La valeur de la résistance au déchirement d'un film dépend du taux d'étirement de l'orientation et du fait que la mesure soit effectuée dans le sens de la machine ou dans le sens opposé. La résistance à la déchirure des films peut également être évaluée dans le sens machine et dans le sens travers à l'aide d'un appareil de traction ; La norme ASTM D1938 décrit cette procédure standard.

Les propriétés mécaniques d'un polymère peuvent être fortement influencées par son degré de cristallinité. Lorsque la cristallinité du polymère augmente, les propriétés qui dépendent principalement de la force des attractions entre les molécules voisines, telles que la résistance à la traction et le module d'élasticité, augmentent. Cependant, les propriétés qui dépendent principalement de la capacité des molécules à absorber de l'énergie en modifiant temporairement ou en permanence leur position, telles que la résistance au choc et la résistance au déchirement, diminuent.

Les échantillons préparés (Figure III.23) ont été analysés par la machine d'essais universelle (ou machine d'essais mécaniques) de la filiale Sofiplast[Annexe 03 (d)] de Sétif du groupe ENPC (Figure III.24).

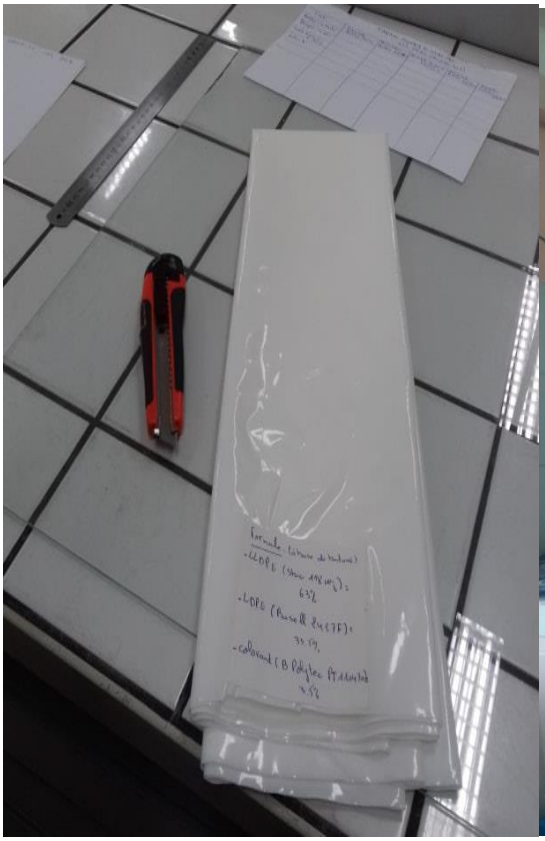


Figure III.23. Films élaborés



Figure III.24. Machine d'essais universelle

Cet appareil est utilisé pour réaliser les divers essais mécaniques sur nos différents échantillons élaborés, en général normalisés, sur des éprouvettes bien découpées.

Pour l'essai de traction : Il consiste à soumettre une éprouvette à un effort de traction suivant son axe, généralement jusqu'à la rupture en vue de déterminer une ou plusieurs caractéristiques mécaniques. Cet essai normalisé par ISO 527-3 [Annexe 13] qui spécifie les conditions permettant de déterminer les propriétés de traction de films ou de feuilles en plastique d'une épaisseur inférieure à 1 mm, sur la base des principes généraux énoncés dans la partie 1 de cette même norme.

Pour l'essai de déchirement sur films plastique, les normes ISO 34-1, ISO 6383-1, EN 495-2 et DIN 53363 nous sont notamment proposées. L'essai simule le comportement des films d'emballage à ouverture des emballages. La force de déchirure, à ouverture d'un sachet d'emballage, doit être à peu près identique à la force d'arrachement. Si la force maximale jusqu'à rupture de l'éprouvette est trop haute, cela peut provoquer l'arrachement brutal du sachet d'emballage après déchirure et le déversement de son contenu. Le comportement idéal n'est toutefois pas facile à déterminer, car la résistance à arrachement (ainsi que la force de traction) dépend très fortement de la direction d'étirement du film.

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressées à décrire l'objectif de notre étude, les différents matériaux utilisés dans l'élaboration de nos films, et les différentes formules proposées afin de retirer les facteurs pouvant influencer sur la qualité d'un film tri-couche de pochette de lait. Le procédé de l'extrusion gonflage a été détaillé dans ce chapitre afin de poursuivre littéralement les différentes étapes parcourues lors de la mise en forme de nos préparations. Les différentes techniques utilisées ont été montrées afin de donner leurs principe et mode opératoires dans le but d'éclaircir leurs rôles dans la caractérisation de nos échantillons.

CHAPITRE IV :

RESULTATS & DISCUSSION

IV.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à exposer les résultats obtenus des analyses faites de nos échantillons, et les discuter afin de répondre à la problématique composée dans le chapitre précédent qui était d'« extraire les facteurs déterminant la qualité d'un film tri-couche de conditionnement pochette de lait en se basant sur l'élaboration de plusieurs formulations, et en choisir la meilleure qui donne de bons résultats de caractérisation ».

Nos discussions se basent sur des comparaisons entre les résultats obtenus des différentes formulations, en commençant d'abord par vérifier leur appartenance dans la gamme des exigences de la fiche technique reconnue de Giplet. Des projections des notions cités dans les chapitres précédant vont être utiles afin de pouvoir enrichir les discussions, en citant aussi des travaux précédents d'autres auteurs qui ont abordé cette même problématique plus ou moins modifiée selon leurs intérêts.

IV.2. Interprétation des spectres FTIR

La figure IV.1 nous montre les spectre FTIR superposés de nos échantillons 01, 04 et 05, nous remarquons que cette technique ne peut pas être en mesure de différencier les types ou les qualités de polymère au sein d'une famille de polymères. Par exemple, différents types de polyéthylène [polyéthylène linéaire basse densité (LLDPE), polyéthylène basse densité (LDPE) et polyéthylène méthallocène (mPE)] ont des spectres IR similaires.

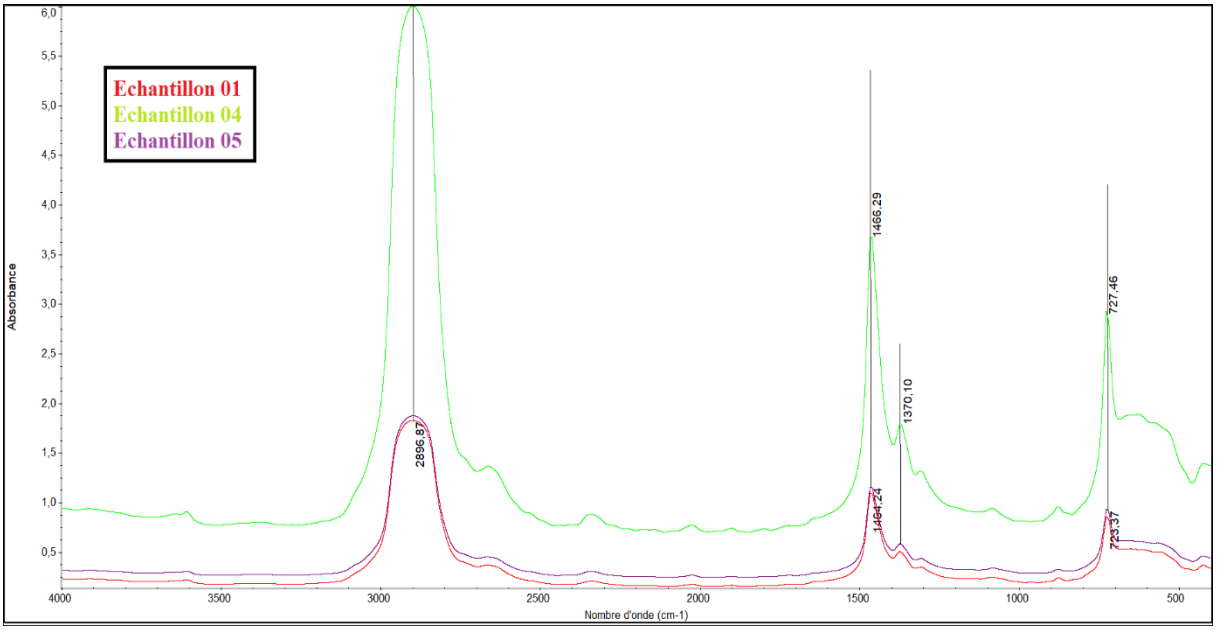


Figure IV.1. Spectres FTIR des échantillons 01, 04 et 05

Nous remarquons de ces spectres reflètent bien qu'on est dans le cas du polymère polyéthylène en montrant les pics caractéristiques de ce polymère. La bande apparue qui

s'étendde 2915 et 2848 cm^{-1}est affectée aux vibrations d'étirement asymétrique et symétrique de CH_2. [14] La bande d'absorption à 1466 cm^{-1}est due à la déformation des groupes CH_2 dans les molécules. La division du pic a été observée dans chaque spectre. La bande d'absorption à 1370 cm^{-1} indique la déformation symétrique du CH_3 terminal. [15] Cette bande semble faible dans la majeure partie du spectre.

Des bandes fortes dans la région 720-730 cm^{-1} indiquent le mode de basculement du méthylène. [16] La teneur en cristallinité des échantillons de polyéthylène peutêtre déterminée en calculant le rapport d'absorbance à 730 et 720 cm^{-1}. [17]

Pour confirmer la présence du colorant, on essaie de chercher les bandes caractéristiques du TiO_2, nous voulons détecter les vibrations des liaisons Ti – O. Ce qui nous entraîne par conséquent à nous intéresser aux basses fréquences. Selon certains autres auteurs [18] que c'est dans la bande spectrale [400 cm^{-1},800 cm^{-1}] que peuvent être éventuellement les vibrations de telles liaisons. Alors que pour d'autres, elle se situe entre [400 cm^{-1},1000 cm^{-1}], qui est associée aux vibrations de déformation des liaisons (Ti – O). [19-21]

Donc, en comparaison nos spectres avec le spectre d'un polyéthylène pur dans la littérature [17], on remarque une bande caractéristique situant aux basses fréquences aux alentours de [400 cm^{-1},700 cm^{-1}], qui peut être attribuée à la liaison Ti – O, confirmant la présence du colorant dans les films élaborés.

Le tableau ci-contre résume les différentes bandes d'absorption observée de nos échantillons :

Tableau IV.1. Bandes FTIR caractéristiques des échantillons

Mode de vibration		Valeur (Cm^{-1})
Vibrations d'étirement et de CH_2	Asymétrique	2915
	Symétrique	2848
Déformation des groupes CH_2		1466
Déformation du CH_3 terminal	Symétrique	1370
Basculement du méthylène		720-730
Vibrations de déformation des liaisons (Ti – O)		400-700

VI.3. Interprétation du test de l'opacité

La riboflavine est une substance clé pour tous les problèmes de photosensibilité et de photodégradation du lait et des produits laitiers. Cette vitamine possède plusieurs bandes

d'absorption dont les maximas sont situés vers 223 et 268 nm dans l'UV ainsi que vers 359-375, 446 et 475 nm dans le visible.

Dans les bandes d'absorption les plus critiques, comprises entre 350 à 520 nm approximativement, ce sont surtout les longueurs d'onde situées entre 415 et 455 nm qui sont responsables de l'altération de la riboflavine [22-24] et de l'apparition du défaut de goût dit « de lumière » [25].

Le choix de l'emballage doit obéir aux mêmes règles que celui de la source de lumière. En raison de la troisième bande d'absorption de la riboflavine, on veillera aussi à éviter autant que possible les emballages laissant passer les bandes bleu-vert au profit d'emballages teintés ou pigmentés en brun-rouge, si toutefois une certaine translucidité est souhaitée pour rendre le produit plus attractif.

Le tableau IV.2 rapporte les valeurs de transmission de la lumière artificielle pour les échantillons 01, 02 et 03 (contenant 3, 4 et 2% de colorant respectivement) :

Tableau IV.2. Translucidité de divers matériaux d'emballage du lait à la lumière fluorescente

Echantillon	**Transmission (%)**
01 : (3% en colorant)	70
02 : (4% en colorant)	68
03 : (2% en colorant)	72

Les résultats sont rationnels, plus on augmente le taux de colorant, plus la transmission de la lumière diminue, mais cela ne veut pas dire qu'on pourra librement agir sur l'augmentation du taux de colorant, car sa variation influe négativement sur la variation de l'épaisseur c a d, en augmentant le pourcentage du colorant conduit à l'augmentation du Sigma2[1], à cause de la charge incorporée dans le colorant qui se compose des substances qui provoquent l'hétérogénéité dans le film.

Donc il faut avoir un bon colorant qui va nous donner une opacité acceptable avec un faible pourcentage pour conserver le sigma2.

D'un point de vue économique, le prix du colorant est très cher, donc il faut optimiser le pourcentage, sans influencer sur les caractéristiques du film (opacité+ sigma2)

[1]Une valeur indiquant la variation de l'épaisseur à travers toute la circonférence du film.

IV.4. Interprétation des résultats des tests mécaniques

IV.4.1. Résistance de l'impression

La capacité d'un substrat à adhérer à des encres, des revêtements ou des adhésifs est directement liée à son énergie de surface. Si l'énergie de surface du substrat ne dépasse pas de manière significative la tension de surface du fluide qui doit le recouvrir, le mouillage sera entravé et une mauvaise liaison en résultera. Dans un test à la dyne, des liquides à tension de mouillage sont étalés sur une surface de film afin de déterminer l'imprimabilité, le dépôt du revêtement et la thermosoudabilité des films traités. Des solutions de tensions de mouillage croissantes sont appliquées sur le film polymère jusqu'à ce qu'une solution qui mouille simplement la surface du polymère soit trouvée. La détermination du mouillage se fait comme suit

1. Choisir un niveau de dyne moyen de la gamme disponible (38 dynes/cm est conseillé).

2. Utiliser une touche tactile pour aspirer la solution de colorant sur l'échantillon à tester en deux ou trois passes parallèles. Ne tenir pas compte de la ou des premières passes ; éliminer toute contamination provenant d'essais précédents. Afin de s'assurer que la couche de fluide de test est suffisamment fine pour permettre une mesure précise, évaluez uniquement le dernier passage.

3. Si la bande d'encre tient pendant trois secondes ou plus avant de perdre son intégrité, répétez l'étape 2 avec le marqueur de niveau de colorant immédiatement supérieur. Ce processus doit être répété en utilisant des niveaux de dyne de valeurs croissantes jusqu'à ce que la solution perle après environ 2 secondes d'application. Si la bande d'encre forme des perles, se déchire ou se rétrécit en une mince ligne en une seconde ou moins, répéter l'étape 2 avec le marqueur de niveau de colorant inférieur suivant. Si la bande d'encre mouille la surface pendant environ 2 secondes, puis se brise en perles, le niveau de dyne du marqueur correspond étroitement à celui de l'échantillon. Le tableau ci-contre montre les résultats de ce test pour les cinq échantillons :

Tableau IV.3. Résistance de l'impression des cinq échantillons [Annexes 14-18]

Echantillon	Résultat	Norme
01	Bien	38 dyn/cm
02	Bien	38 dyn/cm
03	Bien	38 dyn/cm
04	Bien	38 dyn/cm
05	Bien	38 dyn/cm

De changer la formulation n'a pas agi sur l'imprimabilité des différents films élaboré, donc cette caractéristique est loin d'être influencé par le changement de formulation (taux de colorant, taux de polyéthylène ramifié/laminaire, différents polymères linéaires).

IV.4.2. Epaisseur moyenne

L'épaisseur moyenne du film doit être prise en considération selon la norme ISO 527-1, elle doit répondre à l'exigence de l'épaisseur « sigma2 » (0.075+/-5%), son homogénéité est importante pour la soudabilité du film, car :

- Epaisseur faible du film : brulure lors du soudage ;
- Epaisseur importante : non soudabilité du film.

Le tableau ci-contre montre les résultats de ce test pour les cinq échantillons :

Tableau IV.4. Epaisseur moyenne des cinq échantillons [Annexes 14-18]

Echantillon	Unité	Résultat	Norme
01	mm	0.074	ISO 527-1
02	mm	0.069	ISO 527-1
03	mm	0.0705	ISO 527-1
04	mm	0.068	ISO 527-1
05	mm	0.069	ISO 527-1

Les résultats montrent que tous les échantillons sont conformes aux exigences de l'épaisseur, ce qui facilitera par la suite la soudabilité des films, nous remarquons que l'épaisseur est presque identique pour tous les échantillons, et ce surtout grâce au plastcontrôle, qui consiste à régler l'épaisseur en se basant sur deux facteurs : la température + l'air froid, le point fort se règle avec l'augmentation de la température, tandis que le point faible se règle avec l'air froid.

IV.4.3. Coefficient de frottement

Cette méthode d'essai couvre la détermination des coefficients de frottement de départ et de glissement du film plastique et des feuilles lors du glissement sur lui-même ou d'autres substances dans des conditions d'essai spécifiées. La procédure permet l'utilisation d'un traîneau fixe avec un plan mobile ou d'un traîneau mobile avec un avion fixe. Les deux procédures donnent les mêmes coefficients de frottement pour un échantillon donné.

Le coefficient de frottement est sans dimension et il n'a aucune unité. C'est un scalaire, ce qui signifie que la direction de la force n'affecte pas la quantité physique.

Le coefficient de frottement dépend des objets à l'origine du frottement. La valeur est généralement comprise entre 0 et 1 mais peut être supérieure à 1. Une valeur de 0 signifie qu'il

n'y a pas de frottement du tout entre les objets ; c'est possible avec la superfluidité. Tous les objets, sinon, auront des frottements quand ils se toucheront. Une valeur de 1 signifie que la force de friction est égale à la force normale. On croit à tort que le coefficient de frottement est limité à des valeurs comprises entre zéro et un. Un coefficient de frottement supérieur à 1 signifie simplement que la force de friction est plus forte que la force normale. Un objet tel que le caoutchouc de silicone, par exemple, peut avoir un coefficient de frottement beaucoup plus grand qu'1.

Le tableau ci-contre montre les résultats des coefficients de frottement pour les cinq échantillons :

Tableau IV.5. Coefficients de frottement des cinq échantillons [Annexes 14-18]

Echantillon	Unité	Résultat	Norme
01	-	0.18	ASTM D1894
02	-	0.19	ASTM D1894
03	-	0.21	ASTM D1894
04	-	0.24	ASTM D1894
05	-	0.30	ASTM D1894

Les coefficients de frottement répondent à l'exigence de la norme ASTM D1894, qui est entre 0 et 1, mais on remarque bien que ce coefficient s'accroit légèrement dans le cas de l'échantillon 04, et ce à cause de l'augmentation du taux de LDPE dans la formulation. LDPE est un polymère plus ramifié que les autres polymères linéaires (LLDPE et mPE), une raison probable qui laisse à penser que ce sont les ramifications qui rendent le film plus rigoureux, ce qui fait augmenter le coefficient de frottement.

IV.4.4. Test de traction

Nous utilisons souvent une courbe contrainte-déformation pour examiner le comportement mécanique d'un matériau d'emballage. Cette courbe relie la contrainte appliquée à la déformation résultante d'un échantillon sous forme d'allongement. Généralement, cette déformation est mesurée à l'aide d'un appareil qui fournit un taux de déformation lent et constant et utilise un capteur de force pour mesurer et enregistrer la force requise pour produire cette déformation.

La résistance à la traction est généralement soit à la limite d'élasticité, soit au point de rupture du plastique. Dans notre cas, nous remarquons que toutes les courbes contrainte-déformation obtenues de nos échantillons, sont du deuxième type, c'est-à-dire que la résistance

à la traction est au point de rupture du plastique, ce qui engendre d'autres paramètres importants qui sont la limite d'élasticité et la contrainte au point d'élasticité.

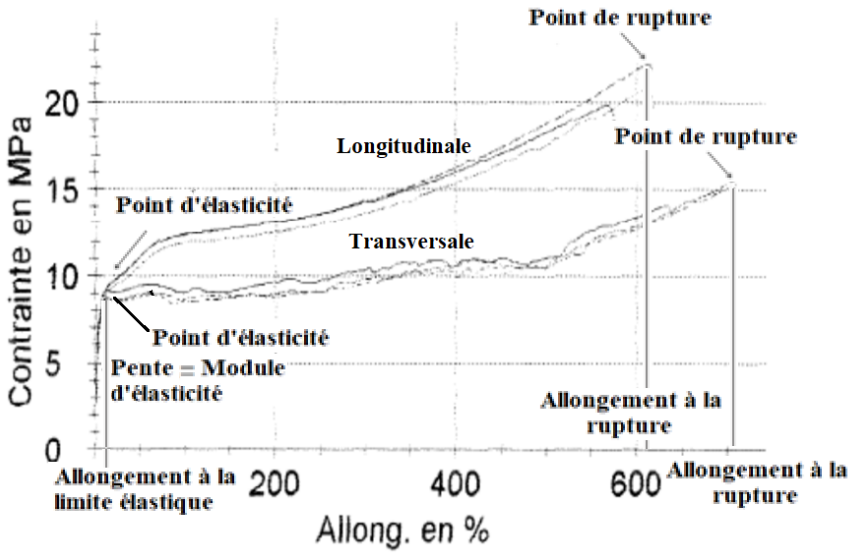


Figure IV.2. Courbes contrainte-déformation longitudinale et transversale du 1er échantillon [Annexe 19]

Les courbes de contrainte-déformation sont généralement obtenues à de faibles taux de déformation. Elles nous donnent une représentation graphique de la réponse du matériau à une contrainte de traction appliquée et nous permet d'identifier certains points et certaines régions d'intérêt. Le test a été appliqué sur plusieurs éprouvettes afin de prendre la moyenne comme valeur représentatrice de l'échantillon.

Les figures suivantes montrent les courbes contrainte-déformation des autres échantillons :

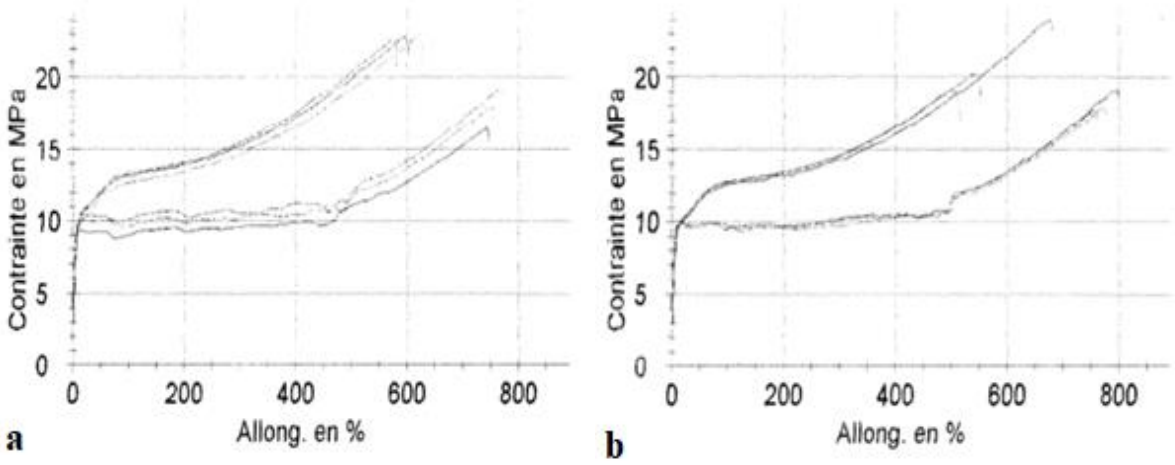


Figure IV.3. Courbes contrainte-déformation longitudinale et transversale : (a)2ème échantillon et (b) 3ème échantillon [Annexe 20, 21]

CHAPITRE IV : RESULTATS & DISCUSSION

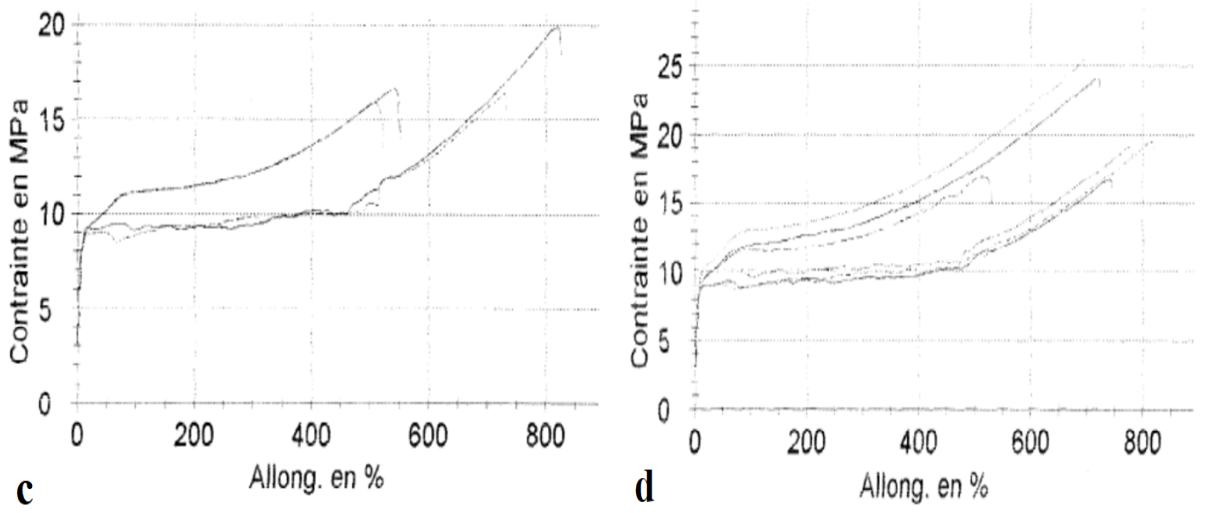


Figure IV.4. Courbes contrainte-déformation longitudinale et transversale : (c)4ème échantillon et (b) 5ème échantillon [Annexe 22, 23]

Le tableau suivant récapitule les différentes valeurs critiques qu'on pouvait extraire à partir des graphes précédents :[Annexes 14-18]

Tableau IV.6. Valeurs critiques des tests de traction des cinq échantillons [Annexes 14-18]

Test		Unité	Norme	Echantillons				
				01	02	03	04	05
Allongement à la rupture	Long.	%	ISO 527-1	603.64	603.70	583.06	535.52	649.3
	Trans.	%	ISO 527-1	684.82	756.23	777.4	778.22	781.34
Résistance à la traction	Long.	Mpa	ISO 527-1	20.9	22.63	21.2	16.17	22.40
	Trans.	Mpa	ISO 527-1	14.88	17.86	18.20	18.11	18.33
Module d'élasticité	Long.	Mpa	ISO 527-1	209.76	211	201.11	211.5	191.26
	Trans.	Mpa	ISO 527-1	279	304.51	304.25	255.8	272.75

On fait la comparaison entre les différentes valeurs afin de retirer les facteurs qui influent sur les propriétés de traction des différents films :

Nous remarquons que l'effet du colorant n'est pas clair sur les propriétés de traction des films, cela est dû à la production à l'échelle industrielle qui masque l'effet du 1% de différence entre les préparations. Le déroulement de mise en forme des films suit tout un parcours avant qu'il soit près à l'utilisation, ce qui rend la différence de formulation de 1% n'est pas précise.

Théoriquement l'ajout de colorant servira à ajouter de la charge qui peut influencer négativement sur l'homogénéité du film en créant des points forts ou faibles qui altèrent la structure du film. Le producteur essayera toujours de choisir un taux inférieur à 6%, pour des raisons économiques et surtout pour des raisons mécaniques.

CHAPITRE IV : RESULTATS & DISCUSSION

En comparant l'effet du taux radicalaire/linéaire sur les propriétés de traction du film, on trouvera que les résultats ont été clairement amélioré dans le cas d'un pourcentage important en LDPE, et ce a cause de la ramification des chaînes dans le LDPE, qui lui confère un certain nombre de caractéristiques souhaitables telles que la flexibilité, la bonne résistance aux chocs, la bonne usinabilité, la bonne résistance à l'huile et aux produits chimiques, les bonnes caractéristiques de thermoscellage.

La raison pour laquelle, on utilise un taux élevé en LLDPE, par rapport au LDPE, malgré son impact bénéfique sur les propriétés mécaniques des films, c'est le côté économique et l'intérêt quotidien de l'emballage pochette de lait. L'augmentation des propriétés mécanique ne rend pas la pochette de lait plus importante dans la vie quotidienne car c'est un emballage prêt à être jeté dès l'utilisation de son contenu qui ne soit pas durer longtemps avant utilisation.

L'utilisation de LLDPE laissera les propriétés du film lait dans les exigences des normes, ce qui ne laisse pas à penser à améliorer ses propriétés, surtout pour un emballage qui est vite jetable.

La comparaison entre les polyéthylènes linéaires, LLDPE et mPE, nous donne des résultats améliorés pour les essais transversaux, alors que les caractéristiques ont diminué pour les essais longitudinaux, et cela est dû probablement à ce que les catalyseurs métallocènes, quant à eux sont des catalyseurs à site unique, donc ils produisent le copolymère souhaité, en incorporant le comonomère proportionnellement à la quantité ajoutée au réacteur. Cela se traduit par de meilleures propriétés.

Comparés aux catalyseurs de Ziegler-Natta, les catalyseurs à base de métallocène, en fournissant un meilleur contrôle de la teneur en comonomères, produisent une incorporation plus uniforme et un contrôle amélioré de la DPM. Cela se traduit par une résistance à la traction et la résistance à la déchirure toutes deux améliorées.

L'impact du linéaire est apparu dans les essais transversales, ce qui montre que lors de la production du film et son étirement lors du gonflage, la migration du linéaire se fera transversalement, alors que le radicalaire se fera longitudinalement.

L'utilisation du métallocène a augmenté les propriétés de traction transversale, mais il est peu utilisé pour des raisons économiques, et techniques car ce polymère demande des exigences de puissance plus élevées pour l'extrudeuse, car sa distribution du poids moléculaire est plus étroite, se traduisant par une viscosité plus élevée à des taux de cisaillement élevés.

IV.4.5. Test de résistance au déchirement

La mesure de la résistance à la déchirure d'un matériau évalue l'énergie absorbée par l'échantillon lors du déclenchement et / ou de la propagation de la déchirure. Le tableau suivant récapitule les différentes valeurs de la résistance à la déchirure pour les cinq échantillons : [Annexes 14-18]

Tableau IV.7. Résistance à la déchirure des cinq échantillons [Annexes 14-18]

Test		Unité	Norme	Echantillons				
				01	02	03	04	05
Résistance à la déchirure	Long.	gr	ISO 527-1	3102.67	3175.66	3022	2245	3093.33
	Trans.	gr	ISO 527-1	2278.33	2541.33	2625.3	2545	2630

On fait la comparaison entre les différentes valeurs afin de retirer les facteurs qui influent sur les propriétés de déchirure des différents films :

Nous remarquons que l'effet du colorant n'est pas clair aussi sur les propriétés de déchirure des films, pour les mêmes raisons que les tests de traction.

En comparant l'effet du taux radicalaire/linéaire sur les propriétés de déchirure du film, on trouvera que les résultats pour la déchirure transversale ont été clairement améliorés dans le cas d'un pourcentage important en LDPE, et ce pour les mêmes raisons décrites pour les tests de traction.

La comparaison entre les polyéthylènes linéaires, LLDPE et mPE, nous donne des résultats améliorés pour les essais transversaux, alors que les caractéristiques ont diminué pour les essais longitudinaux, et cela est dû probablement aux mêmes raisons décrites auparavant pour les tests de traction.

IV.5. Conclusion

Ce chapitre a été consacré à discuter les différents résultats des différentes caractérisations qui ont été réalisées sur nos films élaborés afin d'extraire les facteurs qui peuvent influencer sur la qualité des films tri-couches de conditionnement : pochette de lait.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

[1] Bekbölet, M. (1990). Light effects on food. Journal of food protection, 53(5), 430-440.

[2] Stull, J. W. (1953). The effect of light on activated flavor development and on the constituents of milk and its products: a review1. Journal of Dairy Science, 36(11), 1153-1164.

[3] Sattar, A., deMan, J. M., & Furia, T. E. (1975). Photooxidation of milk and milk products: A review. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 7(1), 13-37.

[4] Bradley Jr, R. L. (1980). Effect of light on alteration of nutritional value and flavor of milk: A review. Journal of food protection, 43(4), 314-320.

[5] Dimick, P. S. (1982). Photochemical effects on flavor and nutrients of fluid milk. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal, 15(4), 247-256.

[6] Bojkow, E. (1984). Praxisbezogene Beurteilung der Lichtschutzeigenschatten von Verpakkungen für Molkereiprodukte. Dtsch Molk Ztg, 105, 1592-1598.

[7] Janda JM (1990) Effect of fluorescence Iight on certain milk - a review. Agric Rev 11, 94-96

[8] Bosset, J. O., Gallmann, P. U., & Sieber, R. (1993). Influence de la translucidité de l'emballage sur la conservation du lait et des produits laitiers. Le Lait, 73(1), 3-49.

[9] Bojkow, E. (1970). Lichtschutz und Milchverpackung. I. Mitteilung: allgemeine Grundlagen. Osterr Milchwirt.

[10] Selke, S. E., &Culter, J. D. (2016). Plastics packaging: properties, processing, applications, and regulations. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.

[11] Morris, B. A. (2016). The science and technology of flexible packaging: multilayer films from resin and process to end use. William Andrew.

[12] Morrison, R. T., & Boyd, R. N. (1976). Organic chemistry.[3]. Transparencies for organic chemistry. Allyn and Bacon.

[13] Selke, S. E., &Culter, J. D. (2016). Plastics packaging: properties, processing, applications, and regulations. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.

[14] Fox, J. J., & Martin, A. E. (1940). Investigations of infra-red spectra. Determination of CH frequencies (~ 3000 cm.-1) in paraffins and olefins, with some observations on “polythenes”. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences, 175(961), 208-233.

[15] Tschamler, H. (1954). Frequency Assignments for Normal Aliphatic Compounds: I. The Normal Paraffins in the Range 1450 cm—1 to 650 cm—1. The Journal of Chemical Physics, 22(11), 1845-1854.

[16] Sheppard, N., & Sutherland, G. B. B. M. (1947). Infra-Red Spectrum of C n D 2n+ 2 and the'Long-Chain Frequency'in Paraffins. Nature, 159(4048), 739.

[17] Wong, J. X., Gan, S. N., & Aishah, M. J. (2011). Chromium (III) based Ziegler-Natta catalysts for olefin polymerization. SainsMalaysiana, 40(7), 771-779.

[18] McDevitt, N. T., &Baun, W. L. (1964). Infrared absorption study of metal oxides in the low frequency region (700-240 cm− 1). Spectrochimica Acta, 20(5), 799-808.

[19] Larbot, A., Laaziz, I., Marignan, J., & Quinson, J. F. (1992). Porous texture of a titanium oxide gel: evolution as a function of medium used. Journal of Non-Crystalline Solids, 147, 157-161.

[20] Vives, S., & Meunier, C. (2008). Influence of the synthesis route on sol–gel SiO2–TiO2 (1: 1) xerogels and powders. Ceramics International, 34(1), 37-44.

[21] Beranek, R., &Kisch, H. (2008). Tuning the optical and photoelectrochemical properties of surface-modified TiO 2. Photochemical & photobiological sciences, 7(1), 40-48.

BIBLIOGRAPHIE

[22] Sattar, A., DeMan, J. M., & Alexander, J. C. (1977). Wavelength effect on light-induced decomposition of vitamin A and β-carotene in solutions and milk fat. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal, 10(1), 56-60.

[23] Sattar, A., DeMan, J. M., & Alexander, J. C. (1977). Light-induced degradation of vitamins I. Kinetic studies on riboflavin decomposition in solution. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal, 10(1), 61-64.

[24] Sattar, A., DeMan, J. M., & Alexander, J. C. (1977). Light-induced degradation of vitamins II. Kinetic studies on ascorbic acid decomposition in solution. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal, 10(1), 65-68.

[25] Bekbölet, M. (1990). Light effects on food. Journal of food protection, 53(5), 430-440.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Ce travail de recherche a été consacré à répondre à la problématique qui est d'extraire les facteurs déterminant la qualité d'un film tri-couche de conditionnement pochette de lait en se basant sur l'élaboration de plusieurs formulations, et en choisir la meilleure qui donne de bons résultats de caractérisation.

L'élaboration des différents échantillons a été réalisée par la mise en forme appropriée (extrusion gonflage), en détaillant toutes les étapes de cette mise en forme. De diverses analyses ont permis la caractérisation des films préparés à savoir : l'infrarouge à transformée de Fourier (IR-TF), la résistance de l'impression, l'épaisseur moyenne, les tests de traction et les tests de déchirure.

La caractérisation par FTIR ne peut pas être en mesure de différencier les types ou les qualités de polymère au sein d'une famille de polymères. Les spectres reflètent bien qu'on est dans le cas du polymère polyéthylène en montrant les pics caractéristiques de ce polymère. On remarque une bande caractéristique situant aux basses fréquences qui peut être attribuée à la présence du colorant dans les films élaborés.

Concernant le test d'opacité, les résultats ont été rationnels, plus on augmente le taux de colorant, plus la transmission de la lumière diminue, mais cela ne veut pas dire qu'on pourra librement agir sur l'augmentation du taux de colorant, carsa variation influe négativement sur la variation de l'épaisseur, donc il faut avoir un bon colorant qui va nous donner une opacité acceptable avec un faible pourcentage pour conserver le sigma2.D'un point de vue économique, le prix du colorant est très cher, donc il faut optimiser le pourcentage, sans influencer sur les caractéristiques du film.

La capacité d'un substrat à adhérer à des encres, des revêtements ou des adhésifs est directement liée à son énergie de surface. Si l'énergie de surface du substrat ne dépasse pas de manière significative la tension de surface du fluide qui doit le recouvrir, le mouillage sera entravé et une mauvaise liaison en résultera. Dans notre cas, de changer la formulation n'a pas agi sur l'imprimabilité des différents films élaboré, donc cette caractéristique est loin d'être influencé par le changement de formulation (taux de colorant, taux de polyéthylène ramifié/laminaire, différents polymères linéaires).

L'épaisseur moyenne du film doit être prise en considération selon la norme ISO 527-1, elle doit répondre à l'exigence de l'épaisseur « sigma2 » (0.075+/-5%), son homogénéité est importante pour la soudabilité du film. Les résultats montrent que tous les échantillons sont conformes aux exigences de l'épaisseur, ce qui facilitera par la suite la soudabilité des films, nous remarquons que l'épaisseur est presque identique pour tous les échantillons, et ce surtout

grâce au plastcontrôle, qui consiste à régler l'épaisseur en se basant sur deux facteurs : la température + l'air froid, le point fort se règle avec l'augmentation de la température, tandis que le point faible se règle avec l'air froid.

Les coefficients de frottement répondent à l'exigence de la norme ASTM D1894, qui est entre 0 et 1, mais on remarque bien que ce coefficient s'accroit légèrement dans le cas de l'échantillon 04, et ce à cause de l'augmentation du taux de LDPE dans la formulation. LDPE est un polymère plus ramifié que les autres polymères linéaires (LLDPE et mPE), une raison probable qui laisse à penser que ce sont les ramifications qui rendent le film plus rigoureux, ce qui fait augmenter le coefficient de frottement.

Dans le cas des essais de traction, on a fait la comparaison entre les différentes valeurs afin de retirer les facteurs qui influent sur les propriétés de traction des différents films, nous remarquons que l'effet du colorant n'est pas clair sur les propriétés de traction des films, cela est dû à la production à l'échelle industrielle qui masque l'effet du 1% de différence entre les préparations. Le déroulement de mise en forme des films suit tout un parcours avant qu'il soit près à l'utilisation, ce qui rend la différence de formulation de 1% n'est pas précise.

Théoriquement l'ajout de colorant servira à ajouter de la charge qui peut influencer négativement sur l'homogénéité du film en créant des points forts ou faibles qui altèrent la structure du film. Le producteur essayera toujours de choisir un taux inférieur à 6%, pour des raisons économiques et surtout pour des raisons mécaniques.

En comparant l'effet du taux radicalaire/linéaire sur les propriétés de traction du film, on trouvera que les résultats ont été clairement amélioré dans le cas d'un pourcentage important en LDPE, et ce a cause de la ramification des chaînes dans le LDPE, qui lui confère un certain nombre de caractéristiques souhaitables telles que la flexibilité, la bonne résistance aux chocs, la bonne usinabilité, la bonne résistance à l'huile et aux produits chimiques, les bonnes caractéristiques de thermoscellage.

La raison pour laquelle, on utilise un taux élevé en LLDPE, par rapport au LDPE, malgré son impact bénéfique sur les propriétés mécaniques des films, c'est le côté économique et l'intérêt quotidien de l'emballage pochette de lait. L'augmentation des propriétés mécanique ne rend pas la pochette de lait plus importante dans la vie quotidienne car c'est un emballage prêt à être jeté dès l'utilisation de son contenu qui ne soit pas durer longtemps avant utilisation.

L'utilisation de LLDPE laissera les propriétés du film lait dans les exigences des normes, ce qui ne laisse pas à penser à améliorer ses propriétés, surtout pour un emballage qui est vite jetable.

La comparaison entre les polyéthylènes linéaires, LLDPE et mPE, nous donne des résultats améliorés pour les essais transversaux, alors que les caractéristiques ont diminué pour les essais longitudinaux, et cela est dû probablement à ce que les catalyseurs métallocènes, quant à eux sont des catalyseurs à site unique, donc ils produisent le copolymère souhaité, en incorporant le comonomère proportionnellement à la quantité ajoutée au réacteur. Cela se traduit par de meilleures propriétés.

Comparés aux catalyseurs de Ziegler-Natta, les catalyseurs à base de métallocène, en fournissant un meilleur contrôle de la teneur en comonomères, produisent une incorporation plus uniforme et un contrôle amélioré de la DPM. Cela se traduit par une résistance à la traction et la résistance à la déchirure toutes deux améliorées.

L'impact du linéaire est apparu dans les essais transversales, ce qui montre que lors de la production du film et son étirement lors du gonflage, la migration du linéaire se fera transversalement, alors que le radicalaire se fera longitudinalement.

L'utilisation du métallocène a augmenté les propriétés de traction transversale, mais il est peu utilisé pour des raisons économiques, et techniques car ce polymère demande des exigences de puissance plus élevées pour l'extrudeuse, car sa distribution du poids moléculaire est plus étroite, se traduisant par une viscosité plus élevée à des taux de cisaillement élevés.

Concernant le test de déchirement, nous remarquons que l'effet du colorant n'est pas clair aussi sur les propriétés de déchirure des films, pour les mêmes raisons que les tests de traction.

En comparant l'effet du taux radicalaire/linéaire sur les propriétés de déchirure du film, on trouvera que les résultats pour la déchirure transversale ont été clairement améliorés dans le cas d'un pourcentage important en LDPE, et ce pour les mêmes raisons décrites pour les tests de traction.

La comparaison entre les polyéthylènes linéaires, LLDPE et mPE, nous donne des résultats améliorés pour les essais transversaux, alors que les caractéristiques ont diminué pour les essais longitudinaux, et cela est dû probablement aux mêmes raisons décrites auparavant pour les tests de traction.

I. ANNEXES

Annexe 01 : Fiche technique d'un film pochette lait tri-couches fabriqué par la société SOEXPLAST

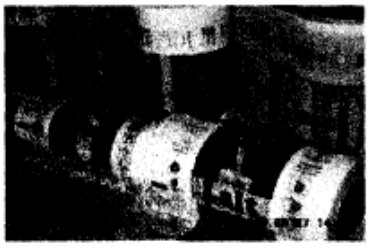
SOEXPLAST SOCIETE D'EXTRUSION PLASTIQUE EPE / SPA
FILIALE DU GROUPE ENPC
AU CAPITAL SOCIAL DE 150 000 000 DA
Tel : +(213) 25 61 01 52/58/66 Fax : 025 61 02 08
Email : soexplast @ yahoo .com. Site : www.soexplast.com.

FICHE TECHNIQUE

PRODUIT : FILM POCHETTE LAIT TRI-COUCHES

1. ***Matière Première :***

Le film à usage pochette de lait est fabriqué à partir de deux matières de base Polyéthylène Basse Densité, dont une est de type radicalaire (LDPE) et une de type Linéaire (LLDPE) et d'un colorant blanc de qualité alimentaire.



Propriétés :

Le film tri couches d'emballage conditionnement du lait est tenu de satisfaire un Certain nombre de critères :

- Alimentarité.
- Résistance à la traction et allongement.
- Glissement du film.
- Opacité (barrière à la perméabilité des gaz, rayonnement etc.....)
- Soudabilité, souplesse et brillance du film.

- **Couche externe** : Blanche traitée et brillante recevant les encres d'impression alimentaires, et convenable à la soudure.

- **Couche intermédiaire :** Opaque blanche assurant une barrière à la Perméabilité, Permettant une meilleure conservation du produit.

- **Couche interne** : Neutre, au contact avec l'aliment (lait, l'ben) du film bobiné.

2. ***Spécifications Techniques :***

- Laize :.....324 mm ± 1 mm.
- Epaisseur :.....80 microns ± 2 µ.
- Couleur du film :..... selon la demande du client.
- Impression :.....selon maquette. (jusqu'à 08 couleurs).
- Diamètre intérieur mandrin :..... .....en carton : 76 mm.
- Diamètre extérieur bobine :.....350 mm : Max.
- Poids bobine :.....23 à 25 kg.
- Densité du PEBD : .....0.92 grs/cm^3 à 23° C.

SOEXPLAST SOCIETE D'EXTRUSION PLASTIQUE EPE / SPA

FILIALE DU GROUPE ENPC

AU CAPITAL SOCIAL DE 150 000 000 DA

Tel : +(213) 25 61 01 52/58/66 **Fax :** 025 61 02 08

Email : soexplast @ yahoo .com. **Site :** www.soexplast.com.

3. *propriétés physiques* :

- Allongement à la rupture en longitudinale :.....370 %	**Norme ISO *R527***
- Allongement à la rupture transversale :.....720 %	
- Résistance à la traction longitudinale :.....24 Mpa	
- Résistance à la traction transversale :.....21Mpa	
- Module d'élasticité longitudinale : .....230 Mp	
- Module d'élasticité transversale : .....260 Mpa	
- Elongation ultime longitudinale : .....970 %	
- Elongation ultime transversale : .....1220 %	
- Grade du PEBD utilisé : .....0.7 à 1g /10mn	***Norme ISO R292***
- Rétractabilité à chaud longitudinale :.....75 %	**Norme CENT CM24**
- Rétractabilité à chaud transversale :.....15 %	
- Dart test :.....800 grs	**Norme ASTMD 1709**
- Cœfficient de friction : .....0.3.	**Norme ASTMD 1894**
- Résistance à la soudure à 115°C : .....18 N/ 15 mm.	

4. *Propriétés chimiques* :

- Le film ne présente aucun effet aux sels, aux bases et à la plupart des acides.
- Le film ne présente aucune odeur sensible, ni saveur aux températures courantes, et exempt d'action toxique ni par contact ou ingestion.
- Perméabilité à la vapeur : très faible, et absorption d'eau : inférieur à 0.4 %.

5. *Présentations commerciales* :

- La bobine est cylindrique plane avec des joues parfaitement coupée et sans débordement des pires.
- Les bobines sont enveloppées dans un sachet PEBD avec une étiquette d'identification du produit et Livrée sur palettes sous housse étirable.

<u>Annexe 02 :</u> Exigences de la fiche technique de Giplait pour un film pochette lait tri-couches

Désignations des tests et analyses	Unités	Exigences de la fiche technique de Giplait
Largeur (Laize)	mm	320 à 324± 2
Epaisseur	mm	0,07 à 0,08±5
Résistance à la traction longitudinale	MPa	16 à 24
Résistance à la traction transversale	MPa	10 à 22
Allongement à la rupture longitudinale	%	400 à 700
Allongement à la rupture transversale	%	690 à 860
Module d'élasticité longitudinale	MPa	13 à 15
Module d'élasticité transversale	MPa	10 à 13
Résistance à la déchirure longitudinale	gr	900 à 1000
Résistance à la déchirure transversale	gr	1000 à 1200

Annexe 03 : A propos des différentes sociétés

a. ENPC :

Le Groupe Industriel des Plastiques & Caoutchoucs **"ENPC"**, est spécialisé dans la transformation et la commercialisation des produits plastiques et caoutchoucs. Il est composé de 11 filiales réparties à travers trois (03) régions du pays : Est (Sétif), Centre(Alger, Médéa et Tizi-Ouzou) et Ouest (Chlef).

1- Société Mère (SETIF)

2- Filiales Pôle EST (SETIF)

- **SOFIPLAST – SETIF**

Produits: Film agricole, Film pochette lait, Film conditionnement, Film retractable / Etirable, Sacherie, Mailles, Bande PEBD,...

- **SIPLAST – SETIF**

Produits: Injection / Soufflage, Emballage, Caisse 24/12 bouteilles, Casier, Caisses 1/2/3 planches (OFLA), Bac à lait 10/12/20 litres, Articles techniques,...

- **ALMOULES – SETIF**

Produits: Moules, Pièces de rechange, Prestations)

- **CALPLAST – SETIF**

Produits: Protège cahier, Feuilles souples PVC: Maroquinerie, Transparente, tapis véhicule, Etanchéité,...

3- Filiales Pôle CENTRE

- **TRANSPOLYMERES – ALGER**

Produits: Film agricole, Gaines, Sacherie, Tuyaux d'arrosage, Gaine électricité, Compound, Injection, Caisse à sardine, Caisses 12/24 bouteilles, Caisses 1/2/3 planches, Bacs à lait,...

- **TRECYPLAST – ALGER**

Produits: Produits injectés, Film agricole, Articles Caoutchoucs:Feuille néoprène, Defense d'accostage, Tuyaux, Flexibles,...

- **SOEXPLAST – MEDEA**

Produits: Film pochette lait, Film agricole, Film conditionnement, Film suremballage, Sacherie,...

- **SISCOPLAST - DRAA-EL-MIZAN**

Produits: Tube PEBD, Tube PEHD, Produits injectés, Gaine électrique, Articles souples,...

4- SOCOPLAST:Filiale de commercialisation et de distribution

- **Centre de distribution ALGER**
- **Centre de distribution ORAN**
- **Centre de distribution GUELMA**
- **Centre de distribution LAGHOUAT**

5- Filiales Pôle OUEST (CHLEF)

- **SOTUPLAST – CHLEF**

Produits: Tube PEHD, Tube PEBD, Produits injectés,...

- **FIPEXPLAST – CHLEF**

Produits: Film agricole, Film rétractable, Plaques Polystyrène Exponsé, Pistolage: Barques, Réservoires, Plaques TN40, Grande Ondulation, Usinage,...

b. SOEXPLAST :

Société d'extrusion plastique, entreprise publique économique, filiale de l'entreprise nationale des plastiques et caoutchoucs ENPC. Créée en 1981, située à 80 km de la capitale, spécialisée dans la production et la commercialisation des films multicouches, leader dans le secteur de l'emballage flexible.À la base d'une entreprise solide avec un personnel très compétents et une logistique technologique, Soexplast est en mesure de fournir les service et prestation en fonction des besoins spécifiques :

- Extrusion soufflage de films semi finis spécifique.
- Prestation d'impression sur différents supports.
- Contre collage de films.
- Découpage et rembobinage des films selon les dimensions désirées assurant une parfaite qualité du produit.
- Soudage sacheries.

Parmi ses produits : le film paillage noir, le film tunnel, le film agricole serre, le film complexe BOPP/ PP Caste & BOPP /PE, le film conditionnement PEBD, le film pochette de lait tri-couches, le film thermo rétractable PEBD, le film étirable, les sachets en PEBD, les sacs poubelles.

c. CNTC :

Le Centre National de Technologies et de Consulting EPE/Spa CNTC (Boumerdes ville), c'est une unité du Centre Des Techniques de l'Information et de la Communication CETIC, qui a été créé le 30 mai 1998 à partir des actifs de l'Entreprise Nationale de Développement des

Industries Manufacturière «ENEDIM» qui a été créée à partir de la Société Nationale des industries textiles «SONITEX». Ses activitéssont les suivantes :

- Métrologie : Etalonnage des appareils de mesure.
- Analyses chimiques.
- Les essais physico-mécaniques et physico-chimiques des produits plastiques, cuirs et textiles.
- Les essais de conformité et de qualité.
- Etude et conseils.

d. SOFIPLAST :

C'est une entreprise algérienne SPA, localisée à la zone industrielle de Sétif, une filiale du groupe ENPC, parmi ses produits : les films agricoles, les films pochettes lait, les films conditionnement, les films rétractables/étirables, les sacheries, les mailles, les bandes PEBD, ...

Annexe 04 : Fiche technique du fournisseur de la matière DOWLEX ™ 2106GC

Technical Information

DOWLEX™ 2106GC
Linear Low Density Polyethylene Resin

Overview

DOWLEX™ 2106GC is processable at high line speeds. Films made from DOWLEX 2106GC Polyethylene Resin exhibit excellent stretchability, tear and impact resistance, as well as exceptional optical properties.

Applications:
- Cast Stretch Wrap Film

Main Characteristics:
- Linear Low Density Polyethylene

Complies with:
- U.S. FDA FCN 424
- EU, No 10/2011

Consult the regulations for complete details

Additive

- Antiblock: No
- Slip: No
- Processing Aid: No

Physical	Nominal Value (English)		Nominal Value (SI)		Test Method
Density	0.917	g/cm³	0.917	g/cm³	ASTM D792
Base Density [1]	0.917	g/cm³	0.917	g/cm³	Dow Method
Melt Index (190°C/2.16 kg)	3.3	g/10 min	3.3	g/10 min	ISO 1133
Films	**Nominal Value (English)**		**Nominal Value (SI)**		**Test Method**
Film Thickness - Tested	0.91	mil	23	µm	
Tensile Strength [2]					ASTM D882
MD : Yield, 0.91 mil (23 µm), Cast Film	899	psi	6.20	MPa	
TD : Yield, 0.91 mil (23 µm), Cast Film	798	psi	5.50	MPa	
MD : Break, 0.91 mil (23 µm), Cast Film	5510	psi	38.0	MPa	
TD : Break, 0.91 mil (23 µm), Cast Film	3050	psi	21.0	MPa	
Tensile Elongation [2]					ASTM D882
MD : Break, 0.91 mil (23 µm), Cast Film	500	%	500	%	
TD : Break, 0.91 mil (23 µm), Cast Film	780	%	780	%	
Dart Drop Impact [2]					ASTM D1709A
0.91 mil (23 µm), Cast Film	140	g	140	g	
Elmendorf Tear Strength [3]					ASTM D1922
MD : 0.91 mil (23 µm), Cast Film	320	g	320	g	
TD : 0.91 mil (23 µm), Cast Film	530	g	530	g	
Film Stretch Performace - Max Elongation - Cast Film [4]					Dow Method
0.9 mil (23.0 µm)	260	%	260	%	
Film Stretch Performace - Max Stretch to Puncture - Cast Film [5]					Dow Method
0.9 mil (23.0 µm)	160	%	160	%	
Optical	**Nominal Value (English)**		**Nominal Value (SI)**		**Test Method**
Gloss [2] (45°, 0.906 mil (23.0 µm), Cast Film)	93		93		ASTM D2457
Haze [2] (0.906 mil (23.0 µm), Cast Film)	0.60	%	0.60	%	ASTM D1003

Extrusion	Nominal Value (English)		Nominal Value (SI)	
Melt Temperature	428 to 536	°F	220 to 280	°C

® ™ Trademark of The Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliated company of Dow.

Form No. 400-00145760en
Rev: 2013-12-16

Extrusion Notes
Fabrication Conditions For Cast Film: • Melt Temperature: 220 - 280°C • Chill Roll Temperature: 20 - 60°C • Haul-Off Speed: 150 - 450 m/min • Recommended Gauge Range: 10 - 60 µm

Notes

These are typical properties only and are not to be construed as specifications. Users should confirm results by their own tests.

[1] Base density is estimated using the assumption that every 1000 ppm of antiblock in the finished product raises the density of the polymer by 0.0006 g/cm³. Base density is the estimated density of the polymer if it did not contain any antiblock.

[2] 250 m/min; Chill roll 25°C

[3] Method B; 250 m/min; Chill roll 25°C

[4] 250 m/min; Chill roll 25°C; Measured on test stand

[5] 250 m/min; Chill roll 25°C; Measured on test stand; Max pre-stretch before sharp probe penetrates

® ™ Trademark of The Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliated company of Dow.
Form No. 400-00145760en
Rev: 2013-12-16

Product Stewardship

The Dow Chemical Company and its subsidiaries ("Dow") has a fundamental concern for all who make, distribute, and use its products, and for the environment in which we live. This concern is the basis for our Product Stewardship philosophy by which we assess the safety, health, and environmental information on our products and then take appropriate steps to protect employee and public health and our environment. The success of our Product Stewardship program rests with each and every individual involved with Dow products – from the initial concept and research, to manufacture, use, sale, disposal, and recycle of each product.

Customer Notice

Dow strongly encourages its customers to review both their manufacturing processes and their applications of Dow products from the standpoint of human health and environmental quality to ensure that Dow products are not used in ways for which they are not intended or tested. Dow personnel are available to answer your questions and to provide reasonable technical support. Dow product literature, including safety data sheets, should be consulted prior to use of Dow products. Current safety data sheets are available from Dow.

Medical Applications Policy

NOTICE REGARDING MEDICAL APPLICATION RESTRICTIONS: Dow will not knowingly sell or sample any product or service ("Product") into any commercial or developmental application that is intended for:

a. long-term or permanent contact with internal bodily fluids or tissues. "Long-term" is contact which exceeds 72 continuous hours;
b. use in cardiac prosthetic devices regardless of the length of time involved ("cardiac prosthetic devices" include, but are not limited to, pacemaker leads and devices, artificial hearts, heart valves, intra-aortic balloons and control systems, and ventricular bypass-assisted devices);
c. use as a critical component in medical devices that support or sustain human life; or
d. use specifically by pregnant women or in applications designed specifically to promote or interfere with human reproduction.

Dow requests that customers considering use of Dow products in medical applications notify Dow so that appropriate assessments may be conducted. Dow does not endorse or claim suitability of its products for specific medical applications. It is the responsibility of the medical device or pharmaceutical manufacturer to determine that the Dow product is safe, lawful, and technically suitable for the intended use. **DOW MAKES NO WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, CONCERNING THE SUITABILITY OF ANY DOW PRODUCT FOR USE IN MEDICAL APPLICATIONS.**

Disclaimer

NOTICE: No freedom from infringement of any patent owned by Dow or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, the Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for the Customer's use and for ensuring that the Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Dow assumes no obligation or liability for the information in this document. **NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.**

NOTICE: If products are described as "experimental" or "developmental": (1) product specifications may not be fully determined; (2) analysis of hazards and caution in handling and use are required; (3) there is greater potential for Dow to change specifications and/or discontinue production; and (4) although Dow may from time to time provide samples of such products, Dow is not obligated to supply or otherwise commercialize such products for any use or application whatsoever.

Additional Information

North America		**Europe/Middle East**	+800-3694-6367
U.S. & Canada:	1-800-441-4369		+31-11567-2626
	1-989-832-1426	Italy:	+800-783-825
Mexico:	+1-800-441-4369		
Latin America		**South Africa**	+800-99-5078
Argentina:	+54-11-4319-0100		
Brazil:	+55-11-5188-9000		
Colombia:	+57-1-219-6000	**Asia Pacific**	+800-7776-7776
Mexico:	+52-55-5201-4700		+603-7965-5392

www.dowplastics.com

This document is intended for use within Europe

Published: 2010-10-27

© 2016 The Dow Chemical Company

® ™ Trademark of The Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliated company of Dow.

Form No. 400-00145760en
Rev: 2013-12-16

Annexe 05 : Fiche technique du fournisseur de la matière Lupolen 2427F

Technical Data Sheet

Lupolen 2427F

Low Density Polyethylene

Product Description

Lupolen 2427 F is an additivated, low density polyethylene. It contains an antioxidant, slip and anti-blocking agent. It is characterized by a good melt strength leading to a good bubble stability during blown film extrusion. It is delivered in pellet form.

This product is not intended for use in medical and pharmaceutical applications.

Regulatory Status

For regulatory compliance information, see *Lupolen* 2427F Product Stewardship Bulletin (PSB) and Safety Data Sheet (SDS).

Status	Commercial: Active
Availability	Africa-Middle East; Asia-Pacific; Europe
Application	Bags & Pouches; Food Packaging Film; Hygiene Film; Shrink Film
Market	Flexible Packaging
Processing Method	Blown Film
Attribute	Antioxidant; Good Heat Seal; Good Melt Strength; Good Optical Properties; Good Processability; Low Friction; Unspecified Antiblocking; Unspecified Slip

Typical Properties	Nominal Value	Units	Test Method
Physical			
Melt Flow Rate, (190 °C/2.16 kg)	0.75	g/10 min	ISO 1133-1
Density	0.924	g/cm³	ISO 1183-1
Mechanical			
Tensile Modulus	260	MPa	ISO 527-1, -2
Tensile Stress at Yield	11	MPa	ISO 527-1, -2
Film			
Dart Drop Impact Strength, F50	150	g	ASTM D1709
Tensile Strength			
MD	24	MPa	ISO 527-1, -3
TD	22	MPa	ISO 527-1, -3
Tensile Strain at Break			
MD	300	%	ISO 527-1, -3
TD	600	%	ISO 527-1, -3
Coefficient of Friction	<0.2		ISO 8295
Impact			
Failure Energy	5.5	J/mm	DIN 53373
Thermal			
Vicat Softening Temperature, (A/50 N)	96	°C	ISO 306
Peak Melting Point	111	°C	ISO 3146

Optical			
Haze, (50 µm)	<8	%	ASTM D1003
Gloss			
(20°)	>40		ASTM D2457
(60°)	>90		ASTM D2457
Additive			
Slip, Erucamide	500	ppm	LYB Method
Antiblock, Natural Silica	900	ppm	ISO 3451-1
Additional Information			
Test Specimen	Film		
Film properties tested using 50 µm thickness blown film extruded at a melt temperature of 180°C and a blow-up ratio of 2.5:1.			
Processing Parameters			
Extrusion Temperature	170-220	°C	

Notes

These are typical property values not to be construed as specification limits.

Processing Techniques

Users should determine the conditions necessary to obtain optimum product properties and suitability of the product for the intended application.

In cases where higher temperatures are required, please contact your appropriate technical contact for support.

Further Information

Health and Safety:
The resin is manufactured to the highest standards, but special requirements apply to certain applications such as food end-use contact and direct medical use. For specific information on regulatory compliance contact your local representative.

Workers should be protected from the possibility of skin or eye contact with molten polymer. Safety glasses are suggested as a minimal precaution to prevent mechanical or thermal injury to the eyes.

Molten polymer may be degraded if it is exposed to air during any of the processing and off-line operations. The products of degradation may have an unpleasant odor. In higher concentrations they may cause irritation of the mucus membranes. Fabrication areas should be ventilated to carry away fumes or vapours. Legislation on the control of emissions and pollution prevention should be observed.

The resin will burn when supplied with excess heat and oxygen. It should be handled and stored away from contact with direct flames and/or ignition sources. While burning, the resin contributes high heat and may generate a dense black smoke.

Recycled resins may have previously been used as packaging for, or may have otherwise been in contact with, hazardous goods. Converters are responsible for taking all necessary precautions to ensure that recycled resins are safe for continued use.

For further information about safety in handling and processing please refer to the Safety Data Sheet.

Conveying:
Conveying equipment should be designed to prevent production and accumulation of fines and dust particles that are contained in polymer resins. These particles can under certain conditions pose an explosion hazard. Conveying systems should be grounded, equipped with adequate filters and regularly inspected for leaks.

Storage:
The resin is packed in 25 kg bags, octabins or bulk containers protecting it from contamination. If it is stored under certain conditions, i. e. if there are large fluctuations in ambient temperature and the atmospheric humidity is high, moisture may condense inside the packaging. Under these circumstances, it is recommended to dry the resin before use. Unfavorable storage conditions may also intensify the resin's slight characteristic odor.

Resin should be protected from direct sunlight, temperatures above 40°C and high atmospheric humidity during storage. Higher storage temperatures may reduce the storage time.

The information submitted is based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application, these data do not relieve processors of the responsibility of carrying out their own tests and experiments; neither do they imply any legally binding assurance of certain properties or of suitability for a specific purpose. This information does not remove the obligation of the customer to inspect the material on arrival and notify us of any faults immediately. It is the responsibility of those to whom we supply our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed.

Company Information

For further information regarding the LyondellBasell company, please visit http://www.lyb.com/.

© LyondellBasell Industries Holdings, B.V. 2017

Disclaimer

Before using a product sold by a company of the LyondellBasell family of companies, users should make their own independent determination that the product is suitable for the intended use and can be used safely and legally.
SELLER MAKES NO WARRANTY; EXPRESS OR IMPLIED (INCLUDING ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR ANY WARRANTY) OTHER THAN AS SEPARATELY AGREED TO BY THE PARTIES IN A CONTRACT.

Users should review the applicable Safety Data Sheet before handling the product.

This product(s) may not be used in the manufacture of any of the following, without prior written approval by Seller for each specific product and application:
(i) U.S. FDA Class I or II Medical Devices; Health Canada Class I, II or III Medical Devices; European Union Class I or II Medical Devices;
(ii) film, overwrap and/or product packaging that is considered a part or component of one of the aforementioned medical devices;
(iii) packaging in direct contact with a pharmaceutical active ingredient and/or dosage form that is intended for inhalation, injection, intravenous, nasal, ophthalmic (eye), digestive, or topical (skin) administration;
(iv) tobacco related products and applications, electronic cigarettes and similar devices.
(v) safety components in automotive applications, for example: air bags, air bag unit housings and covers, seat belt mechanisms, brake systems, pedals and pedal supports, steering systems.

The product(s) may not be used in:
(i) U.S. FDA Class III Medical Devices; Health Canada Class IV Medical Devices; European Class III Medical Devices;
(ii) applications involving permanent implantation into the body;
(iii) life-sustaining medical applications.

All references to U.S. FDA, Health Canada, and European Union regulations include another country's equivalent regulatory classification.

In addition to the above, LyondellBasell may further prohibit or restrict the use of its products in certain applications. For further information, please contact a LyondellBasell representative.

Trademarks

Adflex, Adstif, Adsyl, Akoafloor, Akoalit, Alastian, Alathon, Alkylate, Amazing Chemistry, Aquamarine, Aquathene, Avant, Catalloy, Clyrell, CRP, Crystex, Dexflex, Duopac, Duoprime, Explore & Experiment, Filmex, Flexathene, Fueling the power to win, Glacido, Hifax, Hiflex, Histif, Hostacom, Hostalen, Hyperzone, Ideal, Indure, Integrate, Koattro, LIPP, Lucalen, Luflexen, Lupolen, Luposim, Lupostress, Lupotech, Metocene, Microthene, Moplen, MPDIOL, Nerolex, Nexprene, Petrothene, Plexar, Polymeg, Pristene, Prodflex, Pro-fax, Punctilious, Purell, Refax, SAA100, SAA101, Sequel, Softell, Spherilene, Spheripol, Spherizone, Starflex, Stretchene, Superflex, TBAc , Tebol, T-Hydro, Toppyl, Trans4m, Tufflo, Ultrathene, Vacido and Valtec are trademarks owned and/or used by the LyondellBasell family of companies.

Adsyl, Akoafloor, Akoalit, Alastian, Alathon, Aquamarine, Avant, CRP, Crystex, Dexflex, Duopac, Duoprime, Explore & Experiment, Filmex, Flexathene, Hifax, Hostacom, Hostalen, Ideal, Integrate, Koattro, Lucalen, Lupolen, Metocene, Microthene, Moplen, MPDIOL, Nexprene, Petrothene, Plexar, Polymeg, Pristene, Pro-fax, Punctilious, Purell, Sequel, Softell, Spheripol, Spherizone, Starflex, Tebol, T-Hydro, Toppyl, Tufflo and *Ultrathene* are registered in the U.S. Patent and Trademark Office.

Annexe 06 : Fiche technique du fournisseur de la matière SABIC LLDPE 118WJ

SABIC® LLDPE 118WJ

LINEAR LOW DENSITY POLYETHYLENE
REGION ASIA

DESCRIPTION

SABIC® LLDPE 118WJ is a butene linear low density polyethylene resin typically used for general purpose applications. Films produced from this resin are tough with good puncture resistance, high tensile strength and good hottack properties. The resin contains slip and antiblock additive. SABIC® LLDPE 118WJ is TNPP free.
This product is not intended for and must not be used in any pharmaceutical/medical applications.

TYPICAL APPLICATIONS

Shipping sacks, ice bags, frozen food bags, stretch wrap film, produce bags, liners, carrier bags, garbage bags, agricultural films, laminated and coextruded films for meat wrap, frozen food and other food packaging, shrink film (for blending with LDPE), industrial consumer packaging, and high clarity film applications if blended with (10~20%) LDPE.

TYPICAL PROPERTY VALUES

Revision 20190118

PROPERTIES	TYPICAL VALUES	UNITS	TEST METHODS
POLYMER PROPERTIES			
Melt Flow Rate			
190°C and 2.16 kg	1	g/10 min	ASTM D1238
Density [1]	918	kg/m³	ASTM D1505
FORMULATION			
Slip agent	☑	-	-
Anti block agent	☑	-	-
MECHANICAL PROPERTIES			
Dart Impact Strength [2]	145	g/µm	ASTM D1709
OPTICAL PROPERTIES [2]			
Haze	10	%	ASTM D1003
Gloss			
at 60°	60	-	ASTM D2457
FILM PROPERTIES [2]			
Tensile Properties			
stress at break, MD	40	MPa	ASTM D882
stress at break, TD	32	MPa	ASTM D882
strain at break, MD	750	%	ASTM D882
strain at break, TD	800	%	ASTM D882
stress at yield, MD	11	MPa	ASTM D882
stress at yield, TD	12	MPa	ASTM D882
1% secant modulus, MD	220	MPa	ASTM D882
1% secant modulus, TD	260	MPa	ASTM D882
Puncture resistance	68	J/mm	SABIC method
Elmendorf Tear Strength			
MD	165	g	ASTM D1922
TD	300	g	ASTM D1922

© 2019 Copyright by SABIC. All rights reserved

CHEMISTRY THAT MATTERS™

PROPERTIES	TYPICAL VALUES	UNITS	TEST METHODS
THERMAL PROPERTIES			
Vicat Softening Temperature	100	°C	ASTM D1525

(1) Base resin
(2) Properties have been measured by producing 30 µm film with 2.5 BUR using 100% 118WI.

PROCESSING CONDITIONS

Typical processing conditions for 118WI are: Melt temperature: 195 - 215°C, Blow up ratio: 2.0 - 3.0

HEALTH, SAFETY AND FOOD CONTACT REGULATIONS

Detailed information is provided in the relevant Material Safety Datasheet and or Standard Food Declaration, available on the Internet (www.SABIC.com). Additional specific information can be requested via your local Sales Office.*

DISCLAIMER: This product is not intended for and must not be used in any pharmaceutical/medical applications.

QUALITY

SABIC Europe is fully certified in accordance with the internationally accepted quality standard ISO 9001.

STORAGE AND HANDLING

Polyethylene resin should be stored in a manner to prevent a direct exposure to sunlight and/or heat. The storage area should also be dry and preferably do not exceed 50°C. SABIC would not give warranty to bad storage conditions which may lead to quality deterioration such as color change, bad smell and inadequate product performance. It is advisable to process PE resin within 6 months after delivery.

ENVIRONMENT AND RECYCLING

The environmental aspects of any packaging material do not only imply waste issues but have to be considered in relation with the use of natural resources, the preservations of foodstuffs, etc. SABIC Europe considers polyethylene to be an environmentally efficient packaging material. Its low specific energy consumption and insignificant emissions to air and water designate polyethylene as the ecological alternative in comparison with the traditional packaging materials. Recycling of packaging materials is supported by SABIC Europe whenever ecological and social benefits are achieved and where a social infrastructure for selective collecting and sorting of packaging is fostered. Whenever 'thermal' recycling of packaging (i.e. incineration with energy recovery) is carried out, polyethylene -with its fairly simple molecular structure and low amount of additives- is considered to be a trouble-free fuel.

DISCLAIMER

Any sale by SABIC, its subsidiaries and affiliates (each a "seller"), is made exclusively under seller's standard conditions of sale (available upon request) unless agreed otherwise in writing and signed on behalf of the seller. While the information contained herein is given in good faith, SELLER MAKES NO WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING MERCHANTABILITY AND NONINFRINGEMENT OF INTELLECTUAL PROPERTY, NOR ASSUMES ANY LIABILITY, DIRECT OR INDIRECT, WITH RESPECT TO THE PERFORMANCE, SUITABILITY OR FITNESS FOR INTENDED USE OR PURPOSE OF THESE PRODUCTS IN ANY APPLICATION. Each customer must determine the suitability of seller materials for the customer's particular use through appropriate testing and analysis. No statement by seller concerning a possible use of any product, service or design is intended, or should be construed, to grant any license under any patent or other intellectual property right.

© 2019 Copyright by SABIC. All rights reserved

CHEMISTRY THAT MATTERS™

Annexe 07 : Fiche technique du fournisseur de la matière POLYTEC Blanc PT 110470

POLYTEC
MASTERBATCH LLC

TECHNICAL DATA SHEET

- Product reference : PT-110470
- Description : White Color Masterbatch
- Application : It is PE base Masterbatches suitable for all conventional process.
- Addition rate : Recommended to use LDR 2-5% depends on the application

Typical Properties	Actual	Test method
Base polymer	PE	PT STD
Base polymer & additives content, %	40	PT STD
White Pigment content %	60	PT STD
Melt flow index, gms/10 mins	30	ASTM D1238
Bulk density, gms/cc	1.24	ASTM D1895B
Heat stability, deg C	280	DIN 53772 & DIN 6174
L.F. full shade	7-8	DIN 53775 & DIN 53387
L.F. reduce shade	6-7	DIN 53775 & DIN 53387
Migration (*)	5	DIN 53775 PART 3
Moisture content, %	0.04	ASTM D6980
Food contact application (*)	YES	AP (89)1
Heavy metal free (*)	YES	Directive 2002/96/EC

(*) Measured Value as per the polymer & pigment supplier.

- Packaging : 25 kg net in PP woven bag with PE inner liner.
- Storage : Store in a cool and dry area protected from sunlight.
- Shelf life : Over 2 years.

The information presented herein is presented in good faith and to the best of our knowledge is true and accurate. It is intended as a guide and is offered for use at your discretion and risk. Polytec Masterbatch LLC does not grantee result and disclaim any liability incurred in connection with the use of the product described or the information presented.

Business Bay - XL Tower, P.O. Box 214861, Dubai, U.A.E.
Tel: 04 456 0833, Fax: 04 456 0834
Al Ghail Indl. Area, P.O. Box 8911, Ras Al Khaimah - U.A.E.
Tel: 07 258 9181, Fax: 07 258 9183
Email: sales@polytecmb.com | www.polytecmb.com

Annexe 08 : Fiche de production de l'échantillon 01

PRODUCTION REPORT 03/03/2019 13:31:19

Nom Produit	Film de conditionnement: Pochette de lait					Production Kgh	450,9
Code Produit	Echantillon 01					Epaisseur	75,6
Largeur	201,2	2 Sigma	3,70	Vitesse Ligne	26,6	Kw/Kg	0,38

		Kgh	Kgh %	Microns	Micr. %	kgh/Rpm	Rpm	Couple	Presion	°C
A	SP	81,0	18,0	13,5	18,0					
	PV	81,7	18,1	13,7	18,2	9,1	89,9	23,5	329	246
B	SP	261,0	58,0	43,2	57,6					
	PV	261,1	57,9	43,5	57,5	42,9	60,9	45,7	399	222
C	SP	108,0	24,0	18,3	24,4					
	PV	108,1	24,0	18,4	24,4	11,7	92,0	28,2	373	240

		Alimentat	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8
A	SP	40	196	206	206	206	206	206	206	
	PV	59	195	204	207	208	210	208	210	
B	SP	40	196	206	206	206	206	206	206	
	PV	38	197	206	205	205	206	206	209	
C	SP	40	196	206	206	206	206	206	206	
	PV	131	197	207	207	206	205	205	206	
H	SP		206	206	206	206	206			
	PV		206	220	208	223	214			

	Anneau	Introduct	Extraction	Soupape	Capteur	Pompe 1	Pompe 2	Rotation Etiraqe Vitesse	Rotation Etiraqe Degrés
°C	10	9	72						
SP	72,0	62,0	78,0	15,0	5,5	35,0	35,0	40,0	170,0
PV	72,0	62,0	78,0	54,1	5,6	35,0	35,0	-40,0	61,6

	Calandre	Calandre	Enrouleur 1	Axial 1		Enrouleur 2	Axial 2	
Act %	0,4	-2,3	0,1			-0,3		
SP	28,0	24,0	20,0	100,0		20,0	100,0	
PV	28,0	24,1	21,2	92,0		20,3	92,1	
Taper				10,0			10,0	
Bar			1,00			1,00		

	Corbeille 1	Corbeille 2		Compteur Mètres 1	Compteur Mètres 2
SP				4000	4000
PV	1982	2128		3151	3144

	Type Matériel	Nom	Densité	SP %	PV %	kg
A1	sabic	Ildpe 118wj	0,918	64,00	64,00	
A2	LYONDELLBASELL	LDPE 2427F	0,924	33,00	33,00	
A3	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	
A4	COLORANT POLYTE	BLANC PT 110470	1,700	3,00	3,00	
B1	sabic	Ildpe 118wj	0,918	62,00	62,00	
B2	LYONDELLBASELL	LDPE 2427F	0,924	33,00	33,00	
B3	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	
B4	COLORANT POLYTE	BLANC PT 110470	1,700	5,00	5,00	
C1	sabic	Ildpe 118wj	0,918	65,00	65,00	
C2	LYONDELLBASELL	LDPE 2427F	0,924	35,00	35,00	
C3	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	
C4	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	

Annexe 09 : Fiche de production de l'échantillon 02

PRODUCTION REPORT 03/03/2019 13:31:19

Nom Produit	Film de conditionnement: Pochette de lait					Production Kgh	450,9
Code Produit	Echantillon 02					Epaisseur	75,6
Largeur	201,2	2 Sigma	3,70	Vitesse Ligne	26,6	Kw/Kg	0,38

		Kgh	Kgh %	Microns	Micr. %	kgh/Rpm	Rpm	Couple	Presion	°C
A	SP	81,0	18,0	13,5	18,0					
	PV	81,7	18,1	13,7	18,2	9,1	89,9	23,5	329	246
B	SP	261,0	58,0	43,2	57,6					
	PV	261,1	57,9	43,5	57,5	42,9	60,9	45,7	399	222
C	SP	108,0	24,0	18,3	24,4					
	PV	108,1	24,0	18,4	24,4	11,7	92,0	28,2	373	240

		Alimentat	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8
A	SP	40	196	206	206	206	206	206	206	
	PV	59	195	204	207	208	210	208	210	
B	SP	40	196	206	206	206	206	206	206	
	PV	38	197	206	205	205	206	206	209	
C	SP	40	196	206	206	206	206	206	206	
	PV	131	197	207	207	206	205	205	206	
H	SP		206	206	206	206	206			
	PV		206	220	208	223	214			

	Anneau	Introduct	Extraction	Soupape	Capteur	Pompe 1	Pompe 2	Rotation Etirage Vitesse	Rotation Etirage Degrés
°C	10	9	72						
SP	72,0	62,0	78,0	15,0	5,5	35,0	35,0	40,0	170,0
PV	72,0	62,0	78,0	54,1	5,6	35,0	35,0	-40,0	61,6

	Calandre	Calandre	Enrouleur 1	Axial 1		Enrouleur 2	Axial 2	
Act %	0,4	-2,3	0,1			-0,3		
SP	28,0	24,0	20,0	100,0		20,0	100,0	
PV	28,0	24,1	21,2	92,0		20,3	92,1	
Taper				10,0			10,0	
Bar			1,00			1,00		

	Corbeille 1	Corbeille 2		Compteur Mètres 1	Compteur Mètres 2
SP				4000	4000
PV	1982	2128		3151	3144

	Type Matériel	Nom	Densité	SP %	PV %	kg
A1	sabic	lldpe 118wj	0,918	63,00	63,00	
A2	LYONDELLBASELL	LDPE 2427F	0,924	33,00	33,00	
A3	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	
A4	COLORANT POLYTE	BLANC PT 110470	1,700	4,00	4,00	
B1	sabic	lldpe 118wj	0,918	61,00	61,00	
B2	LYONDELLBASELL	LDPE 2427F	0,924	33,00	33,00	
B3	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	
B4	COLORANT POLYTE	BLANC PT 110470	1,700	6,00	6,00	
C1	sabic	lldpe 118wj	0,918	65,00	65,00	
C2	LYONDELLBASELL	LDPE 2427F	0,924	35,00	35,00	
C3	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	
C4	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	

Annexe 10 : Fiche de production de l'échantillon 03

PRODUCTION REPORT 03/03/2019 13:31:19

Nom Produit	Film de conditionnement: Pochette de lait					Production Kgh	450,9
Code Produit	Echantillon 03					Epaisseur	75,6
Largeur	201,2	2 Sigma	3,70	Vitesse Ligne	26,6	Kw/Kg	0,38

		Kgh	Kgh %	Microns	Micr. %	kgh/Rpm	Rpm	Couple	Presion	°C
A	SP	81,0	18,0	13,5	18,0					
	PV	81,7	18,1	13,7	18,2	9,1	89,9	23,5	329	246
B	SP	261,0	58,0	43,2	57,6					
	PV	261,1	57,9	43,5	57,5	42,9	60,9	45,7	399	222
C	SP	108,0	24,0	18,3	24,4					
	PV	108,1	24,0	18,4	24,4	11,7	92,0	28,2	373	240

		Alimentat	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8
A	SP	40	196	206	206	206	206	206	206	
	PV	59	195	204	207	208	210	208	210	
B	SP	40	196	206	206	206	206	206	206	
	PV	38	197	206	205	205	206	206	209	
C	SP	40	196	206	206	206	206	206	206	
	PV	131	197	207	207	206	205	205	206	
H	SP		206	206	206	206	206			
	PV		206	220	208	223	214			

	Anneau	Introduct	Extraction	Soupape	Capteur	Pompe 1	Pompe 2	Rotation Etirage Vitesse	Rotation Etirage Degrés
°C	10	9	72						
SP	72,0	62,0	78,0	15,0	5,5	35,0	35,0	40,0	170,0
PV	72,0	62,0	78,0	54,1	5,6	35,0	35,0	-40,0	61,6

	Calandre	Calandre	Enrouleur 1	Axial 1		Enrouleur 2	Axial 2	
Act %	0,4	-2,3	0,1			-0,3		
SP	28,0	24,0	20,0	100,0		20,0	100,0	
PV	28,0	24,1	21,2	92,0		20,3	92,1	
Taper				10,0			10,0	
Bar			1,00			1,00		

	Corbeille 1	Corbeille 2		Compteur Mètres 1	Compteur Mètres 2
SP				4000	4000
PV	1982	2128		3151	3144

	Type Matériel	Nom	Densité	SP %	PV %	kg
A1	sabic	lldpe 118wj	0,918	65,00	65,00	
A2	LYONDELLBASELL	LDPE 2427F	0,924	33,00	33,00	
A3	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	
A4	COLORANT POLYTE	BLANC PT 110470	1,700	2,00	2,00	
B1	sabic	lldpe 118wj	0,918	63,00	63,00	
B2	LYONDELLBASELL	LDPE 2427F	0,924	33,00	33,00	
B3	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	
B4	COLORANT POLYTE	BLANC PT 110470	1,700	4,00	4,00	
C1	sabic	lldpe 118wj	0,918	65,00	65,00	
C2	LYONDELLBASELL	LDPE 2427F	0,924	35,00	35,00	
C3	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	
C4	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	

Annexe 11 : Fiche de production de l'échantillon 04

PRODUCTION REPORT 04/03/2019 11:57:06

Nom Produit	Film de conditionnemen: Pochette de lait					Production Kgh	399,7
Code Produit	Echantillon 04					Epaisseur	75,4
Largeur	201,0	2 Sigma	2,10	Vitesse Ligne	23,9	Kw/Kg	0,39

		Kgh	Kgh %	Microns	Micr. %	kgh/Rpm	Rpm	Couple	Presion	°C
A	SP	72,0	18,0	13,5	18,0					
	PV	71,9	18,0	13,6	18,0	9,8	73,5	19,9	195	237
B	SP	232,0	58,0	43,2	57,6					
	PV	231,8	58,0	43,4	57,6	43,2	53,7	34,9	230	216
C	SP	96,0	24,0	18,3	24,4					
	PV	96,0	24,0	18,4	24,4	12,7	75,9	22,8	221	237

		Alimentat	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8
A	SP	40	196	206	206	206	206	206	206	
	PV	61	197	206	203	207	208	205	208	
B	SP	40	196	206	206	206	206	206	206	
	PV	43	195	206	206	203	207	208	207	
C	SP	40	196	206	206	206	206	206	206	
	PV	126	194	207	204	207	206	205	205	
H	SP		206	206	206	206	206			
	PV		206	208	206	206	212			

	Anneau	Introduct	Extraction	Soupape	Capteur	Pompe 1	Pompe 2	Rotation Etirage	
								Vitesse	Degrés
°C	10	10	63						
SP	70,0	60,0	76,0	15,0	5,5	35,0	35,0	40,0	170,0
PV	70,0	60,0	76,0	53,3	5,6	35,0	35,0	-40,0	115,1

	Calandre	Calandre	Enrouleur 1	Axial 1		Enrouleur 2	Axial 2	
Act %	1,0	0,1	0,8			0,7		
SP	28,0	24,0	20,0	100,0		20,0	100,0	
PV	28,0	23,1	20,6	91,7		20,3	91,9	
Taper				10,0			10,0	
Bar			1,00			1,00		

	Corbeille 1	Corbeille 2		Compteur Mètres 1	Compteur Mètres 2
SP				4000	4000
PV	2049	2125		3768	3755

	Type Matériel	Nom	Densité	SP %	PV %	kg
A1	DOWLEX LLDPE	LLDPE 2106GC	0,918	64,00	64,00	
A2	LYONDELLBASELL	LDPE 2427F	0,924	33,00	33,00	
A3	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	
A4	COLORANT POLYTE	BLANC PT 110470	1,700	3,00	3,00	
B1	DOWLEX LLDPE	LLDPE 2106GC	0,918	62,00	62,00	
B2	LYONDELLBASELL	LDPE 2427F	0,924	33,00	33,00	
B3	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	
B4	COLORANT POLYTE	BLANC PT 110470	1,700	5,00	5,00	
C1	DOWLEX LLDPE	LLDPE 2106GC	0,918	65,00	65,00	
C2	LYONDELLBASELL	LDPE 2427F	0,924	35,00	35,00	
C3	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	
C4	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	

Annexe 12 : **Fiche de production de l'échantillon 05**

PRODUCTION REPORT 05/03/2019 13:02:21

Nom Produit	Film de conditionnement: Pochette de lait					Production Kgh	450,4
Code Produit	Echantillon 05					Epaisseur	74,8
Largeur	200,8	2 Sigma	4,20	Vitesse Ligne	26,5	Kw/Kg	0,44

		Kgh	Kgh %	Microns	Micr. %	kgh/Rpm	Rpm	Couple	Presion	°C
A	SP	81,0	18,0	13,5	18,0					
	PV	81,3	18,1	13,5	18,1	8,9	91,9	23,1	336	244
B	SP	261,0	58,0	43,2	57,6					
	PV	261,0	57,9	43,0	57,5	43,1	60,6	45,1	393	222
C	SP	108,0	24,0	18,3	24,4					
	PV	108,1	24,0	18,2	24,4	11,7	92,4	28,2	373	241

		Alimentat	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8
A	SP	40	196	206	206	206	206	206	206	
	PV	60	195	208	206	207	209	206	208	
B	SP	40	196	206	206	206	206	206	206	
	PV	49	197	207	207	205	206	205	209	
C	SP	40	196	206	206	206	206	206	206	
	PV	103	196	207	206	206	206	206	206	
H	SP		206	206	206	206	206			
	PV		207	220	209	223	213			

	Anneau	Introduct	Extraction	Soupape	Capteur	Pompe 1	Pompe 2	Rotation Etirage Vitesse	Rotation Etirage Degrés
°C	10	9	71						
SP	74,0	64,0	80,0	15,0	5,5	35,0	35,0	40,0	170,0
PV	74,0	64,0	80,0	54,6	5,6	35,0	35,0	-40,0	#####

	Calandre	Calandre	Enrouleur 1	Axial 1		Enrouleur 2	Axial 2	
Act %	0,7	-0,8	0,3			0,4		
SP	28,0	24,0	20,0	100,0		20,0	100,0	
PV	28,0	24,2	20,3	91,8		20,1	91,9	
Taper				10,0			10,0	
Bar			1,00			1,00		

	Corbeille 1	Corbeille 2		Compteur Mètres 1	Compteur Mètres 2
SP				4000	4000
PV	1961	2126		3852	3848

	Type Matériel	Nom	Densité	SP %	PV %	kg
A1	sabic	LLDPE 118wj	0,918	47,00	47,00	
A2	LYONDELLBASELL	LDPE 2427F	0,924	50,00	50,00	
A3	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	
A4	COLORANT POLYTE	BLANC PT 110470	1,700	3,00	3,00	
B1	sabic	LLDPE 118wj	0,918	45,00	45,01	
B2	LYONDELLBASELL	LDPE 2427F	0,924	50,00	50,00	
B3	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	
B4	COLORANT POLYTE	BLANC PT 110470	1,700	5,00	5,00	
C1	sabic	LLDPE 118wj	0,918	50,00	50,00	
C2	LYONDELLBASELL	LDPE 2427F	0,924	50,00	50,00	
C3	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	
C4	POLYTECH	PW60	0,910	0,00	0,00	

Annexe 13 : Norme internationale ISO 527-3

NORME INTERNATIONALE © ISO ISO 527-3:1995(F)

Plastiques — Détermination des propriétés en traction —

Partie 3:
Conditions d'essai pour films et feuilles

1 Domaine d'application

1.1 La présente partie de l'ISO 527 prescrit des conditions pour la détermination des propriétés en traction des films ou feuilles de moins de 1 mm d'épaisseur, basée sur les principes généraux établis dans l'ISO 527-1.

NOTE 1 Pour les feuilles ou les plaques de plus de 1 mm d'épaisseur, il convient de se reporter à l'ISO 527-2.

1.2 Voir ISO 527-1, paragraphe 1.2.

1.3 La présente partie de l'ISO 527 ne convient pas normalement pour la détermination des propriétés en traction

a) des matériaux cellulaires;

b) des plastique renforcés par des fibres textiles.

1.4 Voir ISO 527-1, paragraphe 1.5.

2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de l'ISO 527. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente partie de l'ISO 527 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 527-1:1993, *Plastiques — Détermination des propriétés en traction — Partie 1: Principes généraux.*

ISO 4591:1992, *Plastiques — Film et feuille — Détermination de l'épaisseur moyenne d'un échantillon et de l'épaisseur moyenne d'un rouleau, ainsi que de sa surface par unité de masse, par mesures gravimétriques (épaisseur gravimétrique).*

ISO 4593:1993, *Plastiques — Film et feuille — Détermination de l'épaisseur par examen mécanique.*

3 Principe

Voir ISO 527-1, article 3.

4 Définitions

Voir ISO 527-1, article 4.

5 Appareillage

Voir ISO 527-1, article 5, en ajoutant les compléments suivants:

7.Oct. 2002 12:17 PROCHIMIR
N°.2165 P. 6/17

En 5.1.2, le dynamomètre doit être capable d'assurer les vitesses d'essai prescrites dans le tableau 1 de l'ISO 527-1. Il est normal d'essayer les films et les feuilles à une vitesse de 5 mm/min, 50 mm/min, 100 mm/min, 200 mm/min, 300 mm/min ou 500 mm/min. L'information du paragraphe 9.6 de l'ISO 527-1 est également applicable.

En 5.1.5, lorsque des films ou des feuilles sont essayés, le poids de l'extensomètre ne doit pas être supporté par l'éprouvette.

En 5.2, des dispositifs conformes aux exigences de l'ISO 4593 doivent être utilisés pour le mesurage de l'épaisseur, sauf dans le cas des films très minces (moins de 0,01 mm d'épaisseur) ou des films grainés, dont l'épaisseur doit alors être déterminée conformément à l'ISO 4591. Dans ce dernier cas, l'épaisseur moyenne de l'échantillon doit être prise pour épaisseur de l'éprouvette.

6 Éprouvettes

6.1 Forme et dimensions

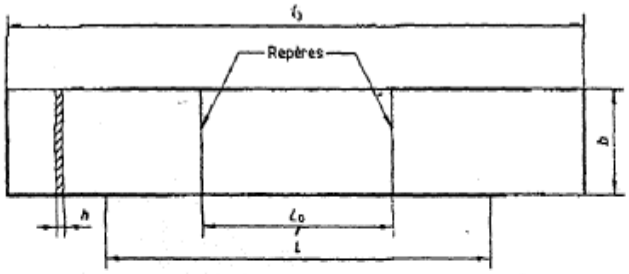
6.1.1 La forme d'éprouvette recommandée pour la détermination des propriétés en traction par cette méthode est une bande de 10 mm à 25 mm de largeur et d'au moins 150 mm de longueur (éprouvette de type 2 — voir figure 1), avec deux repères parallèles, à 50 mm l'un de l'autre, dans la partie centrale de l'éprouvette.

Le matériau de certains types de films a un très grand allongement à la rupture qui peut dépasser la capacité d'étirage du dynamomètre. Dans ce cas, la réduction de la distance initiale entre mâchoires à 50 mm est autorisée.

6.1.2 *Lorsque la spécification du matériau en essai* l'exige, ou pour les essais de contrôle, les éprouvettes haltères de types 5, 1B et 4, de forme et dimensions données aux figures 2, 3 et 4, peuvent être utilisées. Ces éprouvettes sont commodes à préparer et permettent les essais rapides de contrôle de qualité.

L'éprouvette de type 5 (voir figure 2) est recommandée pour les feuilles et les films à très haute contrainte à la rupture. L'éprouvette de type 5 est recommandée pour les autres feuilles thermoplastiques souples.

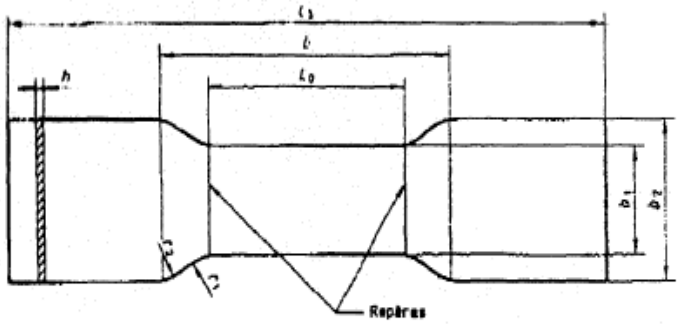
L'éprouvette de type 1B (voir figure 3) est recommandée pour les feuilles rigides.



b Largeur: 10 mm à 25 mm
h Épaisseur: ⩽ 1 mm
L_0 Distance entre repères: 50 mm ± 0,5 mm
L Distance initiale entre mâchoires: 100 mm ± 5 mm
l_3 Longueur totale: ⩾ 150 mm

Figure 1 — Éprouvette de type 2

7.Oct. 2002 12:17 PROCHIMIR N°.2165 P. 7/17



b_1 Largeur de la partie étroite: 25,4 mm ± 0,1 mm
b_2 Largeur des extrémités: 38 mm
h Épaisseur: ⩽ 1 mm
L_0 Distance entre repères: 50 mm ± 0,5 mm
L Distance initiale entre mâchoires: 73,4 mm
L_3 Longueur totale: 152 mm
r_1 Petit rayon: 22 mm
r_2 Grand rayon: 25,4 mm

Figure 4 — Éprouvette de type 4

6.2 Préparation des éprouvettes

6.2.1 Les éprouvettes décrites en 6.1.1 doivent être découpées ou estampées de sorte que les bords soient lisses et sans entailles; un examen avec une loupe de faible grossissement est recommandé pour vérifier l'absence d'entailles. Des lames de rasoir, des coupe-papier, des scalpels ou tout autre dispositif capable de découper les éprouvettes à la largeur convenable et de fournir des bords droits, propres, parallèles, sans imperfections visibles doivent être utilisés. Les filets de découpe doivent être régulièrement affûtés et une contrepartie adaptée doit être utilisée pour assurer une coupe nette des bords.

6.2.2 Les éprouvettes décrites en 6.1.2 doivent être réalisées par estampage en utilisant pour la contrepartie un matériau assurant une coupe nette des bords. Les filets de découpe doivent être régulièrement affûtés et les éprouvettes doivent être examinées avec une loupe à faible grossissement pour s'assurer de l'absence d'entailles. Rejeter toute éprouvette présentant des imperfections évidentes sur les bords découpés.

6.3 Repères

Voir ISO 527-1, paragraphe 6.3.

Le dispositif utilisé pour marquer les repères doit être constitué par deux lames parallèles adoucies par polissage, de 0,05 mm à 0,10 mm d'épaisseur sur leur fil et, biseauté sous un angle maximal de 15°. Un tampon encreur peut également être utilisé pour appliquer de l'encre sur la surface des repères, avant ou après les avoir marqués à l'aide du dispositif, avec une encre d'une couleur contrastante adaptée et qui est sans effet nuisible sur le film soumis à l'essai.

6.4 Vérification des éprouvettes

Rejeter toute éprouvette présentant des imperfections évidentes sur les bords découpés.

6.5 Anisotropie

Le matériau de certains types de films peut avoir des propriétés qui varient selon la direction dans le plan du film (anisotropie). Dans ce cas, il est essentiel de préparer deux groupes d'éprouvettes avec leurs

7.Oct. 2002 12:18 PROCHIMIR N°.2165 P. 9/17

grande axes respectivement parallèles et perpendiculaires à la direction d'orientation du film.

7 Nombre d'éprouvettes

Voir ISO 527-1, article 7.

8 Conditionnement

Voir ISO 527-1, article 8.

9 Mode opératoire

Voir ISO 527-1, article 9.

10 Calcul et expression des résultats

Voir ISO 527-1, article 10, à l'exception des paragraphes 10.3 «Calcul du module» et 10.4 «Coefficient de Poisson, μ».

11 Fidélité

La fidélité de cette méthode d'essai n'est pas connue car des données interlaboratoires ne sont pas disponibles. Dès que des données interlaboratoires auront été obtenues, une déclaration de fidélité sera ajoutée lors d'une prochaine révision.

12 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir les informations suivantes:

a) la référence à la présente partie de l'ISO 527, en incluant le type d'éprouvette et la vitesse d'essai écrite sous la forme suivante:

Essai de traction ISO 527-3/1B/5

Type d'éprouvette

Vitesse d'essai, en millimètres par minute

b) à q) voir ISO 527-1, article 12, b) à q).

7.Oct. 2002 12:18 PROCHIMIR
7.Oct. 2002 12:18 PROCHIMIR N°.2165 P. 10/17

Annexe 14 : Résultats des tests mécaniques de l'échantillon 06

شركة الاكياس و الاسطح البلاستيكية
SOFIPLAST
EPE/SPA au Capital Social de 327.000.000DA
N° registre de commerce : 19/00 - 0093661 B 00
N° NIS : 0 999 1901 11396 21
N° NIF : 000019008356118
Code fiscal : 099919011139621
N° RIB : 00200063630536004822 B.E.A Agence 63
SOFIPLAST

SETIF LE 16 /06 /2019

DEPARTEMENT TECHNIQUE
LABORATOIRE SOFIPLAST

RESULTATS DES TESTS MECANIQUES

CLIENT : SOEXPLAST MEDIA
PRODUIT : FILM POCHETTE LAIT BLANC 1000mm x 75 µm

CODE ECHANTILLON : 06
(6)..... 3.5% BUTANE

DESIGNATIONS DES TESTS ET ANALYSES	UNITE	RESULTATS	NORME
Résistance de l'impression (le traitement)	-	BIEN	38 Dyn/cm
Epaisseur moy	mm	0.074	ISO 527-1
Largeur	mm	1000	ISO 527-1
Allongement a la rupture longitudinale	%	603.64	ISO 527-1
Allongement a la rupture transversale	%	684.82	ISO 527-1
Résistance à la traction longitudinale	Mpa	20.9	ISO 527-1
Résistance à la traction transversale	Mpa	14.88	ISO 527-1
Module d'élasticité longitudinale	Mpa	209.76	ISO 527-1
Module d'élasticité transversale	Mpa	279	ISO 527-1
Résistance à la déchirure longitudinale	gr	3102.67	ISO 527-1
Résistance à la déchirure transversale	gr	2278.33	ISO 527-1
Coefficient de Frottement	-	0.18	ASTM D1894

Le Chef De Département Technique :
M. FERDI

Annexe 15 : Résultats des tests mécaniques de l'échantillon 02

شركة الأكياس و الأشرطة البلاستيكية
SOFIPLAST
EPE/SPA au Capital Social de 327.888.888DA
N° registre de commerce : 19/00 - 0083561 B 00
N° NIS : 0 999 1901 11396 21
N° NIF : 000019008356118
Code fiscal : 099919011139621
N° RIB : 00200053530536004822 B.E.A Agence 63
SOFIPLAST

SETIF LE 16 /06 /2019

DEPARTEMENT TECHNIQUE
LABORATOIRE SOFIPLAST

RESULTATS DES TESTS MECANIQUES

CLIENT : SOEXPLAST MEDIA
PRODUIT : FILM POCHETTE LAIT BLANC 1000mm x 75 µm

CODE ECHANTILLON : 02
(2)….. 62% LLDPE SABIC 118WJ + 33.5% LDPE BASEL 2427F + 4.5% COLORANT B PT 110470

DESIGNATIONS DES TESTS ET ANALYSES	UNITE	RESULTATS	NORME
Résistance de l'impression (le traitement)	-	BIEN	38 Dyn/cm
Epaisseur moy	mm	0.069	ISO 527-1
Largeur	mm	1000	ISO 527-1
Allongement a la rupture longitudinale	%	603.70	ISO 527-1
Allongement a la rupture transversale	%	756.23	ISO 527-1
Résistance à la traction longitudinale	Mpa	22.63	ISO 527-1
Résistance à la traction transversale	Mpa	17.86	ISO 527-1
Module d'élasticité longitudinale	Mpa	211	ISO 527-1
Module d'élasticité transversale	Mpa	304.51	ISO 527-1
Résistance à la déchirure longitudinale	gr	3175.66	ISO 527-1
Résistance à la déchirure transversale	gr	2541.33	ISO 527-1
Coefficient de Frottement	-	0.19	ASTM D1894

Le Chef De Département Technique :
M. FERDI

Annexe 16 : Résultats des tests mécaniques de l'échantillon 03

شركة الأكياس و الأشرطة البلاستيكية
SOCIETE DES SACHETS & FILMS PLASTIQUES
SOFIPLAST
EPE/SPA au Capital Social de 337.000.000DA
N° registre de commerce : 19/00 - 0083561 B 00
N° NIS : 0 999 1901 11396 21
N° NIF : 000019006356118
Code fiscal : 099919011139621
N° RIB : 00200053530636004822 B.E.A Agence 53
SOFIPLAST

SETIF LE 16 /06 /2019

DEPARTEMENT TECHNIQUE
LABORATOIRE SOFIPLAST

RESULTATS DES TESTS MECANIQUES

CLIENT : SOEXPLAST MEDIA
PRODUIT : FILM POCHETTE LAIT BLANC 1000mm x 75 µm

CODE ECHANTILLON : 03

(3)..... 64% LLDPE SABIC 118WJ + 33.5% LDPE BASEL 2427F + 2.5% COLORANT B PT 110470

DESIGNATIONS DES TESTS ET ANALYSES	UNITE	RESULTATS	NORME
Résistance de l'impression (le traitement)	-	BIEN	38 Dyn/cm
Epaisseur moy	mm	0.0705	ISO 527-1
Largeur	mm	1000	ISO 527-1
Allongement a la rupture longitudinale	%	583.06	ISO 527-1
Allongement a la rupture transversale	%	777.4	ISO 527-1
Résistance à la traction longitudinale	Mpa	21.2	ISO 527-1
Résistance à la traction transversale	Mpa	18.20	ISO 527-1
Module d'élasticité longitudinale	Mpa	201.11	ISO 527-1
Module d'élasticité transversale	Mpa	304.25	ISO 527-1
Résistance à la déchirure longitudinale	gr	3022	ISO 527-1
Résistance à la déchirure transversale	gr	2625.3	ISO 527-1
Coefficient de Frottement	-	0.21	ASTM D1894

Le Chef de Département Technique :
M. FERDI

Annexe 17 : Résultats des tests mécaniques de l'échantillon 04

شركة الأكياس و الأشرطة البلاستيكية
SOFIPLAST
EPE/SPA au Capital Social de 327.000.000DA
N° registre de commerce : 19/00 - 0093561 B 00
N° NIS : 0 999 1901 11396 21
N° NIF : 000019008356118
Code fiscal : 099919011139621
N° RIB : 00200063530536004822 B.E.A Agence 63
SOFIPLAST

SETIF LE 16 /06 /2019

DEPARTEMENT TECHNIQUE
LABORATOIRE SOFIPLAST

RESULTATS DES TESTS MECANIQUES

CLIENT : SOEXPLAST MEDIA
PRODUIT : FILM POCHETTE LAIT BLANC 1000mm x 75 µm

CODE ECHANTILLON : 04

(4)..... 63% LLDPE SABIC DOWLEX 2106 GC + 33.5% LDPE BASEL 2427F + 3.5% COLORANT B PT 110470

DESIGNATIONS DES TESTS ET ANALYSES	UNITE	RESULTATS	NORME
Résistance de l'impression (le traitement)	-	BIEN	38 Dyn/cm
Epaisseur moy	mm	0.068	ISO 527-1
Largeur	mm	1000	ISO 527-1
Allongement a la rupture longitudinale	%	535.52	ISO 527-1
Allongement a la rupture transversale	%	778.22	ISO 527-1
Résistance à la traction longitudinale	Mpa	16.17	ISO 527-1
Résistance à la traction transversale	Mpa	18.11	ISO 527-1
Module d'élasticité longitudinale	Mpa	211.5	ISO 527-1
Module d'élasticité transversale	Mpa	255.8	ISO 527-1
Résistance à la déchirure longitudinale	gr	2245	ISO 527-1
Résistance à la déchirure transversale	gr	2545	ISO 527-1
Coefficient de Frottement	-	0.24	ASTM D1894

Le Chef De Département Technique :
M. FERDI

Annexe 18 : Résultats des tests mécaniques de l'échantillon 05

شركة الأكياس و الأشرطة البلاستيكية
SOFIPLAST
EPE/SPA au Capital Social de 327.000.000DA
N° registre de commerce : 19/00 - 0083561 B 00
N° NIS : 0 999 1901 11396 21
N° NIF : 000019008356118
Code fiscal : 099919011139621
N° RIB : 00200063630536004822 B.E.A Agence 63
SOFIPLAST

SETIF LE 16 /06 /2019

DEPARTEMENT TECHNIQUE
LABORATOIRE SOFIPLAST

RESULTATS DES TESTS MECANIQUES

CLIENT : SOEXPLAST MEDIA
PRODUIT : FILM POCHETTE LAIT BLANC 1000mm x 75 µm

CODE ECHANTILLON : 05
(5)….. 50% LLDPE SABIC 118WJ + 50% LDPE BASEL 2427F

DESIGNATIONS DES TESTS ET ANALYSES	UNITE	RESULTATS	NORME
Résistance de l'impression (le traitement)	-	BIEN	38 Dyn/cm
Epaisseur moy	mm	0.069	ISO 527-1
Largeur	mm	1000	ISO 527-1
Allongement a la rupture longitudinale	%	649.3	ISO 527-1
Allongement a la rupture transversale	%	781.34	ISO 527-1
Résistance à la traction longitudinale	Mpa	22.40	ISO 527-1
Résistance à la traction transversale	Mpa	18.33	ISO 527-1
Module d'élasticité longitudinale	Mpa	191.26	ISO 527-1
Module d'élasticité transversale	Mpa	272.75	ISO 527-1
Résistance à la déchirure longitudinale	gr	3093.33	ISO 527-1
Résistance à la déchirure transversale	gr	2630	ISO 527-1
Coefficient de Frottement	-	0.30	ASTM D1894

Le Chef De Département Technique :
M. FERDI

<u>Annexe 19 :</u> Détermination des propriétés de traction et du coefficient de frottement de l'échantillon 01

DIN EN ISO 527-1 Détermination des propriétés de traction longitudinale et transversale

Tableau de paramètres:

Légende	: DIN EN ISO 527-1 Détermination des propriétés de traction longitudinale et transversale
Nom de société	: SOFIPLAST LE 13/06/2019
Client	: SOEXPLAST MEDIA
Opérateur	: DEPARTEMENT LABORATOIRE
Norme	: DIN EN ISO 527-1
Matériau	: (6)...(3.5% Butane)
Production/Charge	: Technique
Traitement préparatoire	: film pochette lait a base de butane
Conditions d'essai	: TEMPERATURE: 23 C°
Mâchoires	: 100mm
Machine d'essai	: traction/friction (Zwick)

Précharge : 0,5 N Vitesse d'essai : 50 mm/min
Vitesse module : 20 mm/min

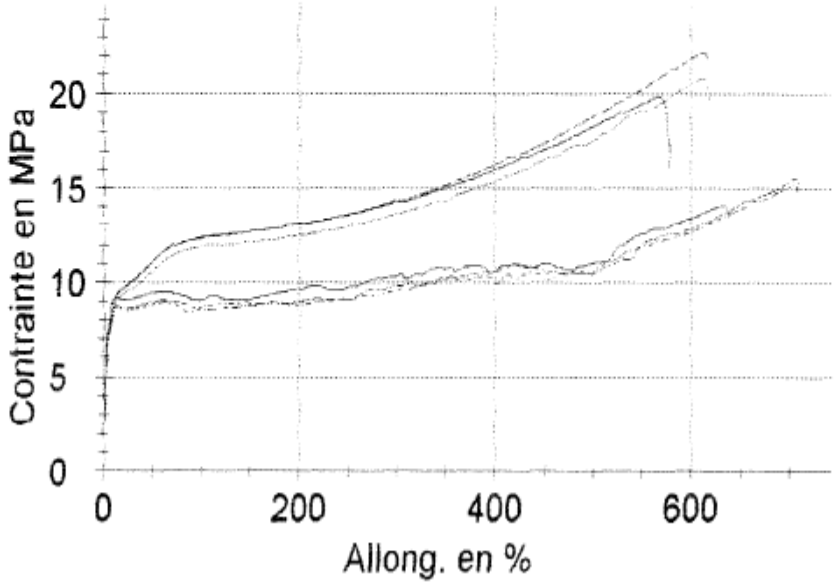
Résultats:

Légende	Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	S0 mm²	Et MPa	σx MPa	σY MPa
———	1	0,07233	20	100,00	1,447	233,84	8,67	-
- - - - - - -	2	0,07033	20	100,00	1,407	225,59	8,62	-
.....	3	0,07533	20	100,00	1,507	169,85	8,35	-
-.-.-.-.-.	4	0,07533	20	100,00	1,507	273,87	8,46	-
-.-.-.-.-.	5	0,076	20	100,00	1,52	275,55	8,55	-
———	6	0,07367	20	100,00	1,473	287,69	8,98	-

Légende	Nr	εY %	σM MPa	εM %	σB MPa	εB %	εtM %	εtB %
———	1	-	19,85	565,98	16,07	577,63	565,98	577,63
- - - - - - -	2	-	22,15	611,25	21,35	615,97	611,25	615,97
.....	3	-	20,79	613,65	19,49	617,33	613,65	617,33
-.-.-.-.-.	4	-	15,20	703,98	14,61	707,66	703,98	707,66
-.-.-.-.-.	5	-	15,50	706,45	14,87	708,45	706,45	708,45
———	6	-	14,06	632,55	13,42	638,35	632,55	638,35

SOFIPLAST LE 13/06/2019 13.06.2019

Graphique de séries:



Statistiques:

Série n = 6	a0 mm	b0 mm	L0 mm	S0 mm²	Et MPa	σx MPa	σY MPa	εY %
x	0,07383	20	100,00	1,477	244,40	8,60	-	-
s	0,002178	0,000	0,00	0,04356	44,13	0,22	-	-
ν	2,95	0,00	0,00	2,95	18,06	2,51	-	-

Série n = 6	σM MPa	εM %	σB MPa	εB %	εtM %	εtB %
x	17,92	638,98	16,64	644,23	638,98	644,23
s	3,40	55,78	3,11	53,18	55,78	53,18
ν	18,99	8,73	18,68	8,25	8,73	8,25

ASTM D 1894 Détermination du coeff. de frottement et de friction - SOEXPLAST ECH/06

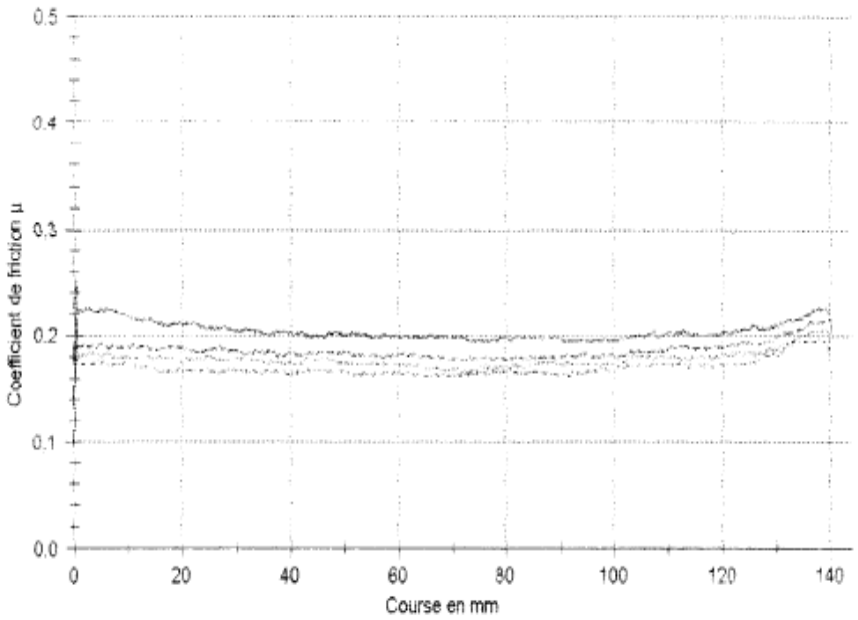
Tableau de paramètres:

Légende	: ASTM D 1894 Détermination du coeff. de frottement et de friction - SOEXPLAST ECH/06
Nom de société	: SOFIPLAST le 16.06.2019
Client	: soexplast
Opérateur	: TECHNIQUE
Matériel	: FILM THERMORETRACTABLE
Norme	: ASTM D1894 DETERMINATION COEF FRICTION
Méthode d'essai	: echantillant 6
Couche de frottement	: Phase traite
Surface de frottement	: FILM pochette lait
Epaisseur de l'éprouvette	: DE 70 JUSQUA 80u

Résultats:

Nr	μ_s	F_s g	μ_k	F_k g	Début de course mm	Fin de course mm
1	0,25	50,65	0,20	40,54	10,00	140,00
2	0,22	43,87	0,19	37,05	10,00	140,00
3	0,21	42,12	0,18	35,48	10,00	139,99
4	0,20	39,97	0,17	33,91	10,00	139,99

Graphique de séries:



Statistiques:

Série n = 4	μ_s	F_s g	μ_k	F_k g	Début de course mm	Fin de course mm
$\bar{x}$	0,22	44,15	0,18	36,74	10,00	140,00
s	0,02	4,62	0,01	2,84	0,00	0,00
v	10,45	10,45	7,73	7,73	0,00	0,00

Annexe 20 : Détermination des propriétés de traction et du coefficient de frottement de l'échantillon 02

DIN EN ISO 527-1 Détermination des propriétés de traction longitudinale et transversale

Tableau de paramètres:

Legende	: DIN EN ISO 527-1 Détermination des propriétés de traction longitudinale et transversale
Nom de société	: SOFIPLAST LE 12/06/2019
Client	: SOEXPLAST MEDIA
Operateur	: DEPARTEMENT LABORATOIRE
Norme	: DIN EN ISO 527-1
Matériau	: (2)...(62%SABIC 118WJ +33.5% BASEL 2427F+4.5%colorant B Polytec PT 110470)
Production/Charge	: Technique
Traitement préparatoire	: film pochette lait
Conditions d'essai	: TEMPERATURE: 23 C°
Mâchoires	: 100mm
Machine d'essai	: traction/friction (Zwick)

Precharge : 0,5 N Vitesse d'essai : 50 mm/min
Vitesse module: 20 mm/min

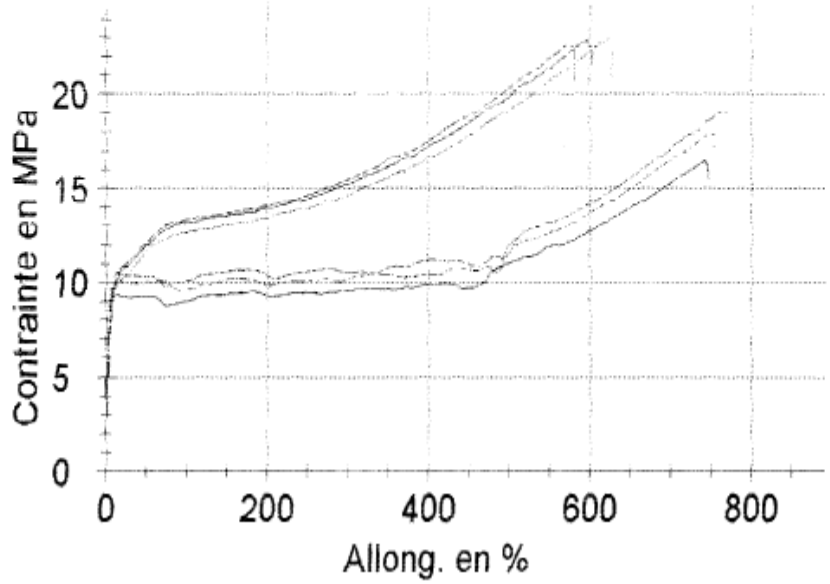
Résultats:

Légende	Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	S0 mm²	Et MPa	σx MPa	σY MPa
———	1	0,06833	20	100,00	1,367	122,06	9,50	-
- - - - - - -	2	0,06667	20	100,00	1,333	269,54	9,71	-
.....	3	0,07	20	100,00	1,4	241,31	9,24	-
- - - - - - -	4	0,071	20	100,00	1,42	317,51	9,85	-
.....	5	0,068	20	100,00	1,36	308,52	10,20	-
———	6	0,071	20	100,00	1,42	287,50	9,06	-

Légende	Nr	εY %	σM MPa	εM %	σB MPa	εB %	εtM %	εtB %
———	1	-	22,82	597,28	21,41	602,11	597,28	602,11
- - - - - - -	2	-	22,71	576,36	20,54	580,83	576,36	580,83
.....	3	-	22,90	623,12	20,24	628,14	623,12	628,14
- - - - - - -	4	-	17,92	750,28	17,19	753,42	750,28	753,42
.....	5	-	19,13	766,49	18,83	768,39	766,49	768,39
———	6	-	16,42	741,61	15,41	746,88	741,61	746,88

SOFIPLAST LE 12/06/2019 12.06.2019

Graphique de séries:



Statistiques:

Série n = 6	a0 mm	b0 mm	L0 mm	S0 mm²	Et MPa	σx MPa	σY MPa	εY %
x	0,06917	20	100,00	1,383	257,74	9,59	-	-
s	0,001773	0,000	0,00	0,03547	71,91	0,42	-	-
ν	2,56	0,00	0,00	2,56	27,90	4,34	-	-

Série n = 6	σM MPa	εM %	σB MPa	εB %	εtM %	εtB %
x	20,31	675,86	18,94	679,96	675,86	679,96
s	2,86	85,95	2,28	85,17	85,95	85,17
ν	14,09	12,72	12,02	12,53	12,72	12,53

Page 2/2

ASTM D 1894 Détermination du coeff. de frottement et de friction - SOEXPLAST
ECH/01

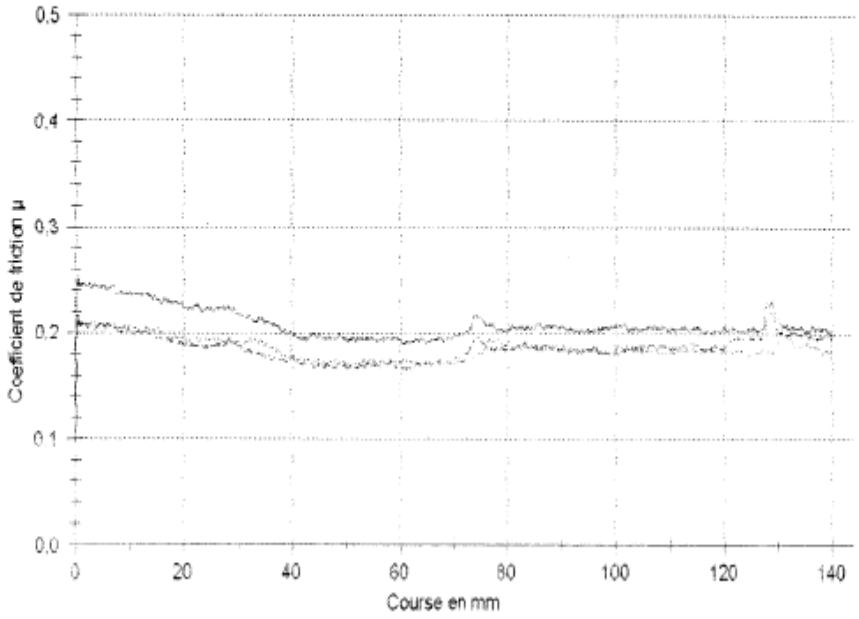
Tableau de paramètres:

Legende	: ASTM D 1894 Détermination du coeff. de frottement et de friction - SOEXPLAST ECH/01
Nom de société	: SOFIPLAST le 13.06.2019
Client	: soexplast
Opérateur	: TECHNIQUE
Matériel	: FILM THERMORETRACTABLE
Norme	: ASTM D1894 DETERMINATION COEF FRICTION
Méthode d'essai	: echantillant 2
Couche de frottement	: traité
Surface de frottement	: FILM pochette lait
Epaisseur de l'éprouvette	: DE 70 JUSQUA 80µ

Résultats:

Nr	μ_S	F_S g	μ_K	F_K g	Début de course mm	Fin de course mm
1	0,25	50,70	0,21	41,23	10,00	139,93
2	0,21	42,76	0,18	36,78	10,00	139,96
3	0,22	43,54	0,18	36,62	10,00	139,93

Graphique de séries:



Statistiques:

Série n = 3	μ_s	F_s g	μ_k	F_k g	Début de course mm	Fin de course mm
$\bar{x}$	0,23	45,67	0,19	38,21	10,00	139,94
s	0,02	4,38	0,01	2,61	0,00	0,01
v	9,58	9,58	6,84	6,84	0,00	0,01

Annexe 21 : Détermination des propriétés de traction et du coefficient de frottement de l'échantillon 03

DIN EN ISO 527-1 Détermination des propriétés de traction longitudinale et transversale

Tableau de paramètres:

Legende	: DIN EN ISO 527-1 Détermination des propriétés de traction longitudinale et transversale
Nom de société	: SOFIPLAST LE 12/06/2019
Client	: SOEXPLAST MEDIA
Operateur	: DEPARTEMENT LABORATOIRE
Norme	: DIN EN ISO 527-1
Matériau	: (3)...(64%SABIC 118WJ +33.5%BASEL 2427F+2.5%colorant B Polytec PT 110470)
Production/Charge	: Technique
Traitement préparatoire	: film pochette lait
Conditions d'essai	: TEMPERATURE: 23 C
Mâchoires	: 100mm
Machine d'essai	: traction/friction (Zwick)

Précharge : 0.5 N Vitesse d'essai : 50 mm/min
Vitesse module : 20 mm/min

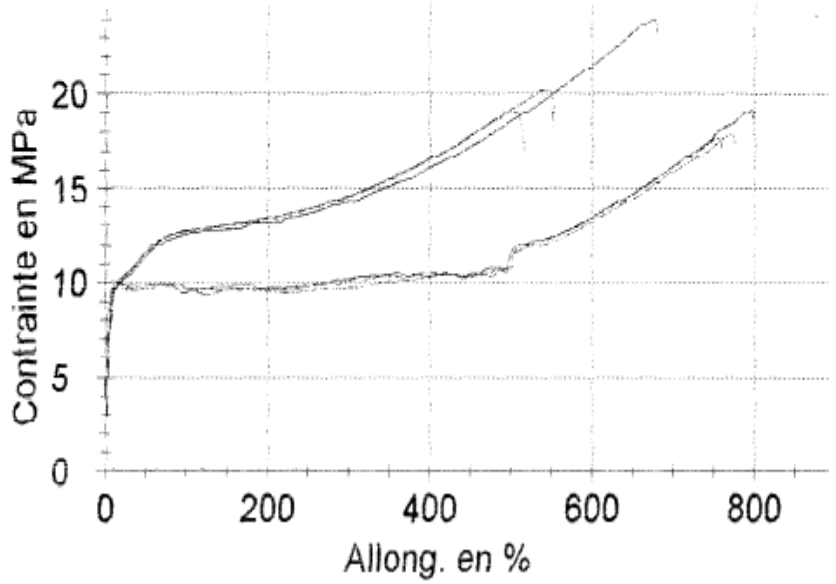
Résultats:

Légende	Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	S0 mm²	Et MPa	σx MPa	σY MPa
———	1	0,071	20	100,00	1,42	158,22	8,99	-
- - - - -	2	0,07133	20	100,00	1,427	190,28	9,12	-
.....	3	0,06833	20	100,00	1,367	254,83	9,26	-
- . - . -	4	0,071	20	100,00	1,42	303,14	9,67	-
- - - - -	5	0,072	20	100,00	1,44	288,12	9,43	-
———	6	0,06933	20	100,00	1,387	321,50	9,73	-

Légende	Nr	εY %	σM MPa	εM %	σB MPa	εB %	εtM %	εtB %
———	1	-	23,95	674,41	23,27	680,42	674,41	680,42
- - - - -	2	-	20,27	543,13	18,24	552,94	543,13	552,94
.....	3	-	19,03	505,83	16,68	515,82	505,83	515,82
- . - . -	4	-	17,68	754,45	17,06	758,20	754,45	758,20
- - - - -	5	-	17,83	771,60	17,34	774,67	771,60	774,67
- . - . -	6	-	19,18	797,16	18,67	799,33	797,16	799,33

SOFIPLAST LE 12/06/2019 12.06.2019

Graphique de séries:



Statistiques:

Série n = 6	a0 mm	b0 mm	L0 mm	S0 mm²	Et MPa	σx MPa	σY MPa	εY %
x	0,0705	20	100,00	1,41	252,68	9,37	-	-
s	0,001378	0,000	0,00	0,02757	65,36	0,30	-	-
ν	1,96	0,00	0,00	1,96	25,87	3,18	-	-

Série n = 6	σM MPa	εM %	σB MPa	εB %	εtM %	εtB %
x	19,66	674,43	18,54	680,23	674,43	680,23
s	2,31	123,75	2,43	120,35	123,75	120,35
ν	11,76	18,35	13,12	17,69	18,35	17,69

Page 2/2

ASTM D 1894 Détermination du coeff. de frottement et de friction - SOEXPLAST
ECH/03

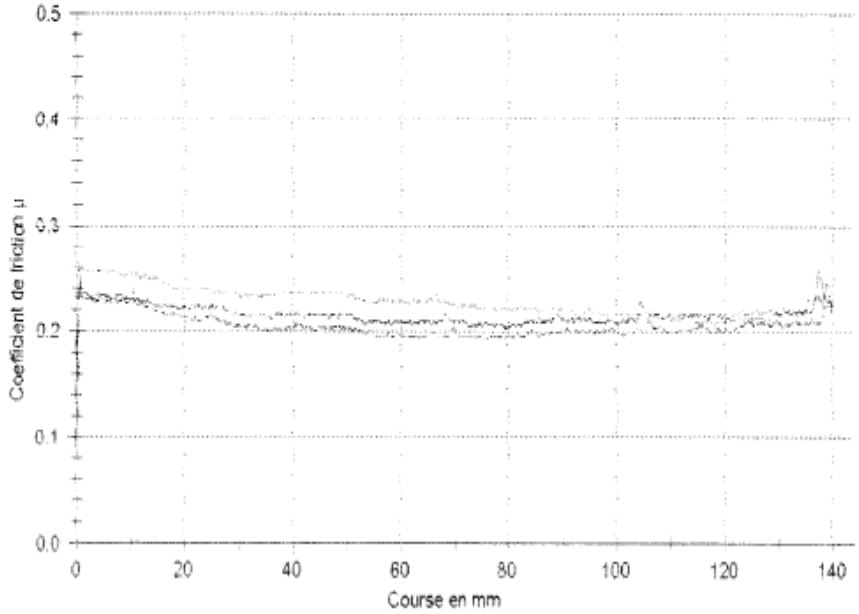
Tableau de paramètres:

Légende	: ASTM D 1894 Détermination du coeff. de frottement et de friction - SOEXPLAST ECH/03
Nom de société	: SOFIPLAST le 16.06.2019
Client	: soexplast
Opérateur	: TECHNIQUE
Matériel	: FILM THERMORETRACTABLE
Norme	: ASTM D1894 DETERMINATION COEF FRICTION
Méthode d'essai	: echantillant 3
Couche de frottement	: Phase traité
Surface de frottement	: FILM pochette lait
Epaisseur de l'éprouvette	: DE 70 JUSQUA 80µ

Résultats:

Nr	μ_s	F_s g	μ_k	F_k g	Début de course mm	Fin de course mm
2	0,25	50,44	0,21	42,87	10,00	139,93
3	0,24	48,05	0,20	40,66	10,00	139,98
4	0,27	53,44	0,23	45,01	10,00	140,00

Graphique de séries:



Statistiques:

Série n = 3	μ_s	F_s g	μ_k	F_k g	Début de course mm	Fin de course mm
x	0,25	50,64	0,21	42,85	10,00	139,97
s	0,01	2,70	0,01	2,18	0,00	0,04
v	5,33	5,33	5,08	5,08	0,00	0,03

Annexe 22 : Détermination des propriétés de traction et du coefficient de frottement de l'échantillon 04

DIN EN ISO 527-1 Détermination des propriétés de traction longitudinale et transversale

Tableau de paramètres:

Légende	: DIN EN ISO 527-1 Détermination des propriétés de traction longitudinale et transversale
Nom de société	: SOFIPLAST LE 13/06/2019
Client	: SOEXPLAST MEDIA
Operateur	: DEPARTEMENT LABORATOIRE
Norme	: DIN EN ISO 527-1
Matériau	: (4)...(63%SABIC 118WJ +33.5%BASEL 2427F+3.5%colorant B polytec PT 110470)
Production/Charge	: Technique
Traitement préparatoire	: film pochette lait à base de butane
Conditions d'essai	: TEMPERATURE: 23 C°
Mâchoires	: 100mm
Machine d'essai	: traction/friction (Zwick)

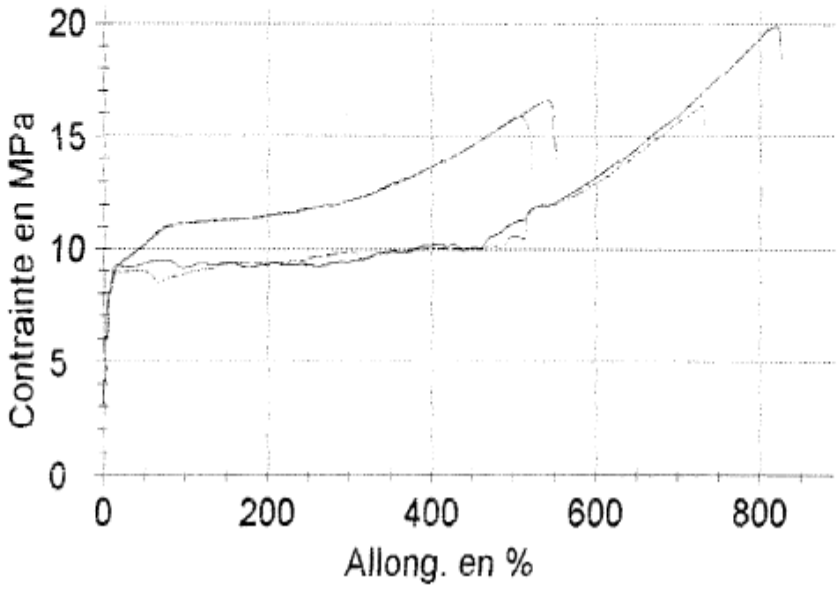
Précharge : 0,5 N Vitesse d'essai : 50 mm/min
Vitesse module: 20 mm/min

Résultats:

Légende	Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	S0 mm²	Et MPa	σx MPa	σY MPa
———	1	0,06733	20	100,00	1,347	244,17	8,76	-
- - - - - - -	2	0,06933	20	100,00	1,387	197,87	8,30	-
.....	3	0,06667	20	100,00	1,333	225,14	8,36	-
- . - . - . -	5	0,071	20	100,00	1,42	265,42	8,64	-

Légende	Nr	εY %	σM MPa	εM %	σB MPa	εB %	εtM %	εtB %
———	1	-	19,90	819,64	18,35	824,28	819,64	824,28
- - - - - - -	2	-	16,55	539,62	13,99	549,67	539,62	549,67
.....	3	-	15,81	509,23	12,94	521,38	509,23	521,38
- . - . - . -	5	-	16,32	727,56	15,17	732,16	727,56	732,16

Graphique de séries:



Statistiques:

Série n = 4	a0 mm	b0 mm	L0 mm	S0 mm²	Et MPa	σx MPa	σY MPa	εY %
x	0,06858	20	100,00	1,372	233,15	8,51	-	-
s	0,00197	0,000	0,00	0,03939	28,70	0,22	-	-
v	2,87	0,00	0,00	2,87	12,31	2,57	-	-

Série n = 4	σM MPa	εM %	σB MPa	εB %	εtM %	εtB %
x	17,14	649,01	15,11	656,87	649,01	656,87
s	1,86	149,21	2,34	145,53	149,21	145,53
v	10,87	22,99	15,48	22,16	22,99	22,16

ASTM D 1894 Détermination du coeff. de frottement et de friction

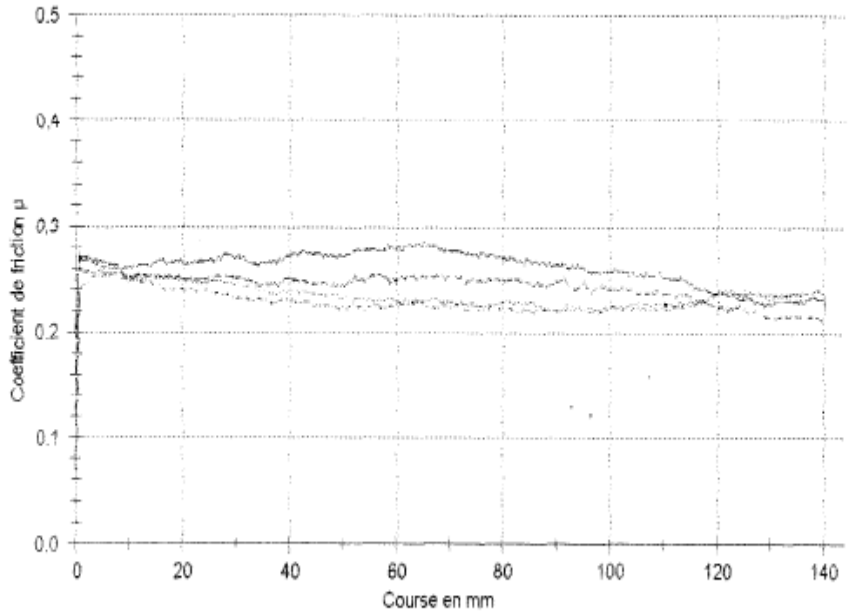
Tableau de paramètres:

Légende	: ASTM D 1894 Détermination du coeff. de frottement et de friction ECH104
Nom de société	: SOFIPLAST 16.06.2019
Client	: FILM BLANC
Opérateur	: TECHNIQUE
Norme	: ASTM D1894 DETERMINATION COEF FRICTION
Méthode d'essai	: B
Couche de frottement	: PHASE TRAITE
Epaisseur de l'éprouvette	: DE 70 JUSQUA 75µ

Résultats:

Nr	µs	Fs g	µk	Fk g	Début de course mm	Fin de course mm
1	0,27	54,39	0,26	52,19	10,00	140,00
2	0,28	55,54	0,24	48,40	10,00	140,00
3	0,26	52,41	0,23	46,78	10,00	139,99
4	0,26	51,62	0,23	45,82	10,00	140,00

Graphique de séries:



Statistiques:

Série n = 4	μ_s	F_s g	μ_k	F_k g	Début de course mm	Fin de course mm
$\bar{x}$	0,27	53,49	0,24	48,30	10,00	140,00
s	0,01	1,80	0,01	2,81	0,00	0,01
v	3,36	3,36	5,81	5,81	0,00	0,00

Annexe 23 : Détermination des propriétés de traction et du coefficient de frottement de l'échantillon 05

DIN EN ISO 527-1 Détermination des propriétés de traction longitudinale et transversale

Tableau de paramètres:

Légende	: DIN EN ISO 527-1 Détermination des propriétés de traction longitudinale et transversale
Nom de société	: SOFIPLAST LE 13/06/2019
Client	: SOEXPLAST MEDIA
Opérateur	: DEPARTEMENT LABORATOIRE
Norme	: DIN EN ISO 527-1
Matériau	: (5)...(50%SABIC 118WJ +50%BASEL 2427F)
Production/Charge	: Technique
Traitement préparatoire	: film pochette lait à base de butane
Conditions d'essai	: TEMPERATURE: 23 C°
Mâchoires	: 100mm
Machine d'essai	: traction/friction (Zwick)

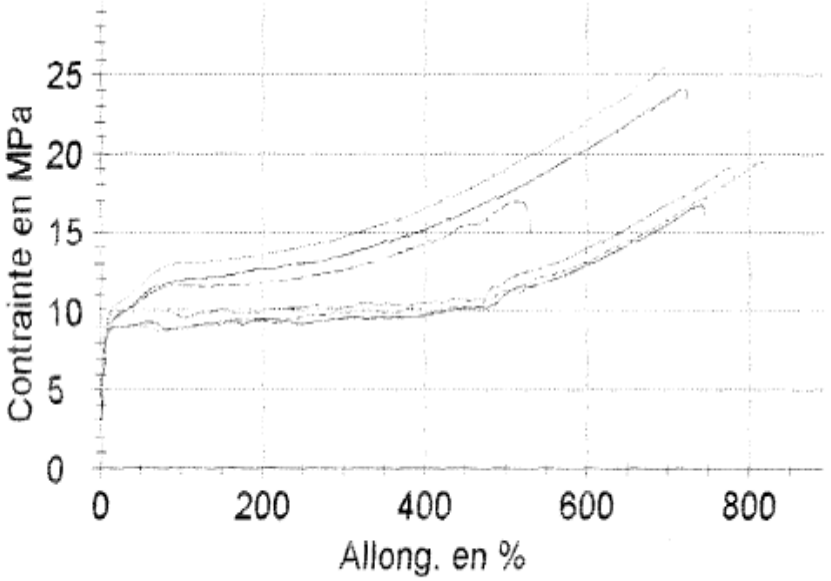
Précharge : 0.5 N Vitesse d'essai : 50 mm/min
Vitesse module : 20 mm/min

Résultats:

Légende	Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	S0 mm²	Et MPa	σx MPa	σY MPa
———	1	0,07167	20	100,00	1,433	209,62	8,72	-
- - - - - -	2	0,06333	20	100,00	1,267	214,42	8,70	-
.....	3	0,07	20	100,00	1,4	149,76	9,35	-
-.-.-.-	5	0,07	20	100,00	1,4	257,78	8,61	-
-.-.-.-	6	0,07033	20	100,00	1,407	298,93	9,71	-
———	7	0,06967	20	100,00	1,393	261,53	8,67	-

Légende	Nr	εY %	σM MPa	εM %	σB MPa	εB %	εtM %	εtB %
———	1	-	24,08	718,08	23,40	722,18	718,08	722,18
- - - - - -	2	-	16,93	517,76	14,32	529,30	517,76	529,30
.....	3	-	25,32	694,88	24,14	696,42	694,88	696,42
-.-.-.-	5	-	19,50	816,00	18,80	818,89	816,00	818,89
-.-.-.-	6	-	19,10	775,81	18,41	780,05	775,81	780,05
———	7	-	16,68	741,50	16,03	745,08	741,50	745,08

Graphique de séries:



Statistiques:

Série n = 6	a0 mm	b0 mm	L0 mm	S0 mm²	Et MPa	σx MPa	σY MPa	εY %
x	0,06917	20	100,00	1,383	232,01	8,96	-	-
s	0,002942	0,000	0,00	0,05884	52,13	0,46	-	-
ν	4,25	0,00	0,00	4,25	22,47	5,11	-	-

Série n = 6	σM MPa	εM %	σB MPa	εB %	εtM %	εtB %
x	20,27	710,67	19,18	715,32	710,67	715,32
s	3,63	103,74	3,92	100,81	103,74	100,81
ν	17,93	14,60	20,41	14,09	14,60	14,09

ASTM D 1894 Détermination du coeff. de frottement et de friction SOEXPLAST

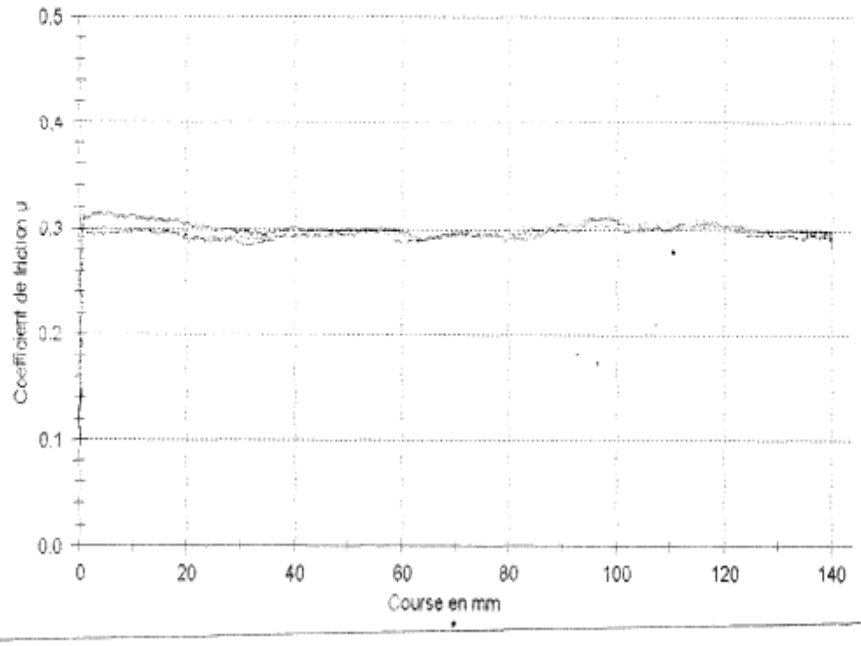
Tableau de paramètres:

Legende	: ASTM D 1894 Détermination du coeff. de frottement et de friction SOEXPLAST ECH105.
Nom de société	: SOFIPLAST 16.06.2018
Client	: SOEXPLAST
Opérateur	: TECHNIQUE
Matériel	: FILM BLANC
Norme	: ASTM D1894 DETERMINATION COEF FRICTION
Méthode d'essai	: B
Couche de frottement	: TRAITE
Surface de frottement	: FILM pochette lait
Epaisseur de l'éprouvette	: 70-75 µm
Direction	: Technique
Mâchoires	: 100mm

Résultats:

Nr	μ_S	F_S g	μ_K	F_K g	Début de course mm	Fin de course mm
2	0,32	63,19	0,30	59,88	10,00	140,00
3	0,30	59,61	0,30	59,06	10,00	140,00
4	0,31	61,02	0,30	59,81	10,00	139,99

Graphique de séries:



Statistiques:

Série n = 3	μ_s	F_s g	μ_k	F_k g	Début de course mm	Fin de course mm
$\bar{x}$	0,31	61,27	0,30	59,58	10,00	140,00
s	0,01	1,81	0,00	0,45	0,00	0,00
v	2,95	2,95	0,76	0,76	0,00	0,00