

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION
DEPARTEMENT DU GENIE MECANIQUE



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme

Master académique en Génie Mécanique

Option : Génie des matériaux

Thème :

Etude du comportement physico-chimique et
mécanique du polydiméthylsiloxane 100% RTV
dans différents milieux

Réalisé par :

Mr. Mammeri Lyes

Mr. Medani Ahcène

Soutenu devant le jury composé de :

Mr. Ferhoum Rabah	UMMTO	Président
Mr. Hadj-ali Youcef	UMMTO	Promoteur
Mme. Mouhllebi-Djeddi Fadila	UMMTO	Examineur
Mr. Zazi Nacer	UMMTO	Co-promoteur

Promotion : 2024/2025

Dédicace

Je dédie ce travail en premier lieu à mes très chers parents qui m'ont soutenu depuis tant d'années que dieu les protège, et aussi à mes frères et mes sœurs, ainsi qu'à toute ma famille.

Je dédie aussi ce travail à tous mes amis proches
Sans oublier tous mes camarades et collègues,
ainsi qu'à la famille de
Mon binôme.

Medani Ahcène

Dédicace

Je dédie ce travail de fin d'études à ma chère famille,
source inépuisable de soutien, de
patience et d'encouragement. À mes parents, pour
leurs sacrifices et leur amour

Inconditionnel.

À mes frères et sœurs, pour leur présence rassurante.

Je pense également à mes amis proches, dont le
soutien moral et les conseils qui m'ont été
précieux tout au long de cette aventure. Que cette
réussite soit aussi la vôtre.

Enfin, à tous ceux qui, de près ou de loin, ont
contribué à la réalisation de ce projet, je vous
exprime ma profonde gratitude.

Mammeri Lyes

REMERCIEMENTS

Nous remercions tout d'abord Allah de nous avoir donné la force, la volonté et le courage pour l'élaboration de ce travail. Nos sincères remerciements Pour le président et les membres du jury pour l'honneur qu'il nous font en examinant notre travail. et Notre gratitude à Mr Hadj-Ali Youcef notre promoteur et superviseur, ainsi qu'à Mr Zazi Nacer, notre Co-promoteur et bras droit pour les conseils et l'aide inestimable qu'ils nous ont fournis dans le développement de ce travail.

Nos remerciements vont également à tous nos enseignants, particulièrement les enseignants du département du Génie Mécanique, ainsi qu'à tous les responsables et le personnel de la faculté du Génie de la Construction, mais aussi à tout le personnel du laboratoire de Mécanique, Structure et énergétique (LMSE), du Centre National des Technologies et du Consulting (CNTC), du laboratoire de chimie, et du laboratoire science des matériaux pour leur accueil et leur bienveillance. Nous adressons nos plus vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Sommaire

Sommaire

I.1.	Introduction	2
I.2.	Définition du polymère	2
I.3.	Domaine d'applications des polymères	3
I.4.	Composition chimique des polymères	4
I.5.	Structure des polymères	4
I.5.1.	Polymères amorphes	4
I.5.2.	Polymères cristallins	4
I.5.3.	Polymères semi-cristallins	5
I.6.	La classification des polymères	5
I.6. 1	Classification selon l'origine.....	5
I.6. 2	Classification Selon l'architecture	5
I.6. 3	Classification selon le comportement thermique	7
I.6. 4	Polymères Thermoplastiques	8
I.6. 5	Polymères Thermodurcissables.....	8
I.6. 6	Elastomères	9
I.6. 7	Classification selon la structure chimique.....	10
I.7.	Les polymères biodégradables et les polymères conducteurs.....	10
I.8.	Les techniques de caractérisation des polymères	11
I.9.	Polymérisation.....	13
I.10.	Types de polymérisation.....	14
I.11.	Conclusion.....	16
II.1.	Introduction	18

II.2.	Vieillissement physique des polymères	18
II.2.1.	Le fluage	18
II.2.2.	Modification de la morphologie	18
II.2.3.	Vieillissement Avec transfert de masse.....	18
II.2.4.	Vieillissement sans transfert de masse	19
II.2.5.	Vieillissement par relaxation de volume et d'enthalpie	20
II.2.6.	Influence de vieillissement physique sur les propriétés du polymère	20
II.3.	Vieillissement chimique des polymères.....	20
II.3.1.	Types de vieillissement chimique selon les facteurs environnementaux	21
II.3.2.	Température (vieillissement thermique)	21
II.3.3.	Rayonnement UV (vieillissement photochimique).....	21
II.3.4.	Milieux chimiques (vieillissement par agents chimiques).....	21
II.3.5.	Humidité ou eau (vieillissement hydrolytique)	21
II.3.6.	Oxydation.....	21
II.3.7.	Réticulation.....	22
II.3.8.	Dépolymérisation.....	22
II.3.9.	Coupures de chaînes statiques	23
II.3.10.	Vieillissement climatique.....	23
II.3.11.	vieillissement biochimique.....	24
II.3.12.	vieillissement mécano chimique	24
II.4.	Vieillissement des silicones (PDMS) en milieux aqueux.....	Erreur ! Signet non défini.
II.5.	Conclusion.....	24
III.1.	Introduction	27
III.2.	Définition.....	27
III.3.	Les différents types de silicones.....	27
III.3.1.	RTV (Room Temperature Vulcanizing)	28

III.3.2.	HTV (High Temperature Vulcanizing)	29
III.3.3.	VMQ (Vinyl-Methyl Silicone)	30
III.3.4.	PMQ (Phenyl-Methyl Silicone).....	31
III.3.5.	PVMQ (Phenyl-Vinyl-Methyl Silicone)	32
III.3.6.	FVMQ (Fluoro-Vinyl-Methyl Silicone).....	33
III.4.	Fabrication de la silicone.....	33
III.5.	Propriétés du silicone PDMS (Polydiméthylsiloxane) <i>100% RTV</i>	34
III.5.1.	1 Propriétés physiques.....	34
III.5.2.	Propriétés chimiques	34
III.5.3.	Propriétés mécaniques.....	34
III.5.4.	Propriétés électriques	34
III.5.5.	Propriétés thermiques.....	35
III.6.	Composition chimique du PDMS (Polydiméthylsiloxane)	35
III.7.	Matériau utilisé : Mastic Silicone 100% RTV	36
III.8.	Conclusion.....	39
IV.1.	Introduction	40
IV.2.	Préparation des échantillons	40
IV.2.1.	Matériaux et produits utilisés	40
IV.2.2.	Composition chimique	40
IV.3.	Etapas suivi pour la réalisation des échantillons	41
IV.4.	Essai du fluage.....	44
IV.5.	Observation Microscopique.....	47
IV.6.	Analyse Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR).....	48
IV.7.	Essai de traction.....	51
IV.8.	Variation gravimétrique.....	53
IV.9.	Conclusion.....	55

V.1.	Introduction	56
V.2.	Résultat d'Analyse en fluage	56
V.2.1.	Présentation des résultats	56
V.2.2.	Échantillon 0 – Témoin (à l'air libre)	56
V.2.3.	Échantillon 1 – Solution de sel (3%)	57
V.2.4.	Échantillon 2 – Eau de Javel (3%)	58
V.2.5.	Échantillon 3 – Eau de robinet.....	59
V.2.6.	Comparaison des courbes de fluage des 4 échantillons	59
V.3.	Résultat d'essai de traction.....	60
V.3.1.1.	Échantillon 0 présent à l'Air libre	60
V.3.1.2.	Échantillon 1 ayant subi une immersion dans une solution de 3 % en masse de NaCl	61
V.3.1.3.	Échantillon 2 ayant une immersion dans une solution d'eau de Javel (3 %) en masse	62
V.3.1.4.	Échantillon 3 après immersion dans l'eau du robinet	62
V.4.	Résultats expérimentaux de la Variation gravimétrique	65
V.4.1.	La courbe de variation après 20 jours d'émersion	65
V.4.2.	La courbe de variation après 40 jours	66
V.4.3.	Comparaison des graphes de variation après 20/40 jours.....	66
V.5.	Résultats de l'analyse microscopique	68
V.5.1.	Échantillon 0 – À l'air libre	68
V.5.2.	Échantillon 1 – Solution de sel (3 %).....	69
V.5.3.	Échantillon 2 – Eau de Javel (3 %)	70
V.5.4.	Échantillon 3 – Eau de robinet	71
V.5.5.	Comparaison des échantillons.....	72
V.6.	Résultat d'Analyse Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR).....	72
V.6.1.	Échantillon 0 – Air libre(a)	73

V.6.2. Échantillon 1 – Sel (NaCl 3 %) (b)	73
V.6.3. Échantillon 2 – Eau de Javel (3 %)	73
V.6.4. Échantillon 3 – Eau de robinet	73
V.6.5. Analyse comparative FTIR après 20 jours d’immersion	73
V.6.6. Analyse comparative FTIR après 40 jours d’immersion	74
V.6.7. Conclusion :	75
Résumé	81
Abstract	79

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les polymères

Figure I- 1: Organisation structurale d’un Polymère ; (a) Visualisation 3D, (b) Représentation Schématique [4]	3
Figure I- 2: Applications des polymères [5]	3
Figure I- 3: Structure des polymères.....	5
Figure I- 4: Polymère à molécules linéaires [7].....	6
Figure I- 5: Polymère à molécules ramifiées [7]	7
Figure I- 6: Polymère à molécules réticulées [7]	7
Figure I- 7: Thermoplastique [8]	8
Figure I- 8: Thermodurcissable [9]	9
Figure I- 9: Elastomères [9]	9

Chapitre II : vieillissement des polymères

Figure-II 1 : Schématisation de la pénétration d’un solvant dans un polymère [29].....	19
Figure-II 2: Schématisation d’un processus de coupure de chaînes [36].....	23

Chapitre III : les silicones et matériau d’étude

Figure III- 1 : Application du mastic silicone RTV pour l'étanchéité et la protection de composants [43]	29
Figure III- 2: Joints en HTV utilisé dans l'industrie [44].....	30
Figure III- 3: Joints en VMQ silicone [45].....	31
Figure III- 4: PMQ silicone [46]	32
Figure III- 5: Phenyl-Vinyl-Methyl Silicone [48].....	32
Figure III- 6: Joints en silicone (FVMQ).....	33
Figure III- 7: Formule chimique [58]	35
Le PDMS est constitué d'une chaîne principale composée d'atomes de silicium (Si) et d'oxygène (O) alternés, avec deux groupes méthyle (-CH ₃) attachés à chaque atome de silicium. Sa structure peut être représentée ainsi : figure III- 8.	36

Chapitre IV : Matériaux d'étude et procédures expérimentales

Figure IV- 1: matériaux utilisés	41
Figure IV- 2: plaques de silicone (1) dimension (12 mm) et (2) dimension (6 mm).....	42
Figure IV- 3: différents milieux d'études	43
Figure IV- 4: Les quatre éprouvettes utilisées	46
Figure IV- 5: essai de fluage (a)dispositif l'essai (b) montage expérimentale Application de la charge constante.	46
Figure IV- 6: Microscope Optique (labo SDM ummto).....	48
Figure IV- 7: Spectromètre FTIR de laboratoire de chimie (UMMTO).....	49
Figure IV- 8: L'échantillon dans Accessoire ATR.....	50
Figure IV- 9: Plan de l'éprouvette de traction en PDMS.	52
FigureIV- 10: Éprouvettes en PDMS pour l'essai de traction.	52
Figure IV- 11: Machine de traction LOYD LR5K Plus utilisée au CNTC de Boumerdès.	53
Figure IV- 12: Pesée d'un échantillon de PDMS après immersion	55

Chapitre V : Résultats et discussions

Figure (V- 1) : Echantillon (0) à l'air libre	57
Figure (V- 2) : Echantillon (1) Solution de sel (3%)	58

Figure (V- 3) : Eau de Javel (3%)	58
Figure (V- 4) : Échantillon E.3 – Eau de robinet	59
Figure (V- 5) : Comparaison des courbes de fluage des 4 échantillons	60
Figure (V- 6) : Echantillon (0) laissé à l’air libre	61
Figure (V- 7) : Courbe de traction après immersion dans une solution de NaCl de concentration de 3% en masse	61
Figure (V- 8) : Courbe de traction après immersion dans l’eau de Javel de concentration de 3 % en masse en hypochlorites de sodium	62
Figure (V- 9) : Échantillon 3 en immersion dans l’eau de robinet	63
Figure (V- 10) : courbes de traction des échantillons 0 ,1,2,3	64
Figure (V- 11) : Variation de la perte de masse après 20 jours d’émersion	65
Figure (V- 12) : Variation de la perte de masse après 40 jours d’émersion	66
Figure (V- 13) : Variation de la perte de masse après 20 et 40 jours d’émersion	67
Figure V- 14: Echantillon 0 en présence d’Air libre : a- avant immersion, b- 20 jours, c- 40 jours sans immersion	68
Figure V- 15: Echantillon 1 à 3% de sel : a (avant immersion), b 20 jours), c (40 jours) d’émersion	69
Figure V- 16: Echantillon 2 à 3% d’eau de javel : a (avant immersion), b (20 jours), c (40 jours) d’émersion	70
Figure V- 17: Echantillon (3) dans l'eau de robinet : a (avant immersion), b (20 jours), c (40 jours) d’émersion	71
Figure V- 18: Spectres FTIR des 4 échantillons après 20 jours d’exposition	72
Figure V- 19 : graphe comparatif après 20 jours d’émersion	74
Figure V- 20: graphe comparatif après 40 jours d’émersion	75

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralité sur les polymères

Tableau I- 1: éléments chimiques des polymères [5]4

Tableau I- 2: Comparaison entre Polyaddition et Polycondensation15

Chapitre III : les silicones et matériau d'étude

Tableau III- 1: Types des silicones les plus courants [43].....28

Tableau III- 2 : Composants principaux du PDMS [61].36

Tableau III- 3: Fiche technique [57-58-59].....38

Chapitre IV : Matériaux d'étude et procédures expérimentales

Tableau IV- 1: nomenclature des échantillons44

Tableau IV- 2: les éprouvettes immergées durant 20 jours45

Tableau IV- 3: Paramètres de mesure.....51

Chapitre V : Résultats et discussions

Tableau (V- 1) : Les déformations pour chaque échantillon56

Tableau (V- 2) : les résultats expérimentaux d'essai du traction.....64

Tableau (V- 3) : Variation gravimétrique des échantillons de PDMS.....65

Liste des abréviations :

PDMS : polydiméthylsiloxane

PE : Polyéthylène

PP : Polypropylène

PVC : Polychlorure de vinyle

PS : Polystyrène

PET : polyéthylène téréphtalate

Si-Si : Polysilanes

Si-O-Si : Polysiloxanes

MEB : Microscopie électronique à balayage

ATG : L'analyse thermogravimétrique

DSC : L'analyse colométrie différentielle à balayage

DMA : L'analyse mécanique dynamique

UV : Ultraviolets

RTV : Room Temperature Vulcanizing

SDM : Science Des Matériaux

FTIR : Fourier Transformé Infrared Spectroscopy

ATR : Attenuated Total Reflectance

CNTC : Centre National des Technologies et du Consulting

ASTM : American Society for Testing and Materials

EJ : Eau de Javel

ER : Eau de Robinet



Introduction Générale

Introduction générale

Les matériaux polymères occupent une place essentielle dans les domaines industriels modernes grâce à leur légèreté, leur flexibilité, leur résistance chimique et leurs propriétés mécaniques variées. Parmi eux, les élastomères de silicone, notamment le polydiméthylsiloxane (PDMS), sont largement utilisés dans des applications allant du biomédical aux composants d'étanchéité, en raison de leur stabilité thermique et chimique. Toutefois, leur durabilité à long terme reste un enjeu crucial, notamment lorsqu'ils sont exposés à différents environnements aqueux pouvant accélérer leur vieillissement ou altérer leurs propriétés fonctionnelles.

Ce travail de fin d'études s'inscrit dans le cadre de l'étude du comportement du PDMS soumis à un vieillissement en milieux aqueux. L'objectif principal est de caractériser l'évolution des propriétés physico-chimiques et mécaniques du PDMS après exposition prolongée à différents environnements : l'air libre, l'eau de robinet, une solution saline à 3 % de NaCl et une solution oxydante d'eau de Javel à 3 %.

Ce mémoire s'articule autour de cinq chapitres complémentaires : Le premier chapitre présente les généralités sur les polymères, en décrivant leurs structures, types, propriétés et domaines d'application. Le deuxième chapitre aborde l'effet du vieillissement sur les propriétés des polymères, en mettant l'accent sur les mécanismes de dégradation et les facteurs influents. Le troisième chapitre traite plus spécifiquement des silicones, et du matériau d'étude principal : le PDMS. Le quatrième chapitre est dédié à la description des matériaux utilisés et du protocole expérimental mis en œuvre, incluant la préparation des échantillons, les conditions de vieillissement et les techniques d'analyse employées. Enfin, le cinquième chapitre présente les résultats obtenus et propose une discussion sur l'influence des milieux aqueux sur le comportement du PDMS.



Chapitre I :
Généralités sur les
polymères

I.1. Introduction

Le développement des polymères a marqué une avancée majeure dans le domaine des matériaux. Le premier polymère entièrement synthétique, la Bakélite, a été mis au point en 1909 par L. Baekeland [1]. Par la suite, dans les années 1920, H. Staudinger a introduit le concept de macromolécules, une découverte qui lui vaudra le prix Nobel de Chimie en 1953 [2]. À la même époque, W.H. Carothers et son équipe, au sein de la Compagnie Dupont de Nemours, ont réussi à synthétiser un matériau macromoléculaire : le polyamide. Ce travail a abouti, en 1935, à l'élaboration des premières fibres de polyamide 6-6, commercialisées dès 1939 [3].

En parallèle aux polymères synthétiques, il existe également des polymères naturels, tels que l'ambre, l'ADN et les protéines, qui jouent un rôle essentiel dans de nombreux processus biologiques et industriels .

L'objectif de ce chapitre est de présenter les polymères en général et le matériau polymère faisant l'objet de ce mémoire la silicone.

I.2. Définition du polymère

Un polymère est une macromolécule organique composée d'unités de base appelées monomères, reliées entre elles par des liaisons covalentes. Il peut être d'origine naturelle, issu de la modification chimique d'un polymère naturel, ou entièrement synthétisé par polymérisation. Selon leur structure, les polymères peuvent être linéaires, ramifiés ou réticulés. Ils sont généralement amorphes, bien que certains puissent présenter une cristallisation partielle [4].

Un polymère peut être schématisé par l'enchaînement covalent figure [I.1] (b) Dénommé chaîne macromoléculaire, illustration d'un polymère (a).

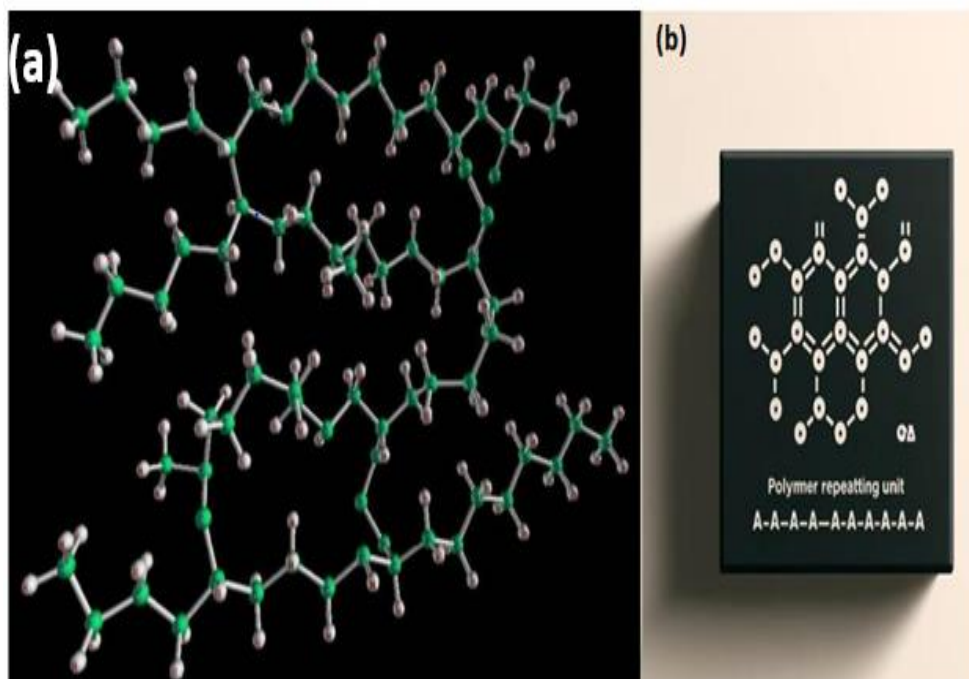


Figure I- 1:Organisation structurale d'un Polymère ; (a) Visualisation 3D, (b) Représentation Schématique [4]

I.3. Domaine d'applications des polymères

Les polymères ont des caractéristiques physico-chimiques très attrayantes et sont employés dans diverses applications, notamment dans le secteur de l'emballage, que ce soit pour les produits alimentaires, domestiques ou encore pour le transport.

Ils sont également utilisés dans les domaines du bâtiment, de l'automobile, de l'électroménager, du textile, de l'électricité, des loisirs et de l'agriculture [5].



Figure I- 2: Applications des polymères [5]

I.4. Composition chimique des polymères

La plupart des polymères sont constitués de neuf éléments chimiques majeurs, à savoir : l'hydrogène, l'azote, l'oxygène, le fluor, le silicium, le phosphore, le soufre et le chlore.

Le tableau [I.1] indique la masse atomique et le symbole chimique de chacun de ces éléments :

Tableau I- 1:Éléments chimiques des polymères [5]

Élément	Masse atomique	Symbole chimique
Hydrogène	1	H
Carbone	12	C
Azote	14	N
Oxygène	16	O
Fluor	19	F
Silicium	28	Si
Phosphore	31	P
Soufre	32	S
Chlore	35,5	Cl

I.5. Structure des polymères

Les structures des polymères sont présentées dans la figure [I .3] ils peuvent être :

I.5.1. Polymères amorphes

L'arrangement régulier des chaînes macromoléculaires n'est pas possible, les chaînes s'enlacent les unes aux autres et se replient sur elles-mêmes, ces polymères sont sous forme de pelote statistique.

I.5.2. Polymères cristallins

Ce sont des polymères formés uniquement de zones cristallines, Ce sont des matériaux ordonnés à grande distance.

I.5.3. Polymères semi-cristallins

Ce type de structure possède des zones ordonnées (cristallines) et des zones désordonnées (amorphes).



Figure I- 3:Structure des polymères.

I.6. La classification des polymères

Les polymères peuvent être classés en fonction de leurs composés macromoléculaires, selon des critères tels que l'origine, le type d'architecture ou le comportement thermique, constituant ainsi la base de leur classification, y compris leur classification chimique. Servant alors de fondement à la classification :

I.6.1 Classification selon l'origine

On peut classer les polymères en fonction de leur origine :

I.6.1.1 Des polymères naturels : ce sont des composés organiques qui constituent la matière vivante, tels que les protéines, les acides nucléiques et la cellulose.

I.6.1.2 Les polymères artificiels : dérivés des polymères naturels : nitrate et acétate de cellulose, ébonite (caoutchouc fortement réticulé par le soufre).

I.6.1.3 Des polymères de synthèse : il s'agit des élastomères, des fibres et des adhésifs [6].

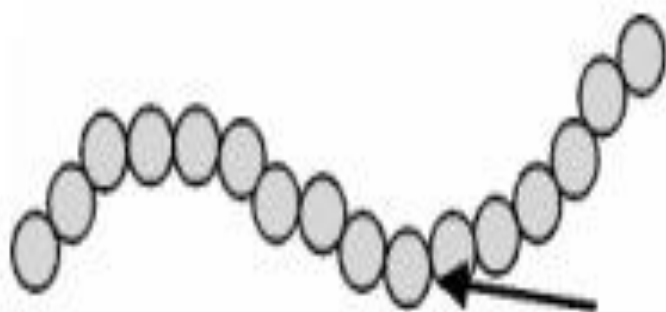
I.6.2 Classification Selon l'architecture

Les polymères peuvent être soit à molécules linéaires, à molécules ramifiées ou à molécules réticulées [7].

I.6.2.1. Polymères à molécules linéaires

Ils sont composés de molécules qualifiées de linéaires dont la trame principale de la chaîne est formée d'atomes de carbone ou d'autres assemblages d'atomes (groupement phényle). Les molécules linéaires peuvent présenter une flexibilité et une souplesse, sans pour autant former de réseaux.

Des structures stables en trois dimensions, elles sont fréquemment entrelacées et constituant des nœuds de réticulation physique qui peuvent être éliminés soit par une élévation de température, soit sous pression mécanique Figure I- 4.



Squelette de la chaîne principale

Figure I- 4: Polymère à molécules linéaires [7]

I.6.2.2. Polymères à molécules ramifiées

Un squelette de molécule linéaire peut avoir des ramifications, c'est-à-dire d'autres petites molécules identiques attachées latéralement au squelette principal ; ce sont les ramifications. Dans ce scénario, la macromolécule présente plusieurs terminaux (plus de 2). Ces molécules ne créent pas un réseau en trois dimensions Figure I-5.

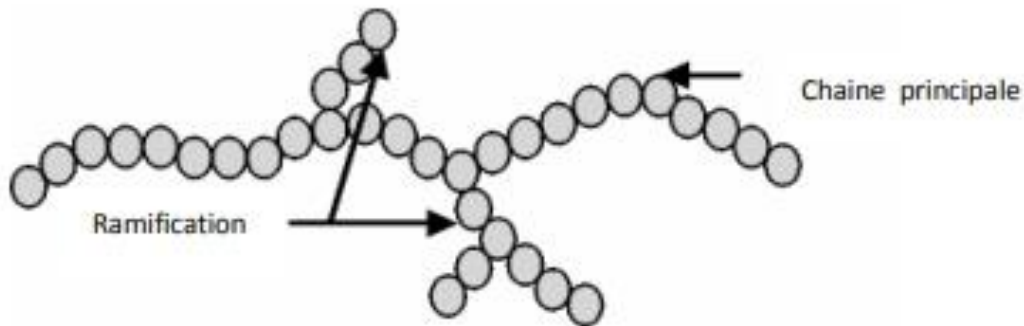


Figure I- 5: Polymère à molécules ramifiées [7]

I.6.2.3. Polymères à molécules réticulés

Il est possible d'établir un réseau tridimensionnel de macromolécules en les connectant chimiquement. L'endroit où deux chaînes se rencontrent est désigné comme le nœud de réticulation (nœud chimique) ; ces polymères sont qualifiés de réticulés, et c'est généralement le cas pour les élastomères et les thermodurcissables Figure I-6.

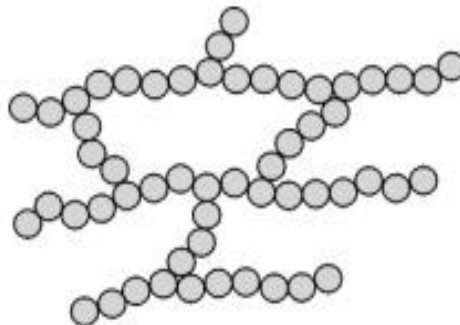


Figure I- 6: Polymère à molécules réticulées [7]

I.6. 3 Classification selon le comportement thermique

Sur échelle de comportement thermique on trouve trois types des polymères qui sont :

- Les thermoplastiques.
- Les thermodurcissables.
- Les élastomères

I.6.4 Polymères Thermoplastiques

Les thermoplastiques sont des polymères amorphes ou semi-cristallins, formés de macromolécules soit linéaires soit faiblement ramifiées. Sous l'influence de la chaleur, les thermoplastiques deviennent souples et malléables puis se rigidifient lorsqu'ils sont refroidis, ce qui les rend facilement recyclables. Leurs polymères primaires sont formés de macromolécules linéaires connectées par des liaisons fragiles susceptibles d'être brisées sous l'influence de la chaleur ou de contraintes intenses. Elles ont alors la capacité de glisser les unes contre les autres, permettant ainsi une transformation de leur forme, figure I- 7 [8].

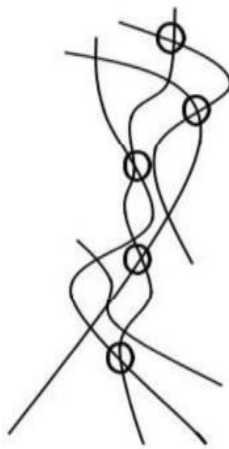


Figure I- 7:Thermoplastique [8]

I.6.5 Polymères Thermodurcissables

Les plastiques thermodurcissables sont des polymères qui se solidifient de façon permanente lors de leur première mise en forme. Contrairement aux thermoplastiques, ils ne peuvent pas être remodelés une fois durcis, car ils ne se ramollissent plus sous l'effet de la chaleur. À des températures élevées, ils se dégradent et finissent par brûler.

Leur structure moléculaire est constituée de longues chaînes reliées par un réseau dense de liaisons chimiques tridimensionnelles, formant ainsi une structure rigide et résistante. Ces liaisons croisées et pontages solides empêchent tout glissement entre les chaînes, ce qui permet aux thermodurcissables de conserver leur forme et leurs propriétés mécaniques, même sous l'effet de la chaleur.

La matière thermodurcissable garde toujours sa forme en raison de ces liaisons croisées et des pontages très résistants qui empêchent tout glissement entre les chaînes figure I-8[9].

Exemples des polymère thermodurcissables :

- Les résines époxy
- Les résines phénoliques (bakélite)
- Les polyuréthanes thermodurcissables
- Les résines polyester insaturées

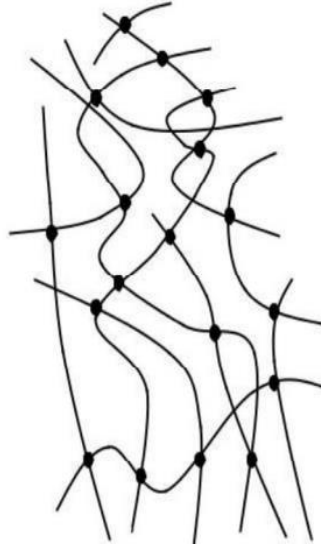


Figure I- 8: Thermodurcissable [9]

I.6. 6 Elastomères

Un élastomère est un matériau amorphe qui, lorsqu'il est inactif, est formé de longues chaînes moléculaires pliées sur elles-mêmes. Sous l'effet de contraintes, les molécules ont la capacité de se déformer et de glisser les unes par rapport aux autres.

L'utilisation des élastomères est courante dans la production de coussins, de certains matériaux isolants, de semelles pour chaussures ainsi que de pneus figure I-9[9].



Figure I- 9: Elastomères [9]

I.6.7 Classification selon la structure chimique

I.6.7.1. Polymères organiques

Ce sont des polymères constitués principalement de carbone, hydrogène, oxygène et azote. Ils incluent :

I.6.7.2. Polymères vinyliques :

Obtenus par polymérisation de monomères contenant une double liaison C=C.

Exemples :

- Polyéthylène (PE)
- Polypropylène (PP)
- Polychlorure de vinyle (PVC)
- Polystyrène (PS)

I.6.7.3. Polyesters :

Contenant des groupements ester (-COO-), comme le polyéthylène téréphtalate (PET).

I.6.7.4. Polyamides :

Contenant des liaisons amide (-CONH-), comme le nylon.

I.6.7.5. Polyuréthanes :

Contenant des liaisons uréthane (-NHCOO-).

I.6.7.6. Polymères inorganiques

Ils ne contiennent pas de carbone dans leur squelette principal. Exemples :

- Polysilanes (-Si-Si-)
- Polysiloxanes (-Si-O-Si-), aussi appelés silicones
- Polymères à base de phosphazènes (-P=N-) [10].

I.7. Les polymères biodégradables et les polymères conducteurs

I.7.1. Les polymères biodégradables

Les matériaux biodégradables sont des substances capables d'être décomposées en dioxyde de carbone, méthane, eau, composés inorganiques ou biomasse grâce à l'action enzymatique des micro-organismes, ce qui les rend aptes à une telle transformation.

La biodégradabilité d'un matériau est donc définie comme la capacité inhérente du matériau à être décomposé par une action microbienne, simplifiant progressivement sa

structure pour finalement se transformer en CO_2 , H_2O et/ou CH_4 et donné une nouvelle biomasse [11].

I.7.2. Les polymères conducteurs

Les polymères conducteurs sont des substances organiques qui ont la capacité de transmettre l'électricité grâce à leur composition chimique spécifique, comprenant des chaînes de macromolécules dotées de liaisons doubles alternées. Découverts dans les années 1970, ces matériaux suscitent un vif intérêt en raison de leurs applications possibles dans les appareils électroniques flexibles, comme les cellules solaires organiques. Les travaux de recherche actuels visent à améliorer leur conductivité, flexibilité et stabilité afin d'étendre l'usage industriel [12].

I.8. Les techniques de caractérisation des polymères

La caractérisation des matériaux polymères est essentielle pour analyser leur structure, leur stabilité thermique et leurs propriétés mécaniques, afin de mieux comprendre leur comportement en service et leur durée de vie. Elle permet d'identifier les modifications provoquées par des facteurs tels que la température, l'humidité ou vieillissement.

Pour cela plusieurs techniques complémentaires sont employées, telles que ;

I.8.1. Microscopie électronique à balayage (MEB)

La microscopie électronique à balayage (MEB) est un instrument qui utilise un faisceau d'électrons pour examiner la surface d'un échantillon avec une très grande résolution. Son principe repose sur l'interaction, générant différents signaux qui permettent d'obtenir des informations sur la morphologie, la composition et la structure des matériaux.

- Génération du faisceau d'électrons
- Focalisation et balayage
- Interaction faisceau-échantillon
- Détection et formation de l'image [13].

I.8.2. Caractérisation visuelle (Microscope Optique)

Un microscope optique est une technique de caractérisation qui utilise la lumière visible et un système de lentilles pour observer et analyser la structure et la morphologie des matériaux à l'échelle microscopique. Il permet d'étudier des échantillons en mettant en évidence des défauts, des altérations des particularités de surface.

En science des matériaux, notamment pour la silicone, il sert à examiner les effets de la dégradation physico-chimique, comme la fissuration, les changements de texture ou l'apparition de résidus à la surface [14].

I.8.3. Analyse thermogravimétrie (ATG)

L'analyse thermogravimétrie (ATG) est donc une méthode d'analyse puissante pour Étudier les propriétés thermiques des matériaux, particulièrement dans le cadre des réactions De dégradation thermique et d'oxydation.

I.8.3.1. Principe (ATG)

L'analyse thermogravimétrie (ATG) mesure la variation de la masse d'un échantillon en fonction de la température Ou temps. Lorsque l'échantillon est chauffé ou exposé à un programme de température, des réactions thermiques, telles que la décomposition ou l'oxydation, Entraînent une perte de masse (par exemple, la formation de gaz comme la vapeur D'eau ou le dioxyde de carbone) ou une prise de masse (par exemple, lors de L'absorption d'oxygène dans une réaction d'oxydation).

En substance, la thermogravimétrie est un instrument crucial pour analyser les réactions thermiques, en particulier dans des domaines tels que la chimie des matériaux, l'étude des polymères ou encore la caractérisation des catalyseurs et combustibles. Elle offre la possibilité de communiquer avec le changement de masse à des événements chimiques ou physiques particuliers, offrant ainsi une perspective précise des mécanismes en action [15].

I.8.4. L'analyse colométrie différentielle à balayage (DSC)

La technique d'analyse thermique connue sous le nom de calorimétrie différentielle à balayage (ou DSC en anglais) est utilisée pour mesurer les différences de chaleur. Elle évalue les variations des transferts de chaleur entre un échantillon à examiner et une référence (comme l'alumine ou même l'air).

I.8.4.1. Principe (DSC)

La température transition vitreuse (Tg) des substances amorphes : polymères, verres (qu'ils soient inorganiques, organiques ou métalliques) et liquides ioniques ; les températures de fusion et de cristallisation ; ainsi que les enthalpies de réaction sont déterminantes pour

évaluer les niveaux de réticulation de certains polymères. Les analyses se font en présence d'un gaz inerte (comme l'azote ou l'argon) afin d'éviter toute interaction entre le matériau à examiner et l'atmosphère du four.

L'instrument est soumis à des variations de température significatives. Ainsi, la localisation de certains composants de la DSC sera sujette à changement. Tous les calculs effectués par l'interface numérique se basent sur la position du thermocouple situé entre le spécimen et la référence. En se déplaçant, les résultats seront altérés. Il est donc essentiel de procéder à un étalonnage régulier en contrôlant, par exemple, les points de fusion grâce à l'indium, au zinc ou au plomb (typiquement, l'indium est utilisé - $T_f = 156,6 \text{ °C}$; $\Delta H = 28,45 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$) [16].

I.8.5. L'analyse mécanique dynamique (DMA)

La dynamique mécanique analytique (DMA) est une méthode d'analyse thermique employée pour déterminer les caractéristiques mécaniques des matériaux lors de leur déformation sous une pression récurrente. La DMA est fréquemment mise en œuvre pour analyser le comportement viscoélastique des polymères, des composites et d'autres substances.

La DMA examine les caractéristiques mécaniques des matériaux en exerçant une force vibrante sur un échantillon et en observant sa réaction. Cette méthode autorise l'évaluation des caractéristiques de rigidité et d'amortissement du matériau, définies respectivement par le module de stockage (réaction élastique) et le module de perte (réaction visqueuse). La DMA offre également la possibilité d'évaluer le tan delta d'un matériau, qui représente le rapport entre le module de perte et le module de stockage, fournissant ainsi des renseignements sur les propriétés d'amortissement du matériau [17].

I.9. Polymérisation

La polymérisation est un processus chimique au cours duquel des molécules appelées monomères s'assemblent pour former de longues chaînes appelées polymères. Ce phénomène peut être déclenché par divers facteurs tels que la chaleur, la pression, le rayonnement ultraviolet ou l'ajout de catalyseurs, comme les peroxydes, qui facilitent la réaction.

La polymérisation peut également se produire naturellement sans intervention externe, mais dans ce cas, elle est beaucoup plus lente. Ce phénomène explique la difficulté de

conserver certains monomères sur de longues périodes, car ils ont tendance à réagir spontanément pour former des polymères [18].

I.10. Types de polymérisation

La polymérisation est le processus chimique par lequel des monomères s'assemblent pour former des polymères. Elle se divise en deux types principaux :

I.10.1. La polyaddition : Une réaction en chaîne où les monomères s'additionnent les uns aux autres sans élimination de sous-produits. Elle nécessite un initiateur et se déroule en trois étapes : initiation, propagation et terminaison.

I.10.2. La polycondensation : Une réaction progressive entre des monomères possédant des groupes Fonctionnels réactifs (-OH, -COOH, -NH₂). Elle entraîne l'élimination d'un sous-produit (comme l'eau ou l'alcool) à chaque étape de la polymérisation [19]. Ces réactions permettent la synthèse de nombreux polymères aux propriétés variées.

I.10.3. Exemples de polymères issus de chaque type de polymérisation :

I.10.3.1. Polyaddition : Polyéthylène (PE), Polystyrène (PS), Polychlorure de vinyle (PVC).

I.10.3.2. Polycondensation : Nylon (Polyamide), Polyester (PET), Résines phénoliques.

Tableau I- 2: Comparaison entre Polyaddition et Polycondensation

Caractéristique	Polymérisation par addition	Polymérisation par condensation
Formation de sous-produit	Non	Oui (ex. : eau, méthanol)
Type de monomère	Avec double liaison (C=C)	Avec groupes fonctionnels réactifs (-OH, -COOH, -NH ₂)
Exemple de polymères	Polyéthylène, PVC, polystyrène	Nylon, polyester, protéines
Vitesse de réaction	Rapide	Plus lente
Type de polymères produits	Souvent linéaires ou ramifiés	Linéaires ou réticulés (tridimensionnels)

I.10.4. Méthodes de polymérisation

En général, la polymérisation peut être réalisée en masse, en solution, en suspension ou en émulsion.

I.10.4.1. Polymérisation en masse

Dans cette méthode, le monomère liquide (ou un oligomère solide) est soumis à la polymérisation en étant uniquement accompagné de l'initiateur de polymérisation (catalyseur), qui est essentiel pour lancer la réaction [20]. En règle générale, la réaction ne peut se produire qu'en présence de pressions et de températures élevées. L'équipement utilisé est donc compliqué. Le polymère se caractérise par une haute pureté [21].

I.10.4.2. Polymérisation en solution

Le monomère et les catalyseurs, si nécessaire, sont dissous dans un solvant. Cette méthode autorise l'exécution à des températures réduites et favorise une extraction de la chaleur de réaction plus performante. Par rapport à la polymérisation en masse, il requiert une étape supplémentaire : l'extraction du polymère et du solvant. Par ailleurs, les impuretés du solvant sont susceptibles de polluer le polymère [21].

I.10.4.3. Polymérisation en suspension

Un monomère non soluble dans l'eau est dispersé en gouttes de 10 μ m à 5mm par agitation rapide dans une phase aqueuse, qui est ensuite enrichie d'un stabilisant. Avant sa dispersion, on incorpore un initié tel que le peroxyde de benzoyle dans le monomère, qui est soluble dans un environnement organique. On procède ensuite à la polymérisation du monomère en suspension à une température variant de 80°C à 110°C. À l'issue de la réaction, le polymère apparaît sous forme de perles si le polymère et le monomère sont solubles ensemble, ou sous forme de granulés s'ils ne le sont pas [22].

I.10.4.4. Polymérisation en émulsion

L'utilisation d'agents émulsifiants, tels que les savons ou les acides gras sulfonés, etc.) permet d'obtenir une émulsion composée de particules de taille réduite. La polymérisation est alors réalisée en présence d'un catalyseur soluble dans l'eau. Cette méthode permet d'obtenir des produits de masse moléculaire élevée. Cependant l'élimination des agents émulsionnants reste un processus particulièrement complexe [23].

I.11. Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'explorer les polymères sous plusieurs aspects fondamentaux, en établissant une base solide pour mieux comprendre leur comportement et leur évolution dans le temps. Nous avons défini les polymères et leur domaine d'application. Nous avons ensuite analysé la composition chimique du polymère, avant de détailler les différentes classifications des polymères en fonction de leur structure et de leur mode de synthèse. De plus, les principales techniques de caractérisation ont été présentées, permettant d'évaluer les propriétés physiques, thermiques et mécaniques des polymères. Enfin, nous avons abordé les mécanismes de polymérisation, qui influencent directement les caractéristiques des matériaux polymères.

Ces notions sont essentielles pour aborder la thématique de la dégradation physico-chimique des silicones. En effet, la structure et la composition des polymères, ainsi que leur mode de polymérisation, conditionnent leur stabilité face aux agressions extérieures. Les techniques de caractérisation évoquées permettront également d'analyser les modifications subies par les silicones au fil du temps. Ainsi, ce chapitre constitue une introduction

essentielle pour mieux comprendre les mécanismes de dégradation et leurs impacts sur les propriétés de la silicone.

Chapitre II : Vieillessement des polymères

II.1. Introduction

Le chapitre précédent a permis de présenter les généralités sur les polymères, en décrivant leur structure, leurs propriétés, ainsi que leurs domaines d'application. Toutefois, ces matériaux ne conservent pas indéfiniment leurs performances, notamment lorsqu'ils sont exposés à des conditions environnementales variables.

Avec le temps, les polymères peuvent subir des modifications de leurs caractéristiques physiques, chimiques ou mécaniques. Ce phénomène, appelé vieillissement, correspond à une dégradation progressive, souvent irréversible, qui peut altérer leur structure moléculaire et réduire leur durabilité.

On distingue généralement deux types de vieillissement :

Le vieillissement physique, lié à des modifications internes sans réactions chimiques ;

Le vieillissement chimique, impliquant des transformations irréversibles de la structure du polymère.

Ce chapitre a pour objectif d'examiner les effets du vieillissement sur les propriétés des polymères, en mettant l'accent sur les mécanismes de dégradation observés, notamment dans le cas des silicones.

II.2. Vieillissement physique des polymères

Ce type de vieillissement correspond à tout processus conduisant à une modification des propriétés d'utilisation du matériau sans qu'il y ait modification de la structure chimique de ce dernier. Il couvre les phénomènes de vieillissement sous contrainte. Mécanique, les processus de relaxations, les phénomènes associés au transfert de masse (infiltration de solvants, déplacement d'adjuvants) ainsi que les phénomènes de surface [24].

II.2.1. Le fluage

Le fluage désigne la déformation d'un matériau provoquée par le maintien constant de la température et de la contrainte. C'est une déformation permanente qui évolue avec le temps, en d'autres termes, de nature viscoplastique.

Bien que ce type de déformation puisse se produire à toute température supérieure au zéro absolu, son impact significatif ne se manifeste qu'à des températures plutôt hautes. En

général, ce type d'effet est considéré à partir de températures approximatives de $0,2 \cdot T_f$, où T_f représente la température de fusion du matériau [24].

II.2.2. Modification de la morphologie

Le vieillissement interne physique est exclusivement associé à des facteurs intramuros au matériau (mobilité moléculaire), c'est-à-dire que le matériau arrive à la fin de son utilisation, dans un état thermodynamique instable. Le vieillissement est donc le résultat d'une progression plus ou moins graduelle vers une condition plus stable. Le vieillissement physique est donc associé à la mobilité des molécules et sera d'autant plus rapide si la température est élevée, tandis qu'il sera plus lent si l'histoire thermique a permis au matériau d'arriver à un état stable [25].

II.2.3. Vieillissement Avec transfert de masse

Impliquant une absorption/désorption de substances par le matériau (comme la pénétration de solvants, la migration d'adjuvants, etc.) [26].

II.2.3.1. Pénétration d'un solvant :

Cela entraîne généralement une plastification du polymère. La plastification se manifeste lorsque les molécules de solvant pénètrent dans le réseau macromoléculaire. Cela engendre des perturbations qui altèrent, voire annihilent les liaisons secondaires. Responsables des liaisons assurant la cohésion du matériau. Par conséquent, en éliminant les liaisons secondaires du polymère, l'eau réduit la cohésion mécanique et renforce la mobilité moléculaire [27].

L'infiltration du solvant suit une loi de diffusion. Cette pénétration est facilitée par un faible taux de réticulation. Cela entraîne la plastification, caractérisée par une baisse du module d'élasticité et de la contrainte à la rupture.

Augmentation de l'élongation jusqu'à la rupture et réduction de la température de transition vitreuse [28].

La pénétration de solvant dans le polymère peut entraîner un gonflement susceptible d'entraîner des changements de structure interne, surtout en présence d'hétérogénéités qui génèrent des contraintes entre des zones plus ou moins gorgées. Ces zones peuvent être

amorphes (facilement accessibles) ou cristallines (relativement imperméables). Ce gonflement se manifeste lorsque le matériau traverse plusieurs cycles de vieillissement [27].

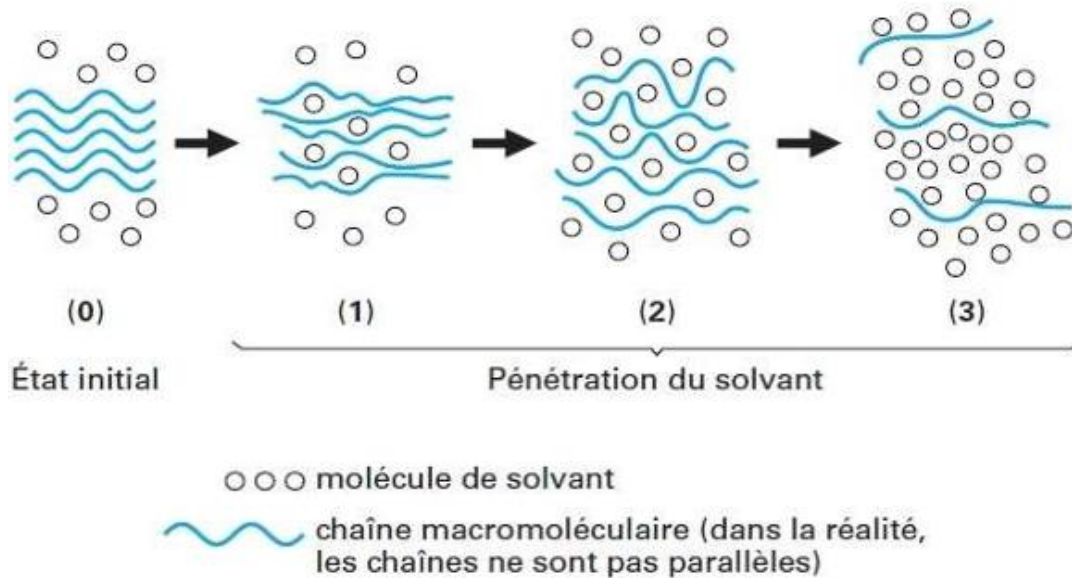


Figure-II 1 : Schématisation de la pénétration d'un solvant dans un polymère [29].

II.2.3.2. La disparition d'adjuvants

Les adjuvants servent à réduire la température de transition vitreuse des substances plastiques. Avec le temps, ces adjuvants peuvent se déplacer ou s'évaporer, entraînant une modification des caractéristiques du matériau. Plus le poids moléculaire des adjuvants est bas (molécules de petite taille) plus les utilisateurs sont familiers avec les mobiles, plus leur transition est rapide.

L'évacuation et l'élimination des adjuvants peuvent avoir lieu soit par évaporation, soit par extraction ou exsudation [30].

II.2.4. Vieillessement sans transfert de masse

Un composé tensio-actif peut provoquer la fissuration d'un matériau soumis à une contrainte. Si le matériau se trouve dans une condition thermodynamique instable suite à sa mise en place, cela pourrait entraîner un vieillissement physique interne [31]. Dans des conditions de tension active, et sous l'effet de contraintes mécaniques, il peut arriver que des fissures se forment dans certaines situations. On constate principalement ce phénomène dans le contexte du polyéthylène. Le phénomène de fissuration est associé à l'apparition de

contraintes superficielles à l'interface polymère-liquide, ainsi qu'à la masse moléculaire du polymère. Effectivement, un polyéthylène de masse moléculaire élevée est moins susceptible à ce genre de fissuration [32].

II.2.5. Vieillissement par relaxation de volume et d'enthalpie

Le vieillissement physique d'un polymère amorphe tel que le PDMS se traduit par une réorganisation progressive de son réseau macromoléculaire au cours du temps, conduisant à une augmentation de sa compacité interne. Ce phénomène se manifeste par une réduction du volume spécifique et une diminution de l'enthalpie interne, sans modification chimique de la structure. Il résulte généralement d'un refroidissement rapide depuis une température supérieure à la température de transition vitreuse (T_g), qui empêche le système d'atteindre l'équilibre thermodynamique.

Dans le cas des polymères semi-cristallins, certains segments moléculaires à configuration régulière, initialement piégés dans la phase amorphe, peuvent migrer lentement vers les zones cristallines, renforçant ainsi l'organisation du matériau. Cette migration contribue également à la relaxation de volume et d'enthalpie. Toutefois, dans les matériaux comme le PDMS, qui est essentiellement amorphe à température ambiante, le vieillissement physique peut se traduire par un durcissement progressif ou une modification subtile de ses propriétés mécaniques avec le temps, même en l'absence de cristallisation [32].

II.2.6. Influence de vieillissement physique sur les propriétés du polymère

Le vieillissement physique influence toutes les caractéristiques liées au volume libre et à la mobilité des molécules. La densité s'accroît, le facteur de dilatation décroît, le taux de perte diélectrique se réduit, la dispersion des gaz et des fluides. Dans certaines situations, il est également possible d'apporter des modifications aux optiques [32].

II.3. Vieillissement chimique des polymères

Le vieillissement chimique d'un polymère correspond à l'ensemble des modifications irréversibles de la structure chimique de ses macromolécules, induites par des interactions avec des agents de l'environnement. Ces altérations moléculaires affectent directement les propriétés mécaniques, thermiques, et parfois optiques du matériau, compromettant ainsi ses performances en service.

En pratique, le vieillissement chimique est souvent accompagné d'un vieillissement physique, qui correspond à des modifications de l'organisation moléculaire sans altération chimique. Les deux processus peuvent se superposer et interagir, rendant l'analyse des mécanismes de dégradation plus complexe.

II.3.1. Types de vieillissement chimique selon les facteurs environnementaux

Le vieillissement chimique peut être classé selon la nature des agents externes impliqués dans la dégradation :

II.3.2. Température (vieillissement thermique) :

La température influence fortement la cinétique des réactions chimiques impliquées dans la dégradation. Une élévation de température peut notamment :

- Accélérer la rupture des liaisons chimiques dans les chaînes polymériques (scission de chaîne),
- Favoriser des processus d'**oxydation thermique**,
- Réduire la stabilité des additifs et charges dans les formulations polymère

II.3.3. Rayonnement UV (vieillissement photochimique) :

Exposition à la lumière ultraviolette pouvant induire des réactions de photo-oxydation.

II.3.4. Milieux chimiques (vieillissement par agents chimiques) :

Interaction avec des substances comme les solvants, acides, bases, ou agents oxydants, entraînant gonflement, hydrolyse ou oxydation.

II.3.5. Humidité ou eau (vieillissement hydrolytique) :

Risque de coupure des chaînes polymériques par hydrolyse, notamment pour les polymères contenant des liaisons sensibles comme les esters ou les siloxanes [33].

II.3.6. Oxydation

La majorité des polymères se dégradent principalement par l'oxydation. Les processus d'oxydation impliquent des radicaux libres qui se créent sous l'effet de facteurs mécaniques ou chimiques. La relation entre la stabilité relative des polyoléfinés face à l'oxydation et leur composition chimique est liée.

Essentiellement liée à la possibilité de détacher des atomes d'hydrogène des chaînes macromoléculaires.

Cette réaction est plus aisée avec les polymères qu'avec les hydrocarbures, du fait de l'existence d'impuretés et de sous-produits de dégradation issus du processus de mise en œuvre (tels que des résidus catalytiques, hydroperoxydes, etc.) [26].

Quand toute la qualité d'antioxydant disponible a été consommée, le processus d'oxydation se propage alors à une vitesse très rapide. Étant donné que cette réaction est fortement exothermique, son initiation peut être détectée par une analyse enthalpique différentielle.

Afin de mieux comprendre les mécanismes de vieillissement chimique du PDMS, en particulier sous l'effet d'agents oxydants tels que l'eau de Javel, l'établissement de la vitesse initiale de la réaction d'oxydation s'avère essentiel. Cette vitesse permet d'évaluer la rapidité avec laquelle les premières dégradations moléculaires se produisent au sein du polymère, notamment la rupture des chaînes, l'oxydation des groupes latéraux (comme les Si-CH₃) et la formation éventuelle de nouvelles fonctions chimiques. Elle constitue un indicateur précoce du comportement du matériau face à une attaque chimique et contribue à prédire sa stabilité à moyen et long terme dans des environnements oxydants. [31].

II.3.7. Réticulation

Le processus de réticulation est caractérisé par l'établissement de liaisons covalentes entre les segments de chaînes adjacentes, ce qui diminue la flexibilité de l'isolant et sa capacité à s'étirer, rendant ainsi ce dernier cassant [28]. Il s'agit d'établir des liaisons entre les chaînes linéaires de polymères, comme par exemple avec du soufre dans le caoutchouc naturel [34].

On peut aussi établir ces liaisons par chauffage ou par action de radiations. Ces liaisons de réticulation ont pour effet de réduire les mouvements des chaînes de polymères, ce qui entraîne une diminution des fréquences des pics [34].

II.3.8. Dépolymérisation

La dépolymérisation est impliquée de manière plus ou moins significative dans les différentes formes de dégradation. Il existe une forte analogie entre les phénomènes concernés et les relations qui les gouvernent, d'une part, et ceux liés à la polymérisation, d'autre part [37].

La dépolymérisation est une forme spécifique de la réaction de fragmentation des chaînes. Elle entraîne la suppression d'une portion moléculaire (monomère) et l'émission minimale de la masse moléculaire moyenne.

L'interruption de la chaîne crée un site actif qui perturbe le lien entre les monomères adjacents et entraîne la suppression progressive de molécules de monomère. Ainsi, la dépolymérisation est le contraire de la polymérisation. Elle est d'autant plus aisée que l'énergie de liaison entre les monomères est faible [28].

La dépolymérisation se trouve en concurrence avec plusieurs processus comme les terminaisons et les réarrangements de radicaux macroscopiques [38].

II.3.9. Coupures de chaînes statiques

Les coupures des chaînes statiques ont lieu à des emplacements dispersés de manière aléatoire dans le réseau macromoléculaire. Elle entraîne une réduction de la longueur de chaîne, et donc une diminution de la masse moléculaire moyenne pour les polymères. En ce qui concerne les polymères tridimensionnels, on observe une réduction du taux de réticulation et par conséquent, une augmentation de la masse moléculaire.

Les caractéristiques physiques, optiques et thermiques sont peu affectées par les interruptions de chaînes statiques. Les seules propriétés qui pourraient potentiellement être impactées sont celles associées à des interactions entre polymère et solvant. La solubilité, la diffusion et la perméabilité s'accroissent en fonction du niveau de dégradation [35].



Figure-II 2:Schématisme d'un processus de coupure de chaînes [36].

II.3.10. Vieillissement climatique

L'exposition directe des matériaux à la lumière solaire, aux conditions météorologiques et à diverses formes de pollution (marine, industrielle, etc.) est à l'origine du vieillissement climatique ; la température a aussi une grande importance. Il existe une multitude d'adjuvants destinés à protéger les Polymères (noir de carbone, pigments minéraux comme l'oxyde de zinc et l'oxyde de titane, ainsi que les absorbeurs UV) [31].

II.3.11. Vieillessement biochimique

Divers micro-organismes (comme les moisissures, les champignons, les insectes, les rongeurs, etc.) sont capables de détériorer les polymères. On connaît plusieurs processus de dégradation : l'altération biochimique du matériau, l'épuisement des additifs et l'agression physique par les rongeurs.

La biodégradation est facilitée dans des environnements humides et à des températures plus élevées que la normale, son activité culminant vers 30°C ; on peut mentionner les zones tropicales et équatoriales, les milieux marins ou fluviaux, ainsi que les milieux terrestres. On utilise une multitude d'additifs (phénols, phtalimides, dérivés organométalliques comme le Hg, Sb, As, Sn, Zn) afin de réduire les processus de biodégradation [31].

II.3.12. Vieillessement mécano chimique

Un vieillissement mécano-chimique peut se manifester sous l'action d'une contrainte mécanique comme le broyage ou le fluage. Dans ce contexte, Les radicaux libres générés par les contraintes mécaniques réagissent à l'oxygène [31].

II.4. Conclusion

Dans le cadre de ce projet consacré à l'étude de la dégradation physico-chimique des silicones, ce chapitre a permis d'exposer les principaux mécanismes de vieillissement susceptibles d'affecter ces matériaux au cours du temps.

Le vieillissement physique, à travers des phénomènes tels que le fluage, les modifications morphologiques ou encore la relaxation du volume et de l'enthalpie, entraîne une altération progressive des propriétés mécaniques et dimensionnelles des silicones, même en l'absence de transformations chimiques. Le vieillissement chimique, quant à lui, implique des réactions irréversibles au niveau de la structure macromoléculaire, comme l'oxydation, la réticulation, la coupure de chaînes ou la dépolymérisation. Ces phénomènes modifient en profondeur le comportement du matériau, pouvant conduire à un durcissement, une fragilisation ou une perte de performance.

Une compréhension approfondie de ces processus est indispensable pour anticiper la durabilité des silicones et adapter leur formulation ou leur mode d'utilisation en fonction des conditions environnementales. Ce cadre théorique servira de base à l'interprétation des résultats expérimentaux présentés dans les chapitres suivants.

Chapitre III : Les Silicones

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les silicones, une famille de polymères organosiliciés largement utilisés dans de nombreux domaines industriels et biomédicaux. Ces matériaux se distinguent par leur stabilité thermique, leur élasticité, leur transparence et leur grande inertie chimique.

Le polydiméthylsiloxane (PDMS), un silicone particulièrement répandu, est au cœur de notre étude. Nous nous intéressons à sa structure chimique, ses propriétés physico-chimiques, ainsi que ses domaines d'application.

Ce chapitre introduit également les matériaux, les produits et les formulations utilisés pour l'élaboration des éprouvettes testées, en mettant l'accent sur les spécificités du PDMS de type RTV (Room Temperature Vulcanizing) choisi pour nos expériences.

III.2. Définition

Les silicones sont des composés inorganiques qui se composent d'un mélange de silicium et d'oxygène. On parle de substances « plastiques » qui existent à la fois en état liquide et solide. Ces matériaux constituent non seulement les implants mammaires, mais aussi des mastics, des colles, des articulations, ainsi que certains meubles et produits cosmétiques. C'est leur présence dans cette catégorie de produits qui suscite notre intérêt [39].

III.3. Les différents types de silicones

Sur la base du squelette de polydiméthylsiloxane, on peut générer de nouvelles structures qui possèdent parfois des propriétés radicalement différentes, offrant ainsi divers avantages aux produits cosmétiques. Les principaux moyens employés pour créer les types de silicones mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III- 1: Types des silicones les plus courants [40]

Types de Silicones	Description	Dénomination (INCI)
Volatiles	Siloxanes cycliques ou linéaires de faible poids moléculaire	Cyclomethicone Cyclopentasiloxane Cyclohexasiloxane Trisiloxane Dimethicone
Fluides	Siloxanes linéaires (avec ou, sans fonctionnalités)	Dimethicone Dimethiconecopolyol Aminodimethicone Polydiméthylsiloxanes
Gommes	Siloxanes de haut poids moléculaire	Dimethicone Dimethiconol
Élastomères	Réseau siloxane légèrement réticulé	Dimethiconecrosspolymer Vinyl dimethicone cross polymer
Résines	Réseau siloxane tridimensionnel	Trimethylsiloxysilicate Polymethylsilsesquioxane Polypropylsilsesquioxane

Voici un aperçu plus détaillé des principaux types de silicone, chacun ayant des propriétés spécifiques adaptées à des usages variés :

III.3.1. RTV (Room Temperature Vulcanizing)

La silicone durcit à température ambiante. Il existe en version monocomposant (RTV-1) ou bicomposant (RTV-2). Très facile à appliquer, il est utilisé pour les moulages, les joints d'étanchéité ou les réparations rapides. Il ne nécessite pas de chauffage, ce qui le rend pratique pour les applications domestiques ou artisanales.

Les silicones RTV-1 sont performantes dans quasiment toutes les utilisations de jointoiement, d'adhésion et de couverture. C'est pour cette raison qu'ils trouvent une grande application dans les secteurs les plus rigoureux et dans des conditions d'utilisation extrêmes : automobile, construction, étanchéité, électronique et textiles [41].



Figure III- 1 : Application du mastic silicone RTV pour l'étanchéité et la protection de composants [43]

III.3.2. HTV (High Temperature Vulcanizing)

Ce type est vulcanisé à haute température, souvent à l'aide de peroxydes ou de catalyseurs au platine. Il est plus robuste mécaniquement que le RTV et résiste mieux aux températures extrêmes. On le retrouve dans l'automobile, l'aéronautique ou les équipements électriques.

On applique la silicone HTV dans les équipements et machines qui fonctionnent à des températures hautes, machine de production de moules employé pour la confection des moules destinés au moulage des métaux, des plastiques et autres matériaux présentant une réalisation à haute température [42].



Figure III- 2: Joints en HTV utilisé dans l'industrie [44].

III.3.3. VMQ (Vinyl-Methyl Silicone)

C'est le silicone le plus courant. Il offre une bonne flexibilité, une excellente résistance aux UV, à l'ozone et aux températures élevées (jusqu'à 200–250 °C). Il est cependant moins performant mécaniquement (résistance à la traction ou à l'abrasion) et peu adapté aux environnements dynamiques.

Plusieurs domaines d'utilisation que on applique le silicone VMQ d'eux

- Les applications chaudes (air), telles que les joints de four
- Les applications froides (air), telles que les joints de réfrigération/congélation
- Lorsque des certifications sont nécessaires pour les produits alimentaires, pharmaceutiques et médicaux
- Lorsque la force de déformation est faible, par exemple dans les boîtiers en plastique [42].



Figure III- 3: Joints en VMQ silicone [45]

III.3.4. PMQ (Phenyl-Methyl Silicone)

Grâce à l'ajout de groupes phényle, ce silicone conserve sa souplesse à très basse température (jusqu'à -100 °C). Il est utilisé dans les environnements cryogéniques ou les applications nécessitant une grande stabilité thermique. L'utilisation du silicone Méthyl Phényle est en constante augmentation dans les revêtements de haute performance. Sa résistance thermique et sa capacité à résister aux substances chimiques en font un choix approprié pour les revêtements de protection déployés dans des conditions extrêmes. Les progrès récents comprennent l'élaboration de revêtements sophistiqués qui renforcent la longévité et les performances dans des conditions extrêmes.

On peut l'utiliser dans le Secteur automobile : Dans les revêtements de voiture, l'application d'huile de silicone méthyl phényle renforce la résistance face à la lumière UV et aux températures hautes, allongeant ainsi la longévité des finitions du véhicule. Revêtements industriels : Utilisé dans les revêtements de machines et d'équipements, il contribue à minimiser l'usure [42].



Figure III- 4: PMQ silicone [46]

III.3.5. PVMQ (Phenyl-Vinyl-Methyl Silicone)

Variante du PMQ, il combine les avantages du vinyle et du phényl, offrant une excellente tenue au froid tout en conservant une bonne élasticité. Il est idéal pour les joints exposés à des cycles thermiques extrêmes.

Fréquemment employé dans les systèmes automobiles tels que les soufflets, la valve de filtre à huile, le joint d'étanchéité dans la lumière, entre autres.

Il peut être fabriqué uniquement avec des composants de la « liste blanche » comme stipulé dans la norme 21.CFR 177.2600, pour une utilisation dans des contextes où les élastomères seront en contact avec des aliments ou des boissons. Les silicones peuvent être validés par la National Sanitation Foundation (NSF) pour leur utilisation dans les applications relatives à l'eau potable. Peut être employé dans les systèmes de santé qui requièrent le respect de la norme USP classe [47].



Figure III- 5:Phenyl-Vinyl-Methyl Silicone [48]

III.3.6. FVMQ (Fluoro-Vinyl-Methyl Silicone)

Cette silicone fluorée est le plus résistant aux huiles, carburants, solvants et produits chimiques agressifs. Il est utilisé dans les secteurs aéronautique, automobile ou chimique, là où la résistance chimique est primordiale.

Sont utilisées dans l'industrie telle que l'aviation, l'électronique, les machines et la chimie, des matériaux d'étanchéité résistants aux basses températures et des matériaux isolants imperméables et résistants à l'humidité peuvent être fabriqués [49]



Figure III- 6: Joints en silicone (FVMQ)

III.4. Fabrication de la silicone

La matière première est le silicium pur, obtenu à partir du quartz par électrométallurgie. On fait réagir ce silicium dans des réacteurs chimiques avec du chlorure de méthyle (réaction de Rochow), pour obtenir des méthylchlorosilanes, dont principal est le diméthylchlorosilane (DMDCS) ayant pour formule chimique : $(\text{CH}_3)_2\text{Cl}_2\text{Si}$.

Le DMPCS est ensuite hydrolysé pour éliminer le chlore, puis une polycondensation (polymérisation avec élimination d'eau) conduit à la fameuse chaîne (... -Si-O-Si-O-Si-O-...). Il faut ajuster la longueur de la chaîne, les branchements, et ensuite greffer les fonctions nécessaires à l'utilisation visée [51].

III.5. Propriétés du silicone PDMS (Polydiméthylsiloxane)***100% RTV*****III.5.1. 1 Propriétés physiques**

Le PDMS est un matériau polymère qui peut se présenter sous forme de liquide visqueux ou de solide élastomère, selon son degré de réticulation. Il est généralement incolore et translucide. Sa masse volumique est comprise entre 965 et 980 kg/m³. Le PDMS a un point d'ébullition supérieur à 200 °C (selon la viscosité) et un point d'éclair d'environ 300 °C. Il est capable de fonctionner dans une large plage de températures, de -50 °C à +200 °C, et jusqu'à +250 °C pour certaines qualités spéciales. Il est insoluble dans l'eau mais soluble dans certains solvants organiques comme l'hexane ou le toluène [52].

III.5.2. Propriétés chimiques

Le PDMS présente une excellente stabilité chimique grâce à sa chaîne principale composée de liaisons Si-O-Si. Cette structure le rend très résistant à l'oxydation. Il est chimiquement inerte, ce qui signifie qu'il résiste à de nombreux agents chimiques tels que les acides dilués, les bases, les sels et les solvants organiques. Le PDMS est également résistant aux rayons UV et à l'ozone. Il est hydrophobe, ce qui signifie qu'il repousse l'eau, et il peut être fonctionnalisé avec des groupes vinyle ou hydroxyle pour permettre sa réticulation [52]

III.5.3. Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques du PDMS dépendent de sa formulation. Il possède une dureté Shore A variant de 10 à 70. Son allongement à la rupture est très élevé, allant de 100 % à 700 %, ce qui lui confère une grande flexibilité. Sa résistance à la traction varie entre 1 et 10 MPa, tandis que son module d'élasticité est compris entre 0.1 et 3 MPa. Le PDMS a une bonne résilience et montre une bonne résistance au fluage, bien que celle-ci puisse diminuer à haute température ou sur de longues périodes [53]

III.5.4. Propriétés électriques

Le PDMS est un excellent isolant électrique. Sa constante diélectrique se situe entre 2.7 et 3.0. Sa résistivité volumique est très élevée, supérieure à 10¹⁴ Ω·cm, et sa résistance de claquage se situe entre 20 et 30 kV/mm. Le facteur de dissipation est très faible, environ 0.002 à une fréquence de 1 kHz, ce qui le rend particulièrement adapté aux applications d'isolation électrique [53]

III.5.5. Propriétés thermiques

Le PDMS présente une excellente stabilité thermique. Il conserve ses propriétés physiques et mécaniques dans une large plage de températures, généralement de -50 °C à +200 °C, et certaines formulations spéciales peuvent supporter jusqu'à +250 °C. Le PDMS possède une faible conductivité thermique, typiquement autour de 0.15 à 0.2 W/m·K, ce qui en fait un bon isolant thermique. Il a également une faible capacité thermique spécifique et une faible diffusivité thermique. De plus, le PDMS ne se décompose qu'à des températures relativement élevées (au-delà de 300 °C), ce qui lui confère une bonne résistance à la dégradation thermique [52].

III.6. Composition chimique du PDMS (Polydiméthylsiloxane)

Le polydiméthylsiloxane (PDMS) est un polymère organo-silicié appartenant à la famille des silicones. Il est constitué d'une chaîne principale formée d'atomes de silicium (Si) et d'oxygène (O) alternés, de structure répétitive $-\text{[Si (CH}_3)_2\text{-O]}_n-$, où n représente le degré de polymérisation. Chaque atome de silicium est lié à deux groupes méthyles ($-\text{CH}_3$), ce qui confère au PDMS une grande souplesse moléculaire ainsi qu'une très faible polarité.

Cette architecture chimique hybride, mélangeant un squelette inorganique (Si-O-Si) et des groupements organiques (CH_3), est à l'origine de ses propriétés remarquables telles que :

- Une excellente résistance thermique ;
- Une bonne stabilité chimique ;
- Une faible tension superficielle ;
- Une forte élasticité [58].

III.6.1. Formule chimique répétitive :

La formule chimique du PDMS est la suivante :

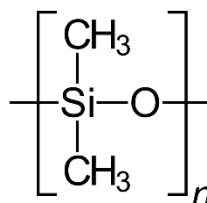
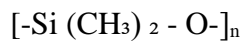


Figure III- 7:Formule chimique [58]

III.6.2. Structure moléculaire

Le PDMS est constitué d'une chaîne principale composée d'atomes de silicium (Si) et d'oxygène (O) alternés, avec deux groupes méthyle ($-CH_3$) attachés à chaque atome de silicium. Sa structure peut être représentée ainsi : figure III- 8.

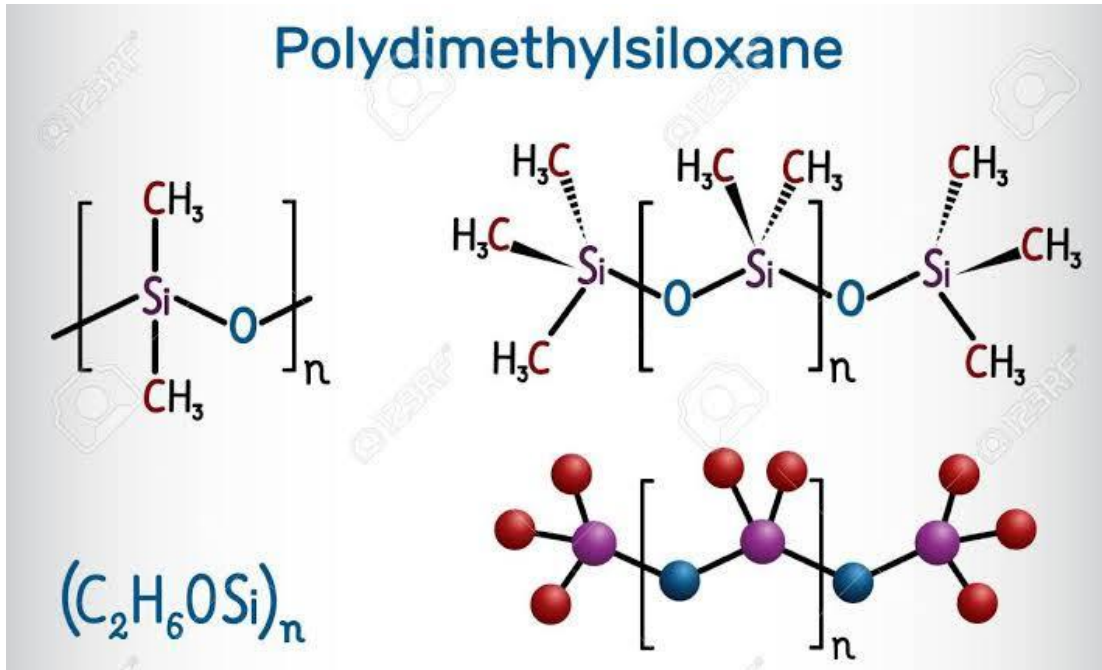


Figure III-8 : Structure moléculaire du (PDMS) [58]

III.6.3. Composants principaux

Tableau III- 2 : Composants principaux du PDMS [58].

Élément	Rôle
Si	Base de la chaîne principale
O	Lien entre les atomes de silicium
CH ₃	Groupes latéraux hydrophobes

III.7. Matériau utilisé : Mastic Silicone 100% RTV

III.7.1. Présentation du produit

La silicone mastic de marque LION, spécifié comme étant 100% RTV (Room Temperature Vulcanizing), est le matériau de base employé pour la fabrication des éprouvettes. Il est conditionné dans une cartouche de 280 ml, destiné à un usage d'étanchéité générale, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur. Cette silicone est mono-composante et se

solidifie en présence d'humidité et la température ambiante, sans nécessiter de traitement thermique.



Figure III-9 : Mastic du marque LION

III.7.2. Composition typique

Nous avons contacté la société distributrice de mastic silicone LION pour obtenir des informations détaillées concernant la composition chimique du produit employé. Toutefois, en raison de considérations concernant la propriété industrielle, l'entreprise a décliné de révéler la composition précise. Toutefois, nous avons fourni une fiche technique détaillant générique les composants standards des mastics 100% RTV.

Sur la base de cette fiche ainsi que des données bibliographiques [55-57], la formulation probable de ce type de mastic peut être décrite comme suit :

- Polymère de base : Polydiméthylsiloxane (PDMS), assurant l'élasticité et la flexibilité du matériau.
- Charges minérales : Silice fumée, utilisée pour renforcer mécaniquement le réseau Polymère [56].
- Agent de réticulation : Silane fonctionnel tel que le méthyltriacétoxysilane (formulation acétique) ou un silane de type oxime (formulation neutre).
- Catalyseur : Composé organométallique à base d'étain, accélérant la polymérisation.
- Additifs : Pigments, agents d'adhésion, stabilisants UV [55].

La polymérisation s'effectue à température ambiante par exposition à l'humidité de l'air, avec dégagement de sous-produits (acide acétique ou oximes, selon la formulation) [57].

III.7.3. Fiche technique simplifiée :

Tableau III- 3: Fiche technique [54-55-56]

Propriété	Détail
Nom commercial	LION Silicone Sealant 100% RTV
Type	Mastic silicone mono-composant
Polymère de base	Polydiméthylsiloxane (PDMS)
Agent de réticulation	Silane fonctionnel (acétique ou oxime)
Catalyseur	Organométallique (étain)
Charges	Silice fumée
Additifs	Pigments, stabilisants UV, agents d'adhésion
Mécanisme de durcissement	Réaction avec l'humidité de l'air (RTV)
Volume cartouche	280 MI
Applications	Étanchéité, collage, usage intérieur et extérieur

III.7.4. Avantages et inconvénients

Avantages

- Très bonne résistance à l'humidité et aux variations des températures
- Excellente stabilité chimique et très bonne résistance aux UV.
- Réticulation simple sans chauffage ni équipements spécifiques.

Inconvénients

- Faible résistance mécanique à la traction.
- Libération de sous-produits acides ou oximiques.
- Temps de séchage relativement long.

III.7.5. Justification du choix du matériau :

La sélection du mastic silicone 100% RTV est basée sur ses caractéristiques physico-chimiques qui répondent aux critères demandés du projet. Sa propension à se durcir à température ambiante, associée à une excellente stabilité mécanique, chimique et thermique, en fait un matériau de choix pour l'examen des impacts de dégradation et de fluage dans diverses conditions chimiques.

En outre, grâce à sa mise en place aisée (extrusion directe avec un pistolet), son accessibilité sur le marché et son prix abordable, la fabrication des éprouvettes dans des moules en verre artisanaux a été facilitée.

III.8. Conclusion

Ce chapitre a permis de mettre en lumière le polydiméthylsiloxane (PDMS) en tant que matériau central de cette étude. Après une introduction générale et une définition précise du silicone, nous avons distingué les différents types existants ainsi que leurs principales applications.

L'analyse des propriétés du PDMS 100 % RTV a montré qu'il se caractérise par une grande stabilité chimique, une bonne flexibilité, une résistance thermique remarquable et une inertie biologique, ce qui en fait un matériau particulièrement adapté à des usages variés allant du domaine médical à l'industrie. Par ailleurs, l'étude de sa composition a permis de mieux cerner la structure moléculaire et les constituants responsables de ses performances.

Ces éléments offrent ainsi une base théorique essentielle pour la suite du travail, notamment l'investigation expérimentale portant sur son comportement mécanique et physico-chimique sous différentes conditions.

- **Chapitre IV : Matériaux d'étude
et procédures expérimentales**

IV.1. Introduction

Ce chapitre présente le matériau étudié ainsi que le protocole suivi pour la préparation des échantillons destinés aux différentes techniques de caractérisation et définit également les différents milieux d'étude. Il propose aussi un état de l'art des méthodes d'analyses utilisées pour évaluer l'impact de divers milieux chimiques sur les propriétés physico-chimiques et mécaniques du PDMS.

Plusieurs techniques ont été mises en œuvre, notamment des essais de fluage et de traction pour évaluer le comportement mécanique du matériau dans les différents milieux, des observations microscopiques pour détecter les changements de l'état de surface, des analyses FTIR pour comparer les échantillons en immersion et l'échantillon témoin, et détecter les éventuels changements ou dégradations de la matrice ou des groupements fonctionnels, ainsi que des mesures de variation gravimétrique permettant d'évaluer les variations de masse des échantillons avant et après immersion.

IV.2. Préparation des échantillons

IV.2.1. Matériaux et produits utilisés

Le matériau principal utilisé pour la réalisation des éprouvettes est le mastic silicone à base de polydiméthylsiloxane (PDMS), présenté sous forme de cartouche du marque LION, de type 100% RTV (Room Température Vulcanizing), qui veut dire, durcissement à température ambiante pour former un joint élastique et durable. Il est utilisé pour des applications d'étanchéité autour des appareils sanitaires, dans les salles de bains et les cuisines.

Le choix de ce matériau repose sur son utilisation massive dans des applications ménagères, sa disponibilité, sa facilité d'application (extrudé à l'aide d'un pistolet manuel standard), et ses propriétés viscoélastiques bien connues.

IV.2.2. Composition chimique

Composition typique d'une silicone 100% RTV (marque Lion)

Polymère de base PDMS

Principal constituant : chaînes linéaires de polydiméthylsiloxane — structure $(-\text{Si}(\text{CH}_3)_2-\text{O}-)_n$

Chapitre VI : Matériaux d'étude et procédures expérimentales

IV.3. Etapes suivi pour la réalisation des échantillons

IV.3.1. Réalisation du moule

Un moule en verre a été réalisé pour le moulage des éprouvettes. Ce moule offre une surface parfaitement lisse et non réactive, facilitant le démoulage et assurant une bonne qualité de surface.

IV.3.2. Les outils et matériaux utilisés pour la fabrication des moules en verre sont :

- Plaques de verre, pour la constitution du socle de la matrice ;
- Pistolet à colle chaude et ruban adhésif pour le maintien des plaques ;
- Règle métallique pour mesurer avec précision ;
- Niveau à bulle pour assurer l'horizontalité.



Figure IV- 1: Matériaux utilisés

IV.3.3. Moulage et découpage des échantillons

Les matériaux utilisés pour préparer les échantillons :

- Un moule en verre ;
- Pistolet manuel pour cartouche de mastic ;
- Mastic silicone à base de polydiméthylsiloxane (PDMS), présenté sous forme de cartouche du marque Lion ;

Chapitre VI : Matériaux d'étude et procédures expérimentales

- Spatule : pour lisser la surface du (PDMS) ;
- Balance électronique de précision ;
- Scalpel : pour découper précisément les échantillons après polymérisation.

IV.3.4. Procédé de fabrication des éprouvettes en PDMS

Deux plaques de même longueur et d'une largeur de 12mm et 06mm figure (IV-2) ont été réalisées par extrusion directe du mastic silicone sur le moule en verre soigneusement nettoyer, une fois la silicone extrudée, il a été lissé à l'aide d'une spatule afin d'éliminer les bulles d'air et d'uniformiser la surface.

Après formation des films de silicone, les échantillons sont laissés à l'air libre, dans une salle à température ambiante (20 à 25 °C) et sous une humidité relative comprise entre 40 % et 60 %. Aucun apport thermique ou humidité supplémentaire n'a été effectué afin de reproduire les conditions normales d'usage du mastic. Ou la polymérisation complète a nécessité environ 48 heures.

Après polymérisation, les éprouvettes sont soigneusement décollées du moule en verre et stockées dans une boîte en plastiques hermétiques jusqu'à leur utilisation.

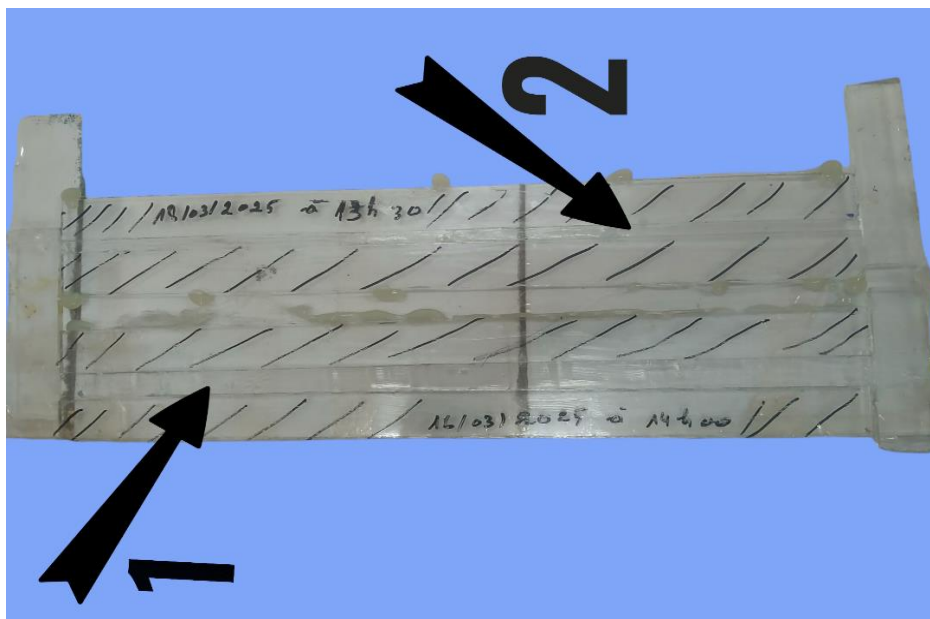


Figure IV- 2: Plaques de silicone (1) largeur (12 mm) et (2) largeur (6 mm)

IV.3.5. Conditions de polymérisation et de stockage

Trois types d'éprouvettes ont été fabriqué pour chaque techniques d'analyses selon les dimensions suivantes :

Chapitre VI : Matériaux d'étude et procédures expérimentales

- 85 mm x 12 mm x 4 mm : pour les essais de traction ;
- 75 mm x 6 mm x 4 mm : pour les essais de fluage ;
- 15 mm x 12 mm x 4 mm : pour les analyses FTIR, et observation microscopique.

IV.3.6. Les différents milieux utilisés dans notre étude

- Eau du robinet ;
- Solution à 3 % en masse de chlorure de sodium (NaCl) ;
- Solution à 3 % en masse d'eau de Javel ;
- Air ambiant (Pour l'échantillon témoin).

Chaque échantillon est placé dans un bécher contenant 200 mL du milieu d'immersion correspondant, et maintenu à température ambiante pendant toute la durée de l'immersion.

La durée d'immersion varie de 20 à 40 jours, avec des relevés effectués à intervalles réguliers.



Figure IV- 3:Différents milieux d'études

IV.3.7. Nomenclature des échantillons

Afin de simplifier l'identification des éprouvettes, une codification est mise en place :

Chapitre VI : Matériaux d'étude et procédures expérimentales

Tableau IV-1: nomenclature des échantillons

Nom de l'échantillon	Milieu d'exposition
0	échantillon témoin (air libre)
1	échantillon immergé dans une solution de NaCl « sel du table » (3 %)
2	échantillon immergé dans une solution d'eau de Javel (3 %)
3	échantillon immergé dans l'eau du robinet

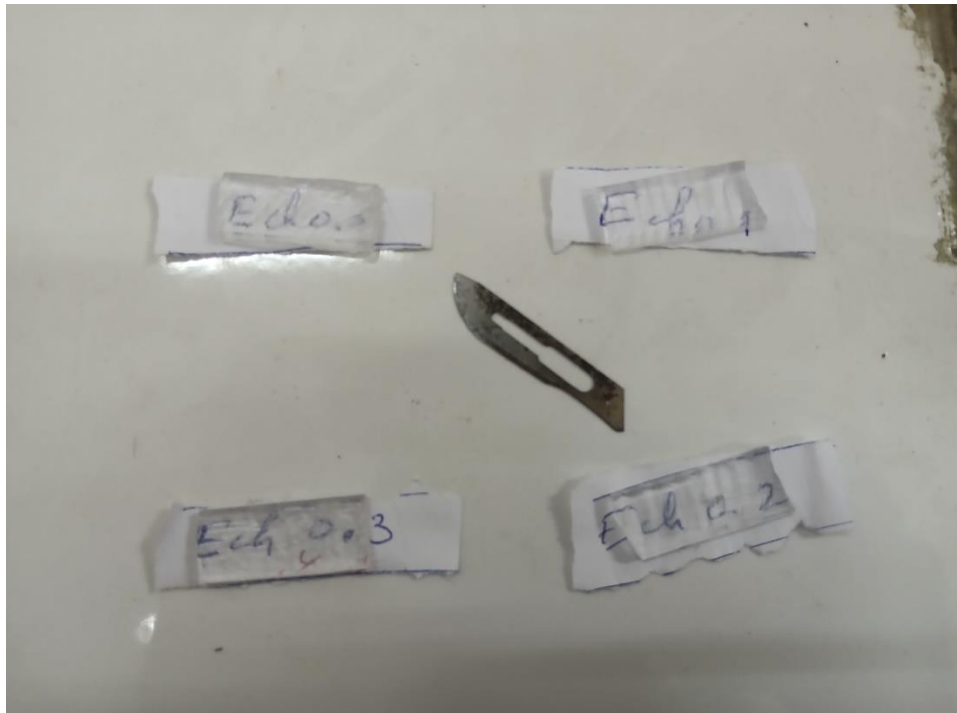


Figure (IV-1) : Les échantillons pour FTIR

IV.4. Essai du fluage

IV.4.1. Objectif de l'essai

L'objectif de cet essai est d'étudier le comportement en fluage de polymères de type PDMS (polydiméthylsiloxane) lorsqu'ils sont soumis à une contrainte constante dans différents milieux chimiques. L'essai permet de quantifier la déformation dans le temps sous l'effet d'une charge mécanique et d'évaluer l'influence de l'environnement sur la stabilité mécanique du matériau.

IV.4.2. Principe de l'essai de fluage

Le fluage est un phénomène de déformation lente et progressive d'un matériau sous une charge constante. Lorsqu'un polymère comme le PDMS est soumis à une contrainte

Chapitre VI : Matériaux d'étude et procédures expérimentales

mécanique prolongée, il peut s'allonger avec le temps même si la charge appliquée reste constante. Cet essai consiste à appliquer une force constante sur des éprouvettes de PDMS à l'aide de masses suspendues, et à mesurer l'évolution de leur allongement en fonction du temps.

IV.4.3. Outils utilisés pour le montage expérimental

La mise en place du dispositif d'essai de fluage a nécessité plusieurs outils :

- Scie à main : pour découper les supports en bois.
- Niveau à bulle : pour l'alignement horizontal ;
- Marteau et clous : pour fixer les structures ;
- Marqueur et règle : pour traçage et repérage ;
- Fil de cuivre et ruban adhésif : pour suspendre les éprouvettes ;
- Papier millimétré : pour le suivi de l'allongement.

IV.4.4. Présentation des éprouvettes

Les quatre éprouvettes de PDMS ont été préparées avec des dimensions initiales identiques, immergées durant 20 jours, puis marquées afin de permettre l'identification des allongements

Tableau IV- 2:Les éprouvettes immergées durant 20 jours

Nom de l'échantillon	Milieu d'exposition
0	témoin non immergé, 20 jours.
1	immergée dans une solution à 3 % de sel de table, 20 jours.
2	immergée dans une solution d'eau de Javel à 3 %,20 jours.
3	immergée dans l'eau robinet, 20 jours.



Figure IV- 4: Les quatre éprouvettes utilisées

IV.4.5. Dispositif de fluage et montage expérimental

Avant l'application des charges, un support en bois a été réalisé pour suspendre les éprouvettes en position verticale. Chaque éprouvette est munie d'un crochet en cuivre fixé avec serrage, et un fond millimétré en arrière plant pour le suivie des mesures de l'allongement. Des masses de 160 g (15 rondelles de 10 g plus le porte-masses) sont suspendues à chaque extrémité pour exercer une contrainte constante.



Figure IV- 5:Essai de fluage (a)dispositif l'essai (b) montage expérimentale Application de la charge constante.

Chapitre VI : Matériaux d'étude et procédures expérimentales

Chaque échantillon est soumis à une masse de 160 g composée de 15 pièces de 10 g et d'un support métallique pesant 10 g. La force appliquée est :

$$F = m \times g = 0,160 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 1,57 \text{ N}$$

Cette force génère une contrainte verticale constante sur la section de l'éprouvette.

IV.4.6. Méthodologie de suivi

Le suivi de l'allongement est effectué à l'aide de photos prises régulièrement devant un fond millimétré :

- 1 photo par jour pendant les 5 premiers jours,
- Puis 1 photo tous les 2 à 3 jours jusqu'à la fin de l'essai (10 jours environ).

L'allongement est mesuré en comparant la position de repères à l'aide d'une règle.

IV.4.7. Calculs des déformations

La déformation unitaire $\varepsilon(t)$ est calculée par :

$$\varepsilon(t) = \Delta L(t) / L_0$$

où $\Delta L(t)$ est l'allongement mesuré à l'instant t et L_0 est la longueur initiale.

IV.5. Observation Microscopique

IV.5.1. Objectif de l'analyse

L'objectif de cette analyse est d'observer à l'échelle microscopique les éventuelles altérations de surface du PDMS après exposition aux différents milieux d'études (l'air libre, eau de Robinet, eau salée et l'eau de Javel).

IV.5.2. Principe

Le microscope optique permet d'examiner la surface des matériaux à des grossissements modérés (jusqu'à 1000×), afin d'identifier des microfissures, des irrégularités de surface, des pores ou des changements d'aspect pouvant indiquer une dégradation ou une modification microstructurale du réseau polymère.

IV.5.3. Appareil et réglages utilisés

Matériel utilisé

- Microscope optique à lumière transmise (de marque Hund Wetzlar)
- Objectifs de grossissement : ×40, ×100, ×200 et 400
- Ordinateur avec logiciel de capture d'image de marque Piced CORA

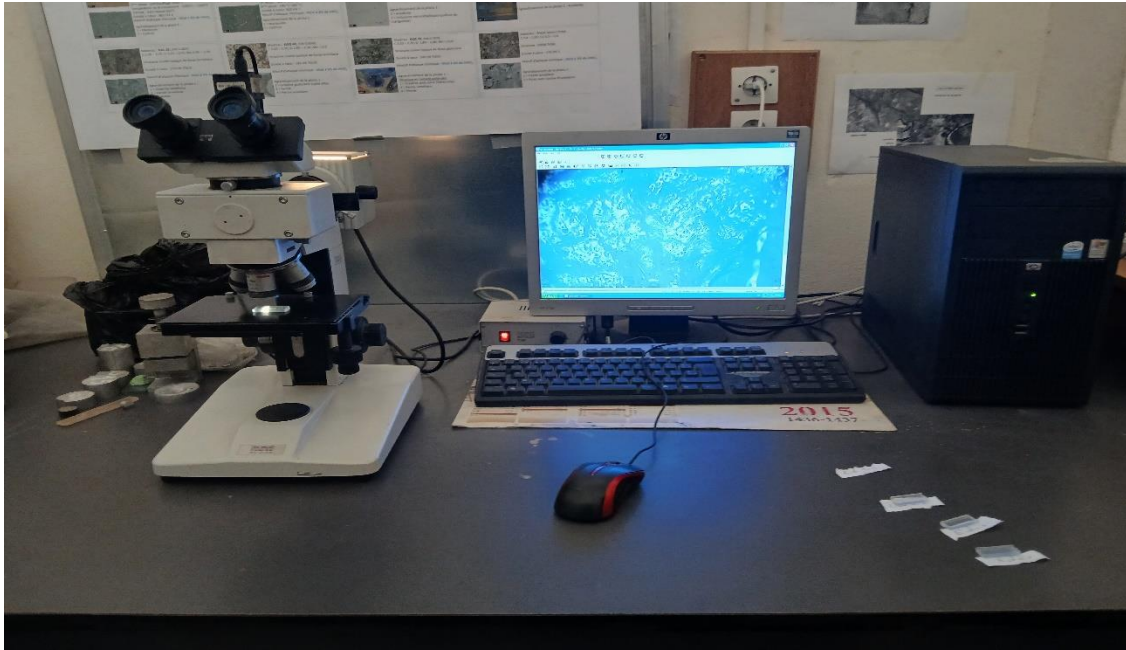


Figure IV- 6: Microscope Optique (labo SDM UMMTO)

IV.5.4. Procédure expérimentale

- Chaque échantillon a été nettoyé et séché avant l'observation ;
- L'échantillon est placé sous le microscope directement ;
- L'observation est réalisée à différents grossissements ($\times 40$ à $\times 400$), en focalisant sur la surface centrale de chaque échantillon ;
- Des clichés ont été pris pour chaque échantillon à différents points d'intérêt.

IV.6. Analyse Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR)

IV.6.1. Objectif de l'analyse

L'analyse FTIR a pour objectif d'identifier les groupes fonctionnels présents dans le PDMS et de détecter les modifications éventuelles dues à l'exposition aux différents milieux (air libre, eau, eau salée et l'eau de Javel). Elle permet d'évaluer qualitativement d'éventuelles dégradations ou réactions chimiques.

IV.6.2. Principe et fonctionnement de la FTIR

La spectroscopie FTIR repose sur l'absorption du rayonnement infrarouge par les liaisons chimiques des molécules du polymère. Chaque liaison chimique absorbe à une fréquence spécifique, ce qui permet d'identifier les fonctions présentes dans le matériau.

Chapitre VI : Matériaux d'étude et procédures expérimentales

IV.6.3. Matériel utilisé

L'analyse a été réalisée à l'aide d'un spectromètre FTIR de type :

- Spectromètre FTIR Shimadzu IRAffinity-1S ;
- Accessoire ATR Quest de Specac ;
- Ordinateur avec logiciel (Spectrum) ;



Figure IV- 7: Spectromètre FTIR de laboratoire de chimie (UMMTO)

IV.6.4. Procédure expérimentale

Les échantillons de PDMS utilisés pour cette analyse sont de forme rectangulaire (15 mm × 12 mm × 4 mm). Ils comprennent :

Un échantillon témoin (non traité), Trois échantillons ayant subi une immersion de 15, 20 et 40 jours respectivement dans de l'eau, une solution saline de (3 % NaCl) et une solution d'eau de Javel (3 %).

Avant l'analyse, chaque échantillon a été soigneusement essuyé et laissé à température ambiante afin d'éliminer toute humidité de surface.

IV.6.5. Placement de l'échantillon dans le porte-échantillon

L'analyse a été effectuée en mode ATR. L'échantillon est placé directement sur le cristal ATR, en diamant. Une pression mécanique est ensuite exercée à l'aide d'un bras de

Chapitre VI : Matériaux d'étude et procédures expérimentales

serrage ou d'une vis intégrée, afin d'assurer un bon contact entre la surface de l'échantillon et le cristal ATR.

Le contact est essentiel pour permettre la pénétration des ondes infrarouge dans la surface du matériau analysé.

L'échantillon doit être bien positionné, sans glissement ni inclinaison, et le serrage doit être ferme mais sans excès, afin d'éviter toute déformation du matériau ou endommagement du cristal ATR.



Figure IV- 8: L'échantillon dans Accessoire ATR

IV.6.6. Paramètres de mesure

Les mesures FTIR ont été réalisées dans les conditions suivantes :

Chapitre VI : Matériaux d'étude et procédures expérimentales

Tableau IV- 3: Paramètres de mesure.

Paramètre	Valeur
Plage spectrale	4000 à 500 cm^{-1} ,
Résolution spectrale	4 cm^{-1} ,
Nombre de scans	32
Mode	En absorbance

IV.7. Essai de traction

Les essais de traction ont été réalisés au Centre National des Technologies et du Consulting (CNTC), situé à Boumerdès. Ce centre est spécialisé dans les services aux entreprises, notamment dans les domaines de la métrologie, des analyses chimiques, des essais physico-mécaniques sur des matériaux tels que les plastiques, les textiles et les cuirs, ainsi que dans le contrôle de la qualité et les études environnementales.

IV.7.1. Objectif de l'essai

L'objectif de cet essai est d'évaluer le comportement mécanique du PDMS (Polydiméthylsiloxane) sous une sollicitation en traction. Ainsi qu'afin d'évaluer l'effet de différents environnements aqueux sur le comportement mécanique du PDMS sous traction. Cette caractérisation permet aussi, de déterminer des grandeurs mécaniques importantes comme la contrainte maximale, l'allongement à la rupture et le module d'élasticité (module de Young).

IV.7.2. Norme de référence

L'essai a été réalisé selon la norme ASTM D412, qui est couramment utilisée pour la caractérisation mécanique des élastomères et élastomères thermoplastiques. La géométrie des éprouvettes utilisées est légèrement différente du type C de cette norme mais reste globalement conforme à ses exigences.

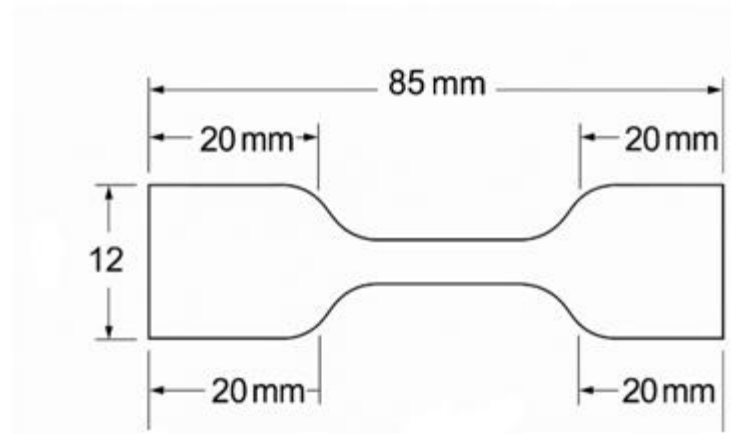


Figure IV- 9:Schéma de l'éprouvette de traction en PDMS.

IV.7.3. Échantillons d'essai

Les éprouvettes ont été fabriquées à base de PDMS, selon un moule en verre assurant la forme suivante : longueur totale de 85 mm, largeur de 12 mm, zone de mesure réduite à 6 mm de largeur et 4 mm d'épaisseur. Après démoulage, les 4 éprouvettes ont été découpées à l'aide d'un scalpel et d'un gabarit en aluminium afin d'assurer une géométrie précise et reproductible.

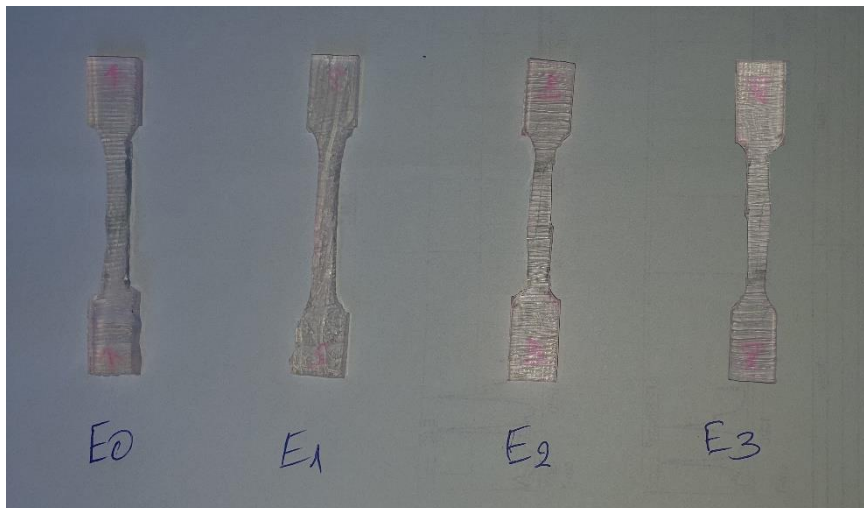


Figure IV- 10: Éprouvettes en PDMS pour l'essai de traction.

Chapitre VI : Matériaux d'étude et procédures expérimentales

IV.7.4. Appareil d'essai

Les essais de traction ont été effectués ; en utilisant une machine de traction de marque LOYD Instruments, modèle LR5K Plus, d'une capacité maximale de 5 kN. Cette machine est équipée d'un système de contrôle numérique et d'un logiciel permettant l'enregistrement automatique des courbes effort-déformation



Figure IV- 11: Machine de traction LOYD LR5K Plus utilisée au CNTC de Boumerdès.

IV.7.5. Procédure d'essai

Chaque éprouvette a été placée entre les mors de la machine de traction. La vitesse de déplacement de la traverse a été réglée à 500 mm/min, conformément aux recommandations de la norme ASTM D412. L'effort appliqué et l'allongement ont été enregistrés en temps réel, permettant de tracer les courbes contrainte-déformation. Les essais ont été menés jusqu'à la rupture des éprouvettes. Les essais ont été réalisés à température ambiante, soit environ 23 °C.

IV.8. Variation gravimétrique

L'étude de la variation gravimétrique permet de quantifier les effets des milieux de vieillissement sur la stabilité dimensionnelle et chimique des échantillons de PDMS. Ce suivi simple mais informatif vise à mettre en évidence des phénomènes tels que l'absorption de

Chapitre VI : Matériaux d'étude et procédures expérimentales

liquide, le gonflement, la lixiviation de constituants ou encore la dégradation partielle du polymère.

IV.8.1. Protocole expérimental

Avant immersion, chaque éprouvette a été pesée à l'aide d'une balance analytique de précision (résolution : $\pm 0,001$ g), afin de déterminer la masse initiale m_0 . Après 20 jours d'immersion dans les différents milieux (eau distillée, solution de Na Cl à 3 %, solution d'eau de Javel à 3 % et un échantillon à l'air libre), les échantillons ont été extraits, essuyés délicatement avec du papier absorbant non pelucheux, puis laissés à l'air libre pendant 10 minutes à température ambiante afin d'éliminer toute humidité superficielle., une première série de pesées a été réalisée. Une seconde série a été effectuée après 40 jours d'immersion, afin d'observer l'évolution de la dégradation dans le temps.

Une seconde pesée a été effectuée pour déterminer la masse finale m_t . À partir de ces mesures, la perte de masse relative a été calculée selon la formule suivante :

$$\text{La perte de masse (\%)} = ((m_0 - m_t) / m_0) \times 100$$

Un échantillon de référence a été conservé à l'air libre, dans les mêmes conditions de température ambiante que les autres éprouvettes, mais sans contact avec un liquide. Cet échantillon permet d'évaluer l'influence de l'oxygène, de la lumière ou de l'humidité atmosphérique sur la masse du PDMS, indépendamment de toute immersion.



Figure IV- 12: Pesée d'un échantillon de PDMS après immersion

IV.9. Conclusion

L'ensemble des techniques expérimentales mises en œuvre dans ce travail (essais de traction, fluage, spectroscopie FTIR, variation gravimétrique de la masse et observation microscopique) a permis d'étudier le comportement du PDMS dans différents environnements.

Chaque méthode a contribué à mettre en évidence des aspects complémentaires de l'altération du matériau, qu'ils soient d'ordre mécanique, chimique ou morphologique.

La préparation des éprouvettes, le choix pertinent des milieux d'immersion (eau, sel, eau de Javel), ainsi que l'inclusion d'un échantillon témoin à l'air libre, ont assuré des conditions d'analyse rigoureuses et représentatives.

Ces données expérimentales fiables constituent une base essentielle pour l'interprétation des résultats dans le chapitre suivant, en vue de comprendre les mécanismes de dégradation du PDMS et de comparer l'impact des différents milieux sur sa stabilité



**CHAPITRE V : RESULTATSET
DISCUSSIONS**

V.1. Introduction

Ce chapitre présente les résultats expérimentaux obtenus à partir des différentes analyses réalisées sur les échantillons de PDMS exposés à divers milieux (eau, sel, eau de Javel, air libre). Les essais incluent le fluage, la traction, la spectroscopie FTIR, la variation gravimétrique de la masse et l'analyse microscopique. L'objectif est de comparer les comportements et d'identifier les effets de chaque milieu sur les propriétés du PDMS.

V.2. Résultat d'Analyse en fluage

V.2.1. Présentation des résultats

Le tableau ci-dessous montre les déformations mesurées pour chaque échantillon au cours du temps.

Tableau (V- 1) : Les déformations pour chaque échantillon

Temps (jours)	Echantillon 0 (Air libre)	Échantillon 1 (Sel de table)	Échantillon 2 (Eau de Javel)	Échantillon 3 (Eau de robinet)
0	0.8718	1.085	1.022	0.781
1	0.8718	1.142	1.045	0.937
2	0.8718	1.200	1.136	1
3	0.9487	1.257	1.159	1
4	1	1.314	1.118	1.031
5	1	1.428	1.204	1.093
6	1.051	1.571	1.363	1.187
7	1.051	1.800	1.409	1.187
8	1.051	1.828	1.454	1.218
9	1.051	1.828	1.454	1.218

V.2.2. Échantillon 0 – Témoin (à l'air libre)

La courbe ci-dessous illustre l'évolution de la déformation en fonction du temps pour l'échantillon 0, conservé à l'air libre sans aucun traitement. Elle sert de référence pour évaluer l'influence des milieux chimiques sur le comportement au fluage du PDMS.

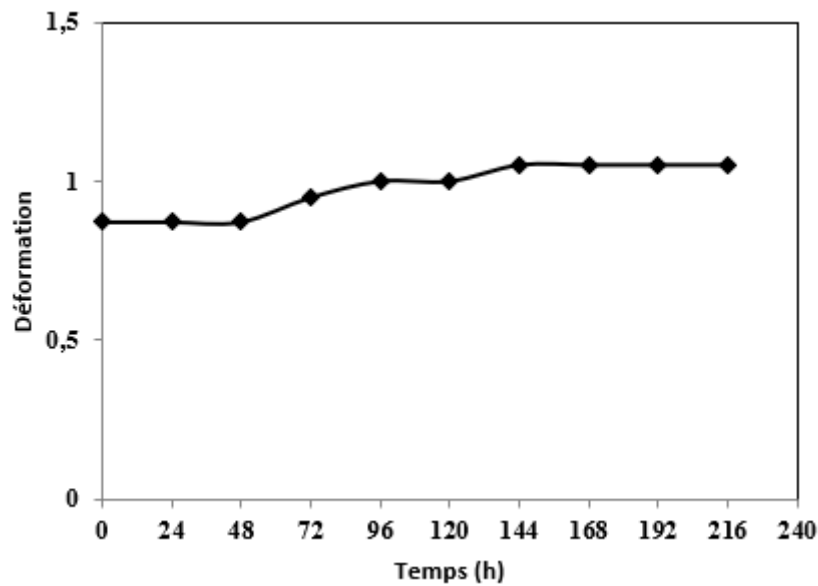


Figure (V- 1) : Echantillon (0) à l'air libre

Le comportement de l'échantillon 0, conservé à l'air libre, montre une faible variation de déformation au cours du temps. Les valeurs enregistrées restent proches, avec une légère augmentation entre 96 h et 144 h, pour ensuite se stabiliser. Cela indique que l'échantillon témoin n'a pas subi d'altération significative de ses propriétés mécaniques. Ce comportement est attendu, car l'environnement à l'air libre n'a pas introduit de facteurs de dégradation chimique ou physique majeurs.

V.2.3. Échantillon 1 – Solution de sel (3%)

La courbe suivante montre le comportement au fluage de l'échantillon1, immergé dans une solution de sel à 3 %. Cette courbe permet d'évaluer l'effet d'un milieu ionique (chlorure de sodium) sur la stabilité dimensionnelle du PDMS au fil du temps.

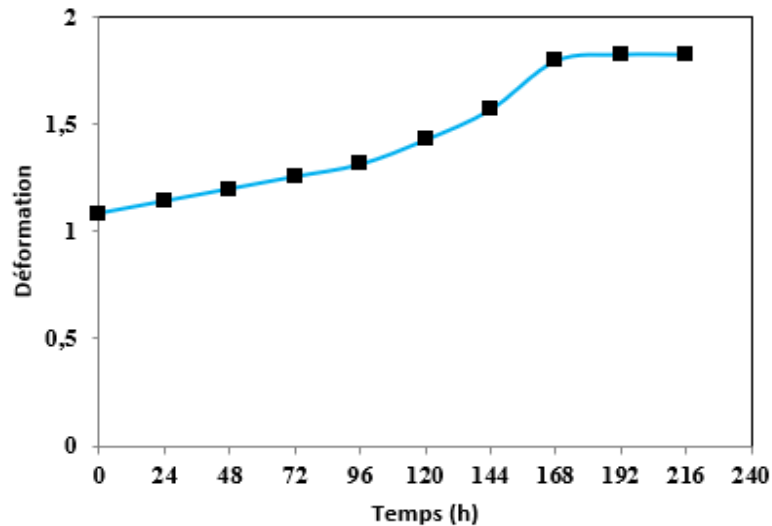


Figure (V- 2) : Echantillon (1) Solution de sel (3%)

L'échantillon immergé dans la solution saline (1) montre la déformation la plus importante parmi tous les échantillons testés. Ce comportement peut être attribué à la capacité du sel à altérer la structure polymère du PDMS en favorisant un affaiblissement des liaisons intermoléculaires. La présence d'ions Na^+ et Cl^- peut accélérer la pénétration d'eau dans la matrice, provoquant un gonflement plus important et une augmentation de la déformation sous contrainte.

V.2.4. Échantillon 2 – Eau de Javel (3%)

L'évolution du fluage pour l'échantillon 2, exposé à une solution de Javel à 3 %, est représentée ci-dessous. Ce milieu oxydant est particulièrement agressif pour les polymères, et permet d'observer les dégradations mécaniques associées.

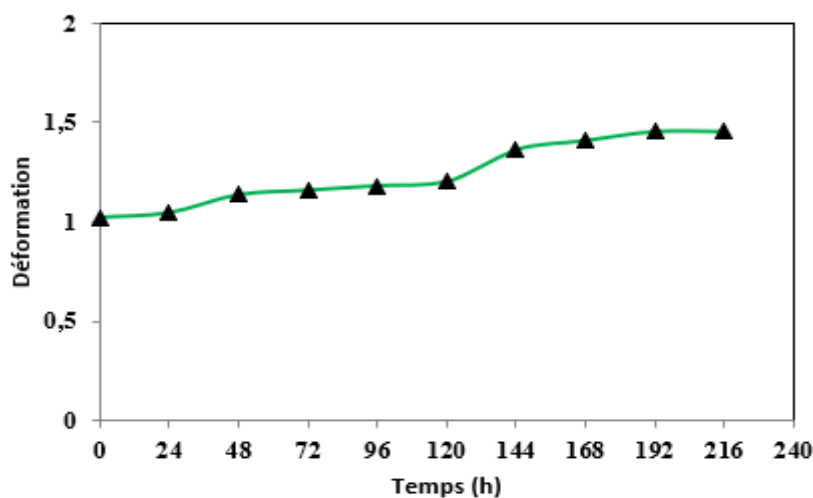


Figure (V- 3) : Echantillon (2) Eau de Javel (3%)

L'échantillon (2) exposé à l'eau de Javel présente une déformation significative mais inférieure à celle observée avec la solution saline. L'hypochlorite de sodium (NaClO) contenu dans l'eau de Javel agit comme un oxydant qui peut modifier chimiquement les chaînes de PDMS. Cette dégradation chimique affecte la résistance mécanique, ce qui explique la déformation accrue par rapport à l'échantillon témoin.

V.2.5. Échantillon 3 – Eau de robinet

Le graphique ci-après présente la déformation du PDMS exposé à l'eau de robinet (3). Ce milieu neutre permet de comparer les effets d'une immersion sans agent chimique actif sur le fluage.

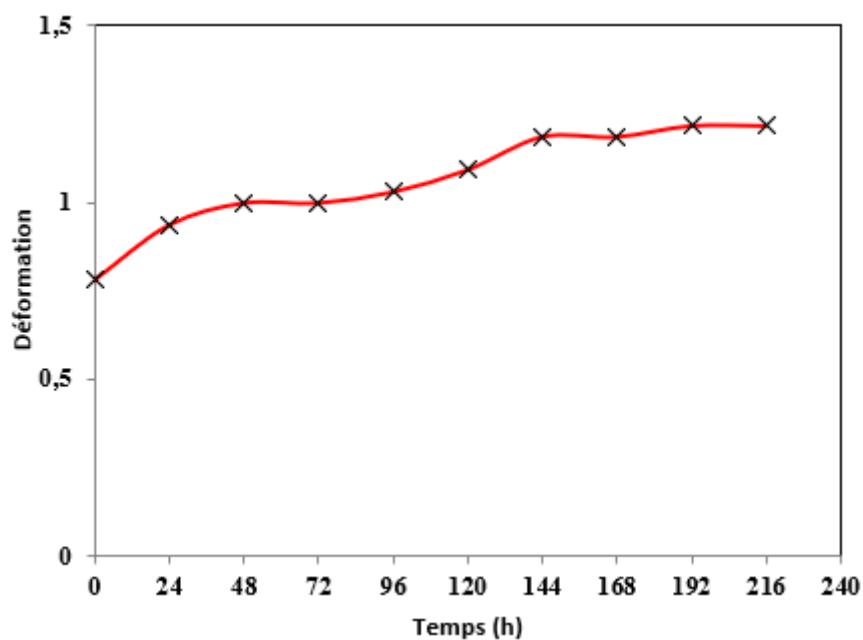


Figure (V- 4) : Échantillon 3 – Eau de robinet

L'échantillon immergé dans l'eau du robinet montre une déformation modérée. L'effet de l'eau pure sur le PDMS est principalement physique (gonflement), sans réaction chimique significative. La légère présence de minéraux dans l'eau du robinet peut cependant influencer le taux de diffusion de l'eau dans la matrice polymère.

V.2.6. Comparaison des courbes de fluage des 4 échantillons

Le graphique suivant regroupe les courbes de déformation des quatre échantillons, permettant une comparaison directe de leur comportement dans les différents milieux. Cette vue d'ensemble est essentielle pour tirer des conclusions globales sur l'effet des milieux chimiques sur le fluage du PDMS.

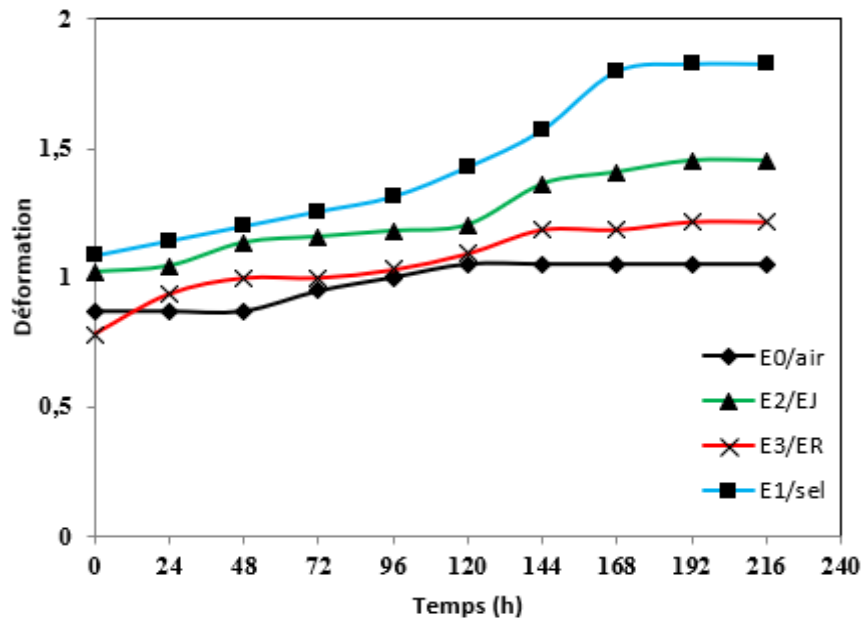


Figure (V- 5) : Comparaison des courbes de fluage des 4 échantillons

L'analyse comparative des résultats montre que le milieu de conservation influence fortement le comportement en fluage du PDMS. L'échantillon 1 soumis à l'eau salée présente la plus forte déformation, traduisant une dégradation accélérée. Vient ensuite l'échantillon 2 dans l'eau de javel, avec une déformation modérée. L'échantillon 3 dans l'eau du robinet montre un comportement plus stable, tandis que l'échantillon témoin 0 reste pratiquement inchangé. Ces observations confirment l'effet néfaste des agents chimiques agressifs sur les propriétés mécaniques du PDMS dans le temps.

V.3. Résultat d'essai de traction

V.3.1. Présentation des résultats

V.3.1.1. Échantillon 0 présent à l'Air libre

La courbe ci-dessous présente le comportement en traction de l'échantillon 0, conservé à l'air libre. Cette courbe représente l'état de référence du PDMS, sans altération chimique. Elle permet de comparer les effets de l'air libre sur les propriétés mécaniques de la silicone.

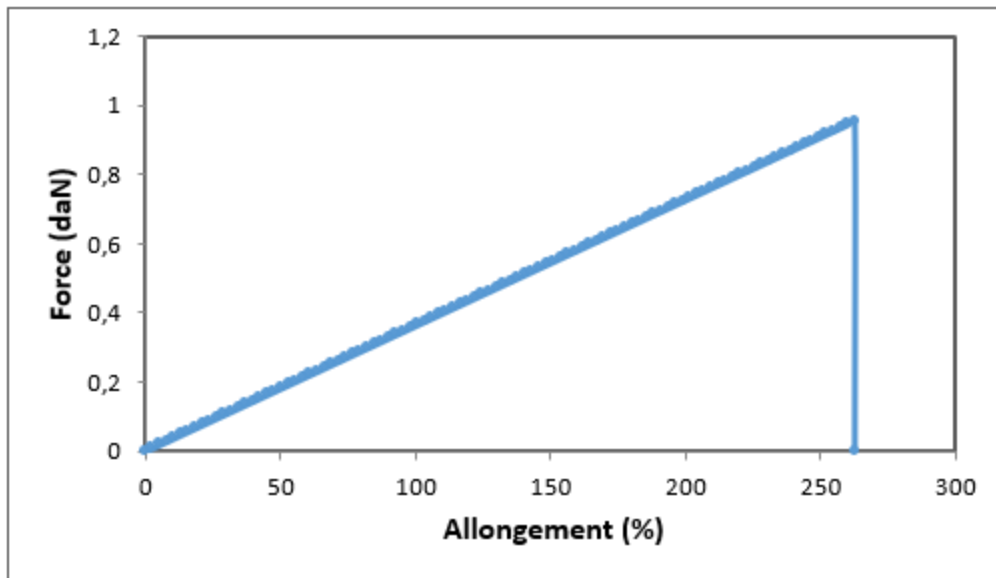


Figure (V- 6) : Echantillon (0) laissé à l'air libre

Cet échantillon présente les propriétés mécaniques avec une contrainte à la rupture de 0,726 MPa, un allongement de 263 % et un module d'élasticité de 0,363 MPa. Ces résultats indiquent une bonne élasticité et une résistance élevée.

V.3.1.2. Échantillon 1 ayant subi une immersion dans une solution de 3 % en masse de NaCl

Le graphe suivant représente la courbe de traction de l'échantillon 1, exposé à une solution de sel à 3 % (NaCl). Cette analyse permet d'observer l'effet de chlorure sur les caractéristiques mécaniques du PDMS.

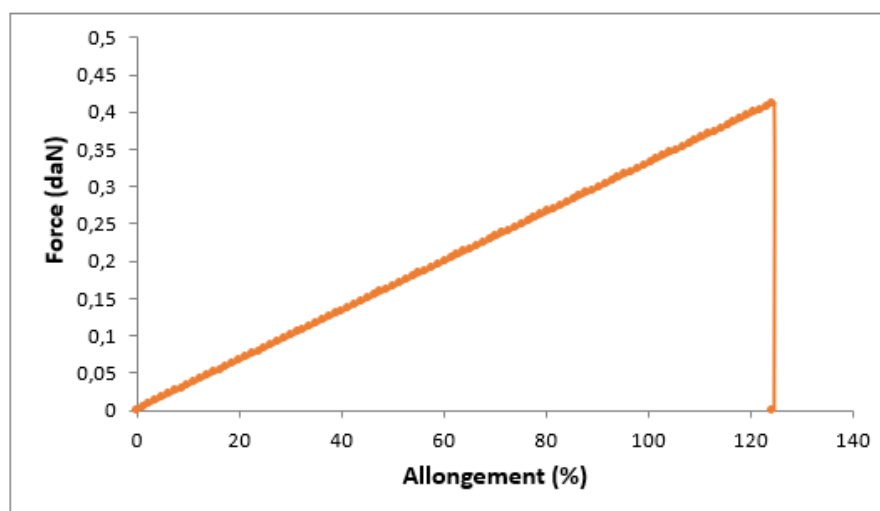


Figure (V- 7) : Courbe de traction après immersion dans une solution de NaCl de concentration de 3% en masse

C'est l'échantillon est moins résistant, avec la contrainte à la rupture la plus faible (0,426 MPa) et un allongement réduit à 124,5 %. Le module d'élasticité est de 0,33 MPa. La solution saline semble avoir provoqué un affaiblissement et une dégradation importants du réseau polymérique du PDMS.

V.3.1.3. Échantillon 2 ayant une immersion dans une solution d'eau de Javel (3 %) en masse

Le graphe ci-dessous montre la courbe de traction de l'échantillon 2, après immersion dans une solution d'eau de Javel à 3 %. Cette analyse permet d'évaluer l'impact d'un agent oxydant (hypochlorite de sodium) sur l'élasticité, l'allongement et la résistance du PDMS.

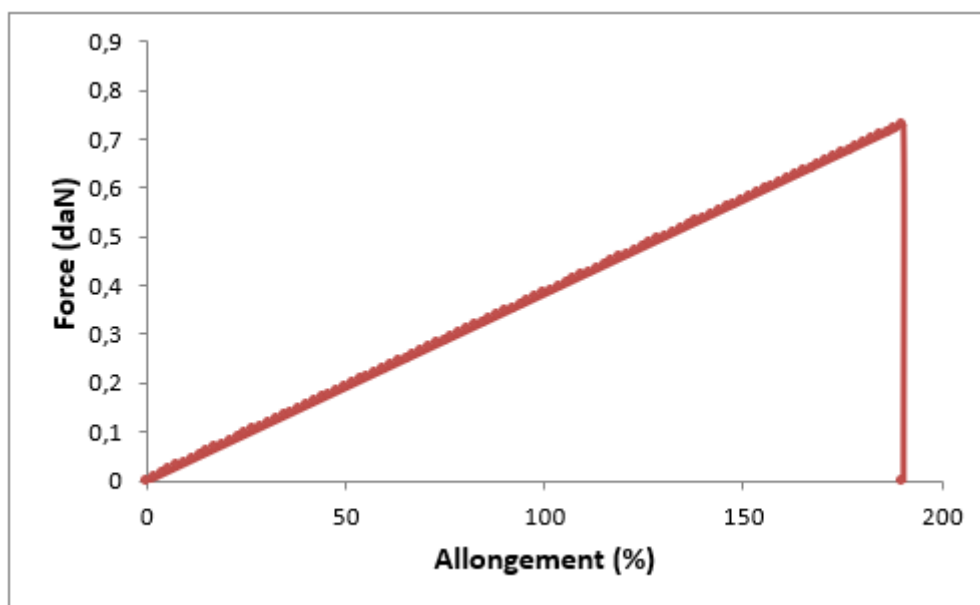


Figure (V- 8) : Courbe de traction après immersion dans l'eau de Javel de concentration de 3 % en masse en hypochlorites de sodium

La présence d'hypochlorites de sodium a nettement altéré le matériau. La contrainte à la rupture chute à 0,583 MPa et l'allongement est de 206,8 %. Le module d'élasticité de 0,35 MPa suggère une perte d'élasticité et une structure polymérique partiellement dégradée.

V.3.1.4. Échantillon 3 après immersion dans l'eau du robinet

La courbe suivante correspond à la courbe de traction de l'échantillon 3, après immersion dans de l'eau de robinet. Cette condition simule un vieillissement dans un environnement peu agressif, l'eau du robinet contient des hypochlorites de sodium avec une faible concentration, comparer avec d'autres milieux plus agressifs.

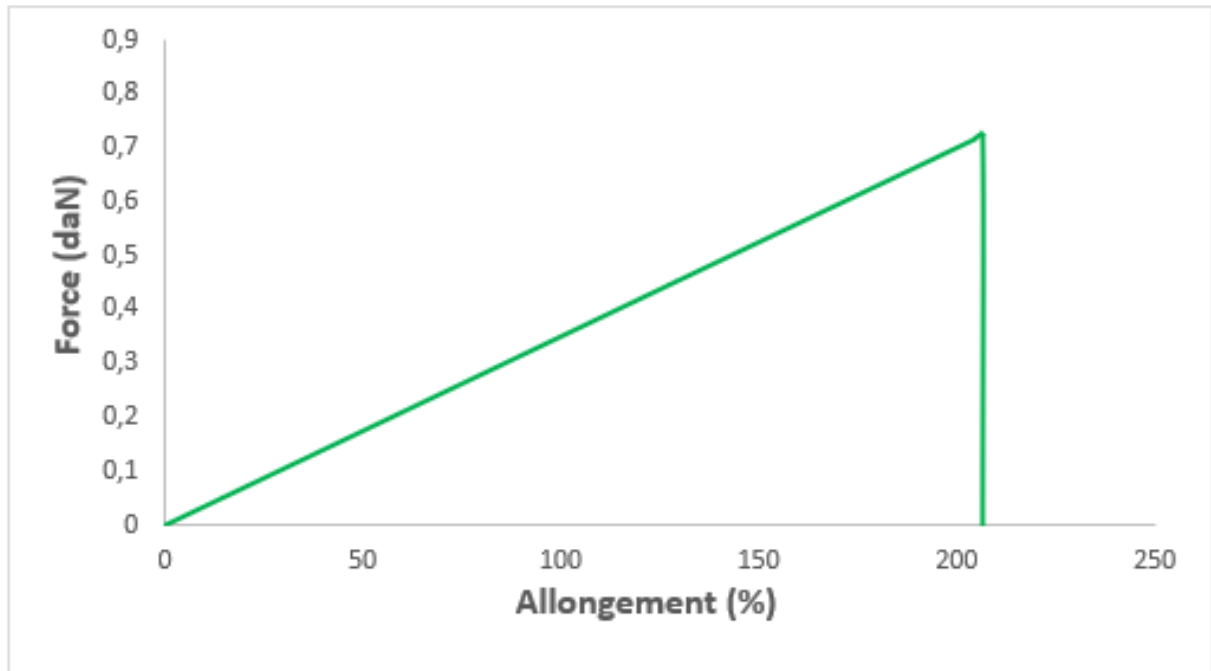


Figure (V- 9) : Échantillon 3 en immersion dans l'eau de robinet

Une légère diminution des performances est observée : la contrainte à la rupture est de 0,616 MPa et l'allongement à 190,2 %. Le module d'élasticité est légèrement supérieur (0,383 MPa), indiquant une légère dégradation, probablement due à une faible absorption d'eau.

V.3.2. Comparaison des courbes de traction:

La courbe suivante regroupe les courbes de traction des quatre échantillons (0,1,2et 3). Cette courbe nous a permis de voir les différences de comportement mécanique en fonction du milieu d'immersion. On peut y observer l'évolution du module d'élasticité, de la contrainte à la rupture et de l'allongement maximal.

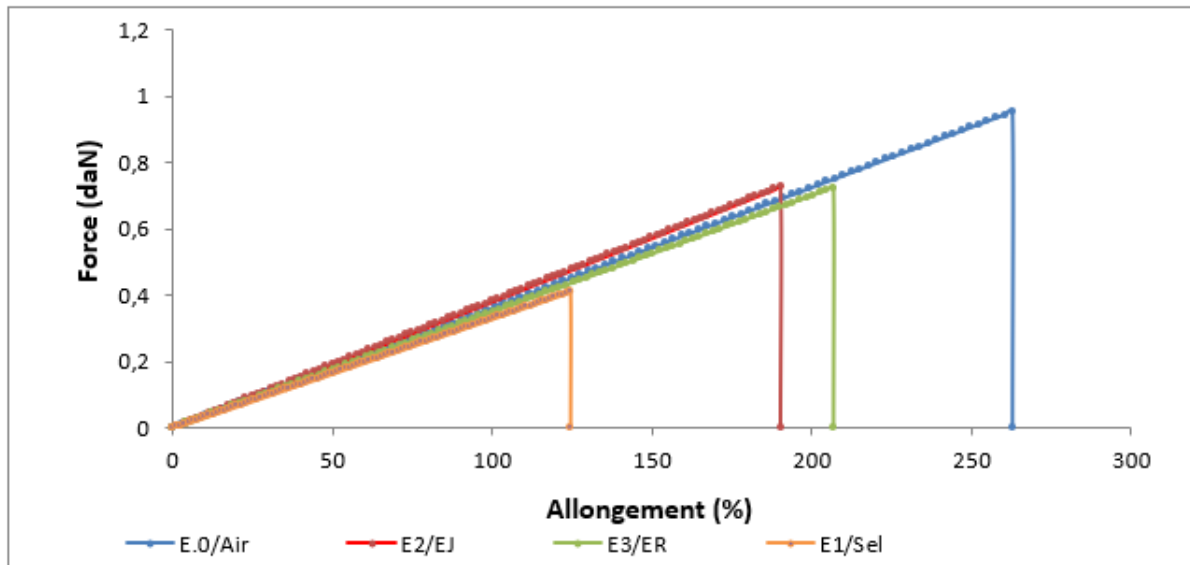


Figure (V- 10) : Courbes de traction des échantillons 0 ,1,2,3

La courbe comparative met en évidence une nette évolution des propriétés mécaniques sous l'effet des milieux d'immersion. L'échantillon après exposition à l'air libre montre les des propriétés mécaniques meilleures, suivi par celui ayant été en immersion dans l'eau de robinet, suivi de celui ayant été en immersion dans l'eau de javel, et enfin celui qui été en immersion dans la solution saline. Cette tendance confirme la sensibilité du PDMS aux agents chimiques, particulièrement aux à NaCl qui induit une dégradation importante de la silicone.

Le tableau suivant résume les principales caractéristiques mécaniques mesurées pour chaque échantillon :

Tableau (V- 2) : les résultats expérimentaux d'essai de la traction

Échantillon	Contrainte à la rupture (MPa)	Allongement à la rupture (%)	Module d'élasticité (MPa)
0	0,726	263	0,363
1	0,426	124,5	0,33
2	0,616	190,2	0,383
3	0,583	206,8	0,35

V.4. Résultats expérimentaux de la Variation gravimétrique

Le tableau ci-dessous présente les résultats de la variation gravimétrique enregistrée pour les différents échantillons de PDMS soumis aux différents milieux :

Tableau (V- 3) : Variation gravimétrique des échantillons de PDMS

Échantillon	m_0 (g)	m_1 (20 j) (g)	m_2 (40 j) (g)	Δm 20 j (%)	Δm 40 j (%)
0	1.268	1.257	1.257	-0.87	-0.87
1	0.643	0.640	0.634	-0.47	-1.40
2	0.652	0.642	0.626	-1.53	-3.99
3	0.597	0.593	0.590	-0.67	-1.17

V.4.1. La courbe de variation après 20 jours d'émersion

Le graphique ci-dessous montre les variations de masse après 20 jours d'émersion:

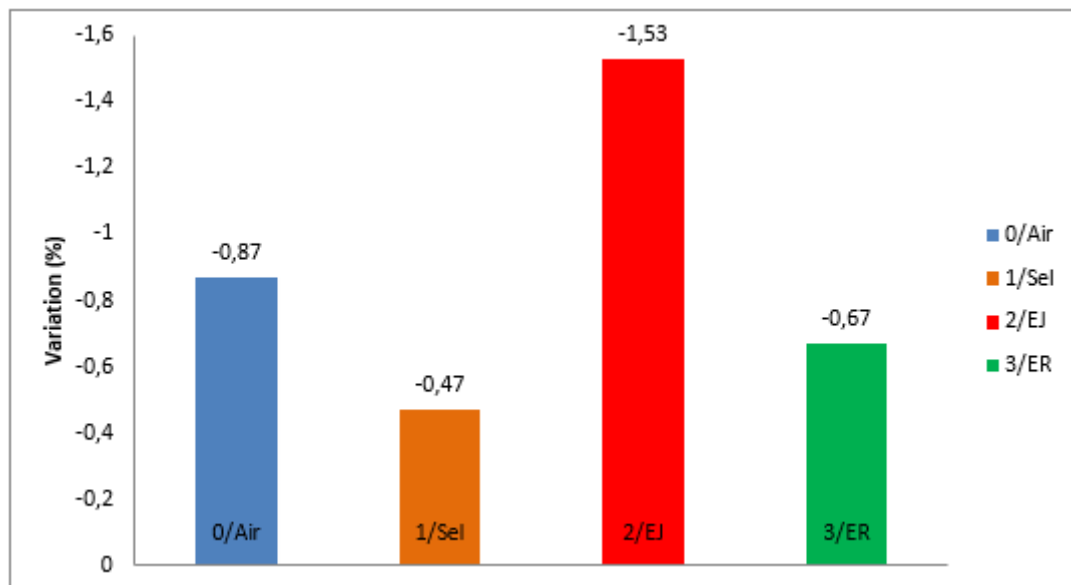


Figure (V- 11) : Variation de la perte de masse après 20 jours d'émersion

Au bout de 20 jours, la tendance est déjà visible : l'échantillon 2 présente la plus grande perte de masse (-1.5%), suivi de l'échantillon 0 (-0.87%), 3 (-0.67%) et 1 (-0.47%). Cela suggère une perte progressive de matière dès les premières semaines, en particulier pour les milieux d'études.

V.4.2. La courbe de variation après 40 jours

Le graphique ci-dessous montre les variations de masse après 40 jours d'émersion :

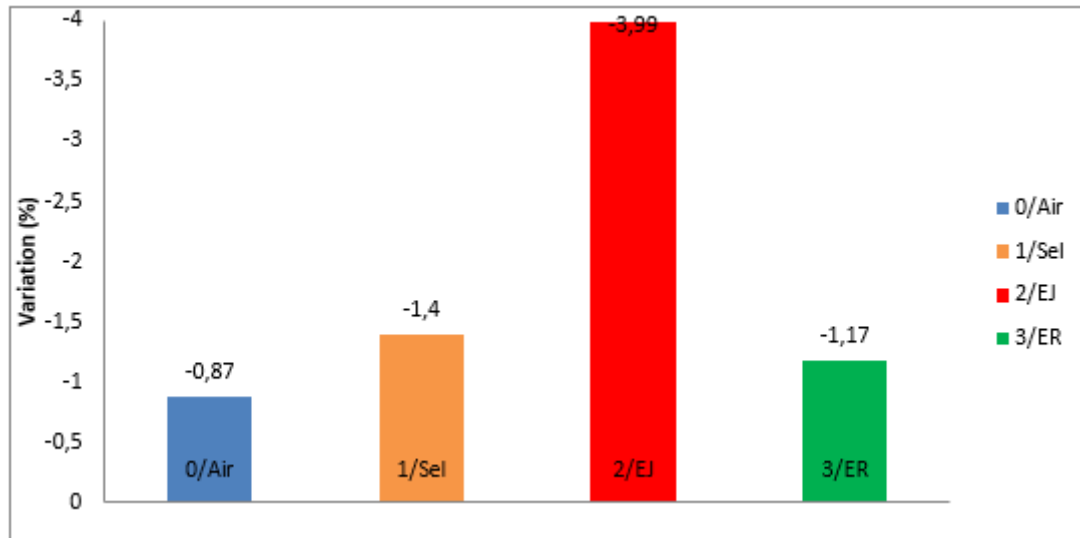


Figure (V- 12) : Variation de la perte de masse après 40 jours d'émersion

Après 40 jours, l'échantillon 2 (eau de Javel) montre une perte de masse significative (-4%), indiquant une possible dégradation chimique du polymère. L'échantillon 1 (solution saline) perd environ -1.5%, tandis que l'échantillon 3 (eau du robinet) perd environ -1%. L'échantillon 0 (air libre) reste stable avec une perte inférieure à -1%, montrant que l'air libre n'affecte que très peu la masse.

V.4.3. Comparaison des graphes de variation après 20/40 jours

Le graphique ci-dessous montre la comparaison de la variation de masse après 20 et 40 jours d'émersion :

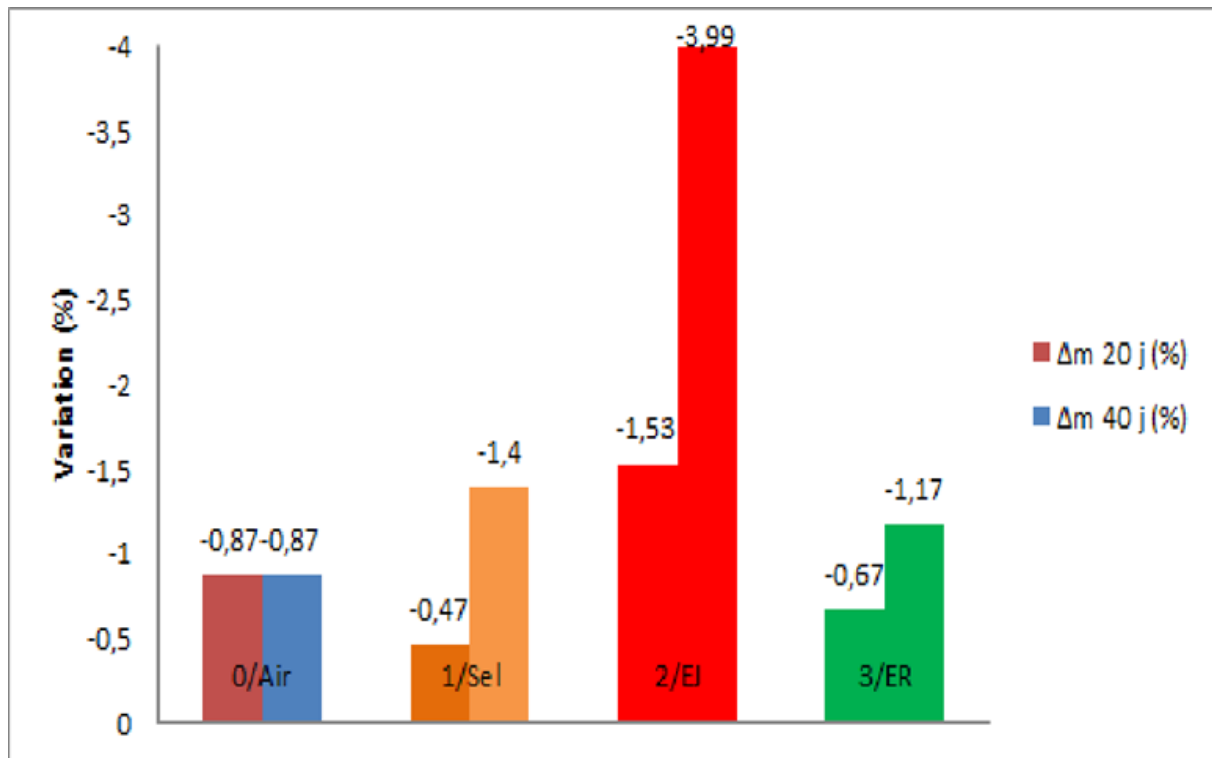


Figure (V- 13) : Variation de la perte de masse après 20 et 40 jours d'émersion

Le graphe comparatif de la variation de masse des échantillons de PDMS après 20 et 40 jours met en évidence l'influence du milieu d'exposition sur la stabilité du matériau. L'échantillon 0, exposé à l'air libre, présente une perte de masse quasi nulle (-0,87 % à 20 et 40 jours), traduisant une excellente stabilité à l'air. L'échantillon 1, immergé dans une solution saline à 3 %, montre une perte modérée passant de -0,47 % à -1,40 %, ce qui peut s'expliquer par une légère diffusion d'ions ou extraction de composants hydrosolubles. L'échantillon 2, exposé à l'eau de Javel à 3 %, subit une perte beaucoup plus importante, de -1,53 % à -3,98 %, indiquant une dégradation chimique significative du PDMS sous l'effet de l'oxydation. Enfin, l'échantillon 3, plongé dans l'eau du robinet, présente une variation intermédiaire de -0,67 % à -1,17 %, probablement liée à une perméabilité modérée à l'eau et aux sels dissous. Globalement, ces résultats montrent que le PDMS est très stable à l'air libre, mais sensible aux environnements aqueux, en particulier aux agents oxydants comme l'eau de Javel.

V.5. Résultats de l'analyse microscopique

V.5.1. Échantillon 0 – À l'air libre

Les images **a**, **b** et **c** ci-dessous montrent l'aspect microscopique de l'échantillon témoin 0, conservé à l'air libre. On peut y observer l'état de surface initial et son évolution naturelle sans influence chimique extérieure.

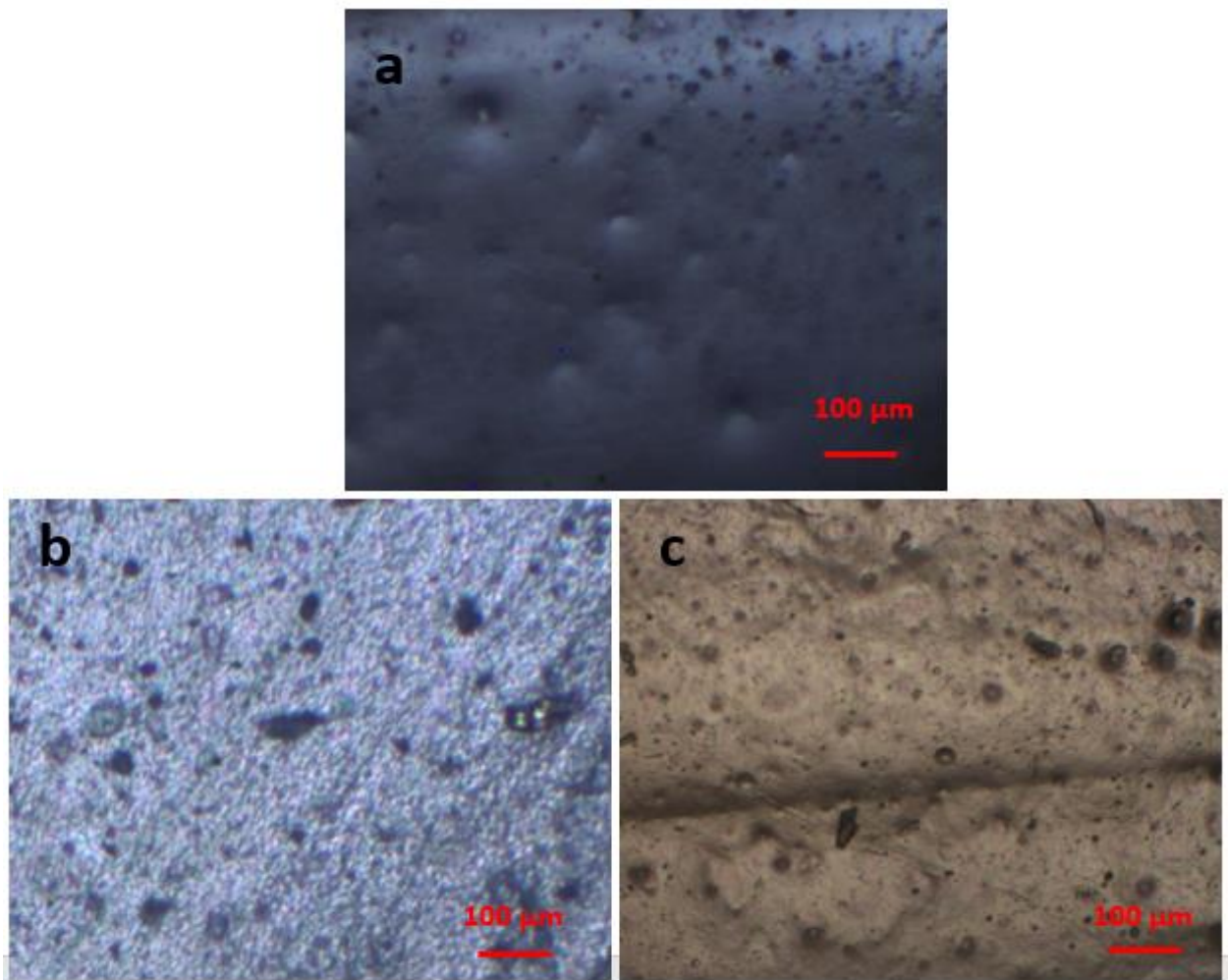


Figure V- 14:Echantillon 0 en présence d'Air libre : a- avant immersion, b- 20 jours, c- 40 jours sans immersion

V.5.1.1. Image a : Avant exposition : Surface homogène avec peu d'imperfections visibles, indiquant une structure stable sans altérations significatives.

V.5.1.2. Image b : Après 20 jours : Légère augmentation des microbulles ou défauts, ce qui pourrait traduire un vieillissement superficiel naturel.

V.5.1.3. Image c : Après 40 jours : Apparition plus marquée de pores ou défauts de surface, traduisant une légère dégradation due à l'exposition à l'air ambiant.

V.5.2. Échantillon 1 – Solution de sel (3 %)

Les images **a**, **b** et **c** présentent la microstructure de l'échantillon E1 après immersion dans une solution saline à 3 % pendant différentes durées. Ces vues permettent d'évaluer l'effet du chlorure de sodium sur la surface du PDMS.

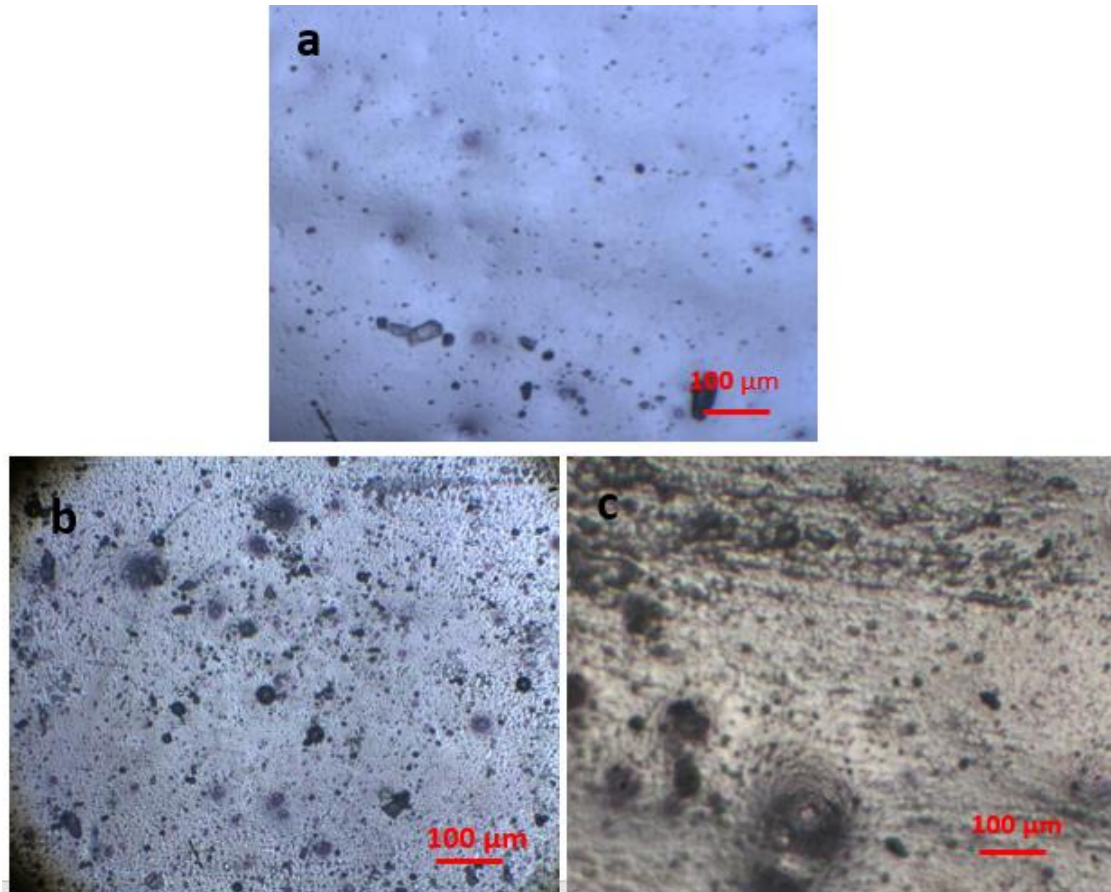


Figure V- 15:Echantillon 1 à 3% de sel : a (avant immersion), b 20 jours), c (40 jours) d'émersion

V.5.2.1. Image a : Avant immersion : Surface relativement uniforme avec peu de défauts visibles.

V.5.2.2. Image b : Après 20 jours : Apparition de microcavités et légers signes d'altération, probablement dus à l'action osmotique du sel.

V.5.2.3. Image c : Après 40 jours : Dégradation plus avancée, porosité accrue et structure plus hétérogène, indiquant une altération significative par la solution saline.

V.5.3. Échantillon 2 – Eau de Javel (3 %)

Les images **a**, **b** et **c** illustrent les modifications de la surface de l'échantillon E2 après une immersion prolongée dans une solution d'eau de javel à 3 %. On y distingue des dégradations typiques liées à l'oxydation chimique.

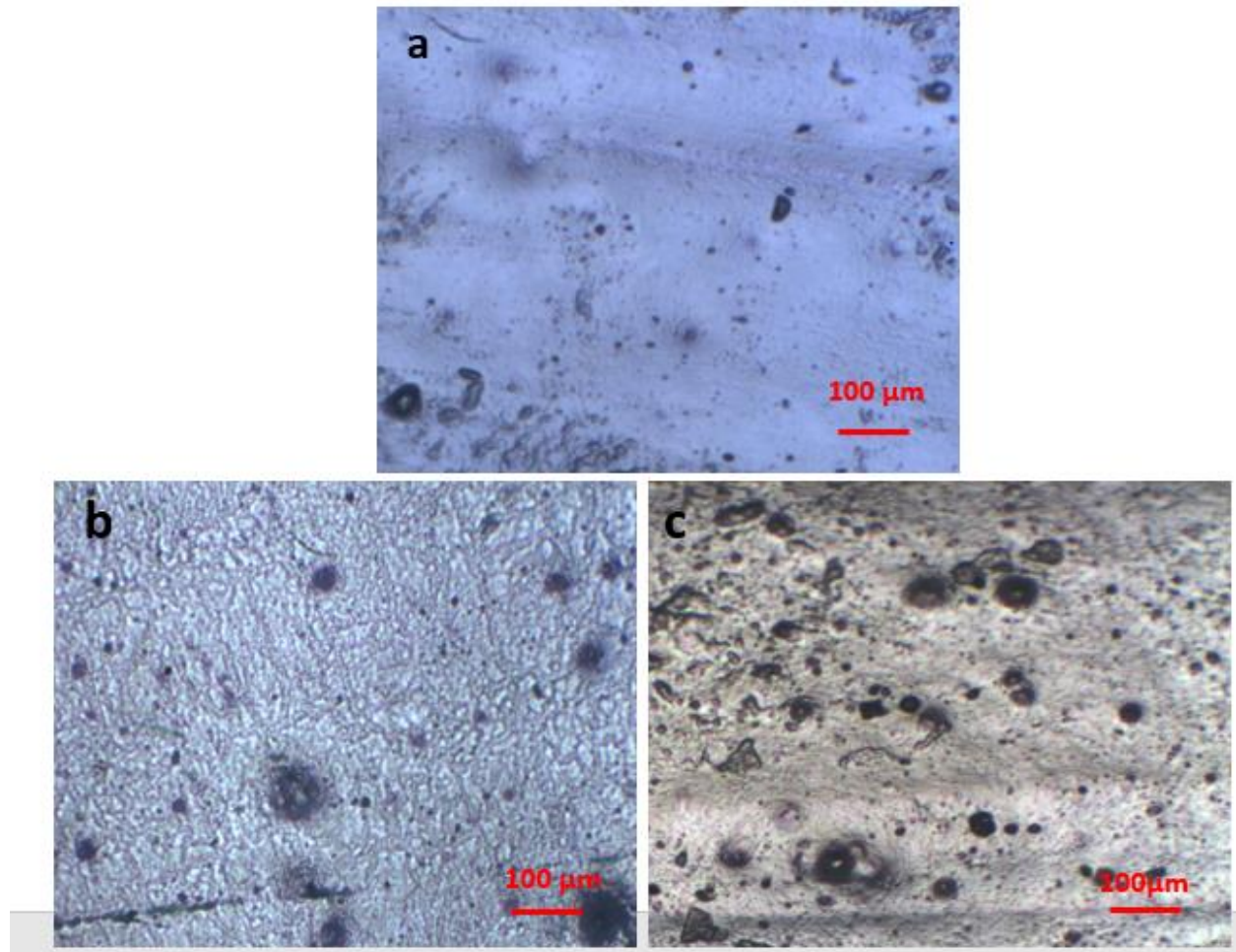


Figure V- 16:Echantillon 2 à 3%d'eau de javel : a (avant immersion), b (20 jours), c (40 jours) d'émersion

V.5.3.1. Image a : Avant immersion : Surface lisse et régulière, structure intacte.

V.5.3.2. Image b : Après 20 jours : Début d'apparition de microtrous et zones légèrement dégradées, révélant un début de décomposition chimique.

V.5.3.3. Image c : Après 40 jours : Forte dégradation de la surface, nombreux défauts visibles et altération manifeste de la matrice polymère par l'action oxydante de l'eau de Javel.

V.5.4. Échantillon 3 – Eau de robinet

Les images **a**, **b** et **c** ci-après montrent la surface du PDMS E3 après immersion dans l'eau de robinet. Ces vues permettent d'évaluer l'impact d'un milieu aqueux modérément agressif sur le comportement à long terme du matériau.

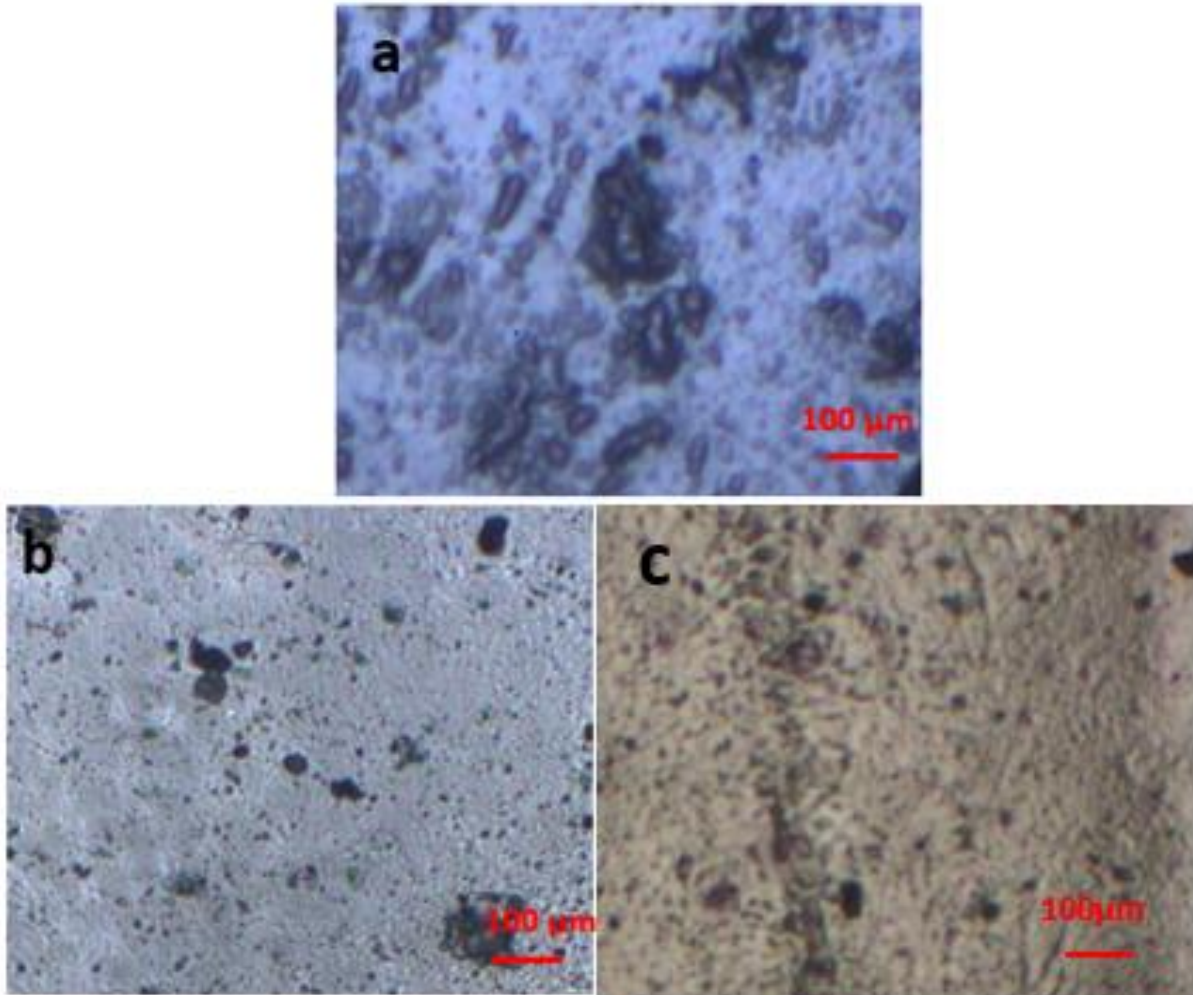


Figure V- 17:Echantillon (3) dans l'eau de robinet : a (avant immersion), b (20 jours), c (40 jours) d'émersion

V.5.4.1. Image a : Avant immersion : Surface saine avec une faible présence de micro défauts.

V.5.4.2. Image b : Après 20 jours : Apparition de petites cavités, indiquant une légère absorption d'eau ou modification de la structure.

V.5.4.3. Image c : Après 40 jours : Formation de structures internes anormales, peut-être liées à une déstabilisation ou à des réactions de gonflement prolongées en milieu aqueux neutre.

V.5.5. Comparaison des échantillons

L'analyse microscopique des différents échantillons de PDMS a permis de visualiser l'impact des milieux d'immersion sur la structure superficielle du matériau. Globalement, on observe une évolution progressive des défauts (porosités, fissures, zones sombres) selon la nature du milieu et la durée d'exposition.

Les échantillons exposés à des milieux agressifs (eau de javel et solution saline) présentent une détérioration plus marquée que ceux à l'air libre ou dans l'eau de robinet. Ces résultats confirment que l'environnement chimique joue un rôle déterminant dans le vieillissement et la stabilité du PDMS, affectant potentiellement ses propriétés mécaniques et physiques à long terme.

V.6. Résultat d'Analyse Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR)

L'analyse (FTIR) permet d'identifier les fonctions (liaisons) chimiques présentes dans les échantillons de PDMS soumis à différents milieux. Ci-dessous, chaque spectre est interprété pour évaluer les éventuelles modifications structurales induites par les milieux d'exposition : a- air libre, b- solution saline (NaCl 3 %), c-eau de Javel (3 %) et d'eau de robinet.

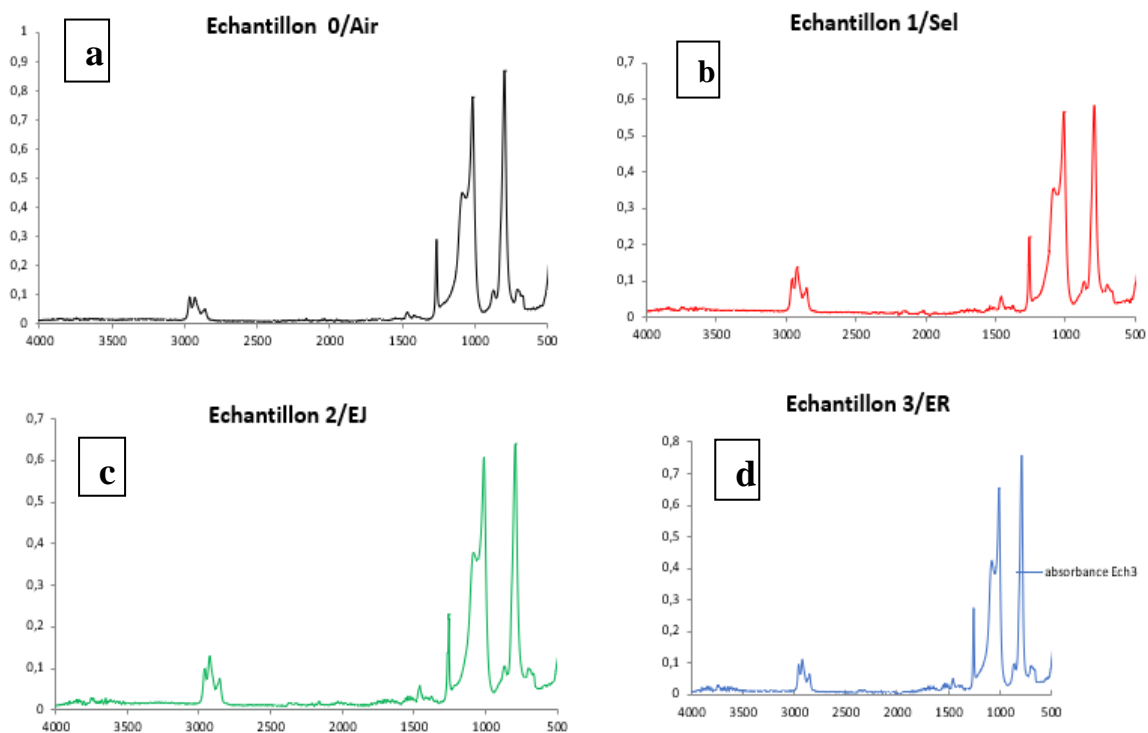


Figure V- 18: Spectres FTIR des 4 échantillons après 20 jours d'exposition.

V.6.1. Échantillon 0 – Air libre(a)

Les pics caractéristiques du PDMS (vers 1260 cm^{-1} pour Si-CH₃ et 1090 cm^{-1} pour Si-O-Si) restent stables.

Conclusion : Aucune dégradation chimique notable, le PDMS est très stable à l'air libre.

V.6.2. Échantillon 1 – Sel (NaCl 3 %) (b)

Légère diminution de l'intensité du pic à 1090 cm^{-1} (liaisons Si-O-Si).

Conclusion : Le sel affecte faiblement la structure du PDMS, possiblement en perturbant les liaisons siloxane (Si-O-Si), mais sans dégradation majeure.

V.6.3. Échantillon 2 – Eau de Javel (3 %)

Diminution marquée à $800\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ (Si-O-Si / Si-CH₃).

Affaiblissement significatif des liaisons clés.

V.6.4. Échantillon 3 – Eau de robinet

Spectre très similaire à l'échantillon témoin, avec une légère baisse d'intensité à 1090 cm^{-1} .

Conclusion : L'eau de robinet a un effet minimal, probablement dû à une faible absorption d'eau ou aux minéraux dissous.

V.6.5. Analyse comparative FTIR après 20 jours d'immersion

La courbe ci-dessus présente la comparaison des spectres FTIR des quatre échantillons de PDMS après 20 jours d'immersion dans différents milieux : l'échantillon 0 à l'air libre, l'échantillon 1 en immersion dans la solution saline à 3 %, l'échantillon 2 en immersion dans la solution à 3 % de l'eau de Javel, et l'échantillon 3 en immersion dans l'eau de robinet.

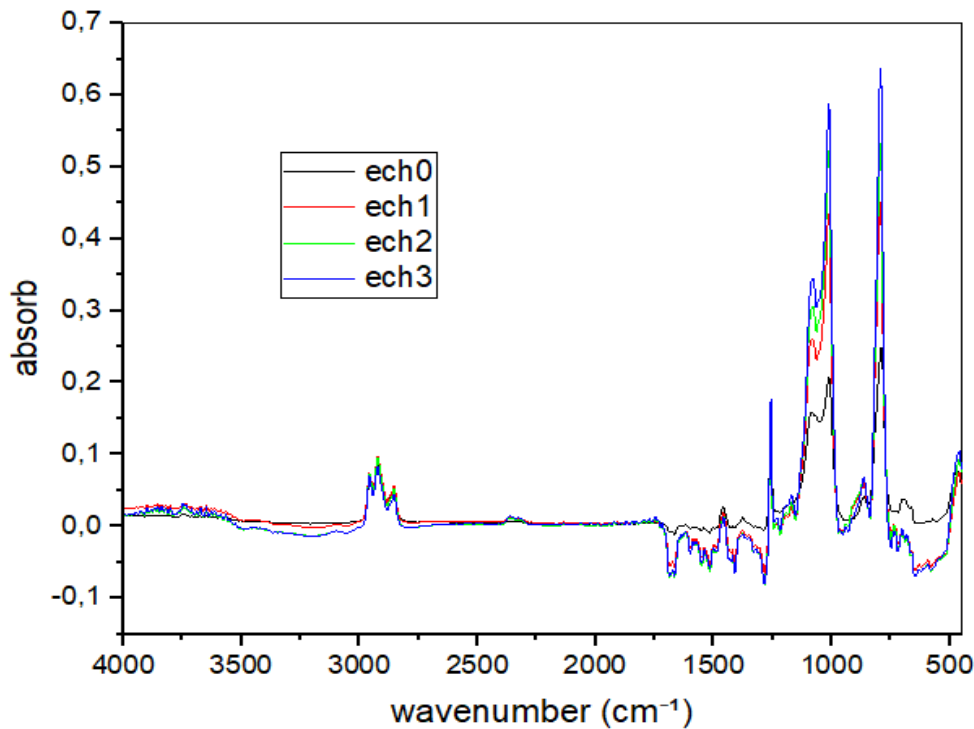


Figure V- 19 : Graphe comparatif après 20 jours d'émersion

Après 20 jours d'immersion le PDMS reste sans modification structurel, mais une modification surfacique dû à l'interaction avec les milieux d'immersions par rapport à l'échantillon témoin (à l'air libre).

V.6.6. Analyse comparative FTIR après 40 jours d'immersion

La courbe ci-dessus présente la comparaison des spectres FTIR des quatre échantillons de PDMS après 40 jours d'immersion dans différents milieux : l'échantillon 0 à l'air libre, l'échantillon 1 en immersion dans la solution saline à 3 %, l'échantillon 2 en immersion dans la solution à 3 % de l'eau de Javel, et l'échantillon 3 en immersion dans l'eau de robinet.

On observe aucune apparition de nouveaux pics après 40 jours d'immersion, ce qui veut dire qu'aucune dégradation chimique dans la structure du PDMS n'est produite. Mais la diminution progressive en fonction du temps d'immersion (20 jours et 40 jours) de l'intensité du pic à 1090 cm^{-1} (Si-O-Si) pour les échantillons immergés dans les différentes solutions suggère que l'augmentation du temps d'immersion peut générer l'altération du groupe fonctionnel du PDMS et la dégradation totale de la structure.

Pour conclure le PDMS subit une réorganisation moléculaire surfaciques dans l'eau, mais conserve son intégrité chimique.

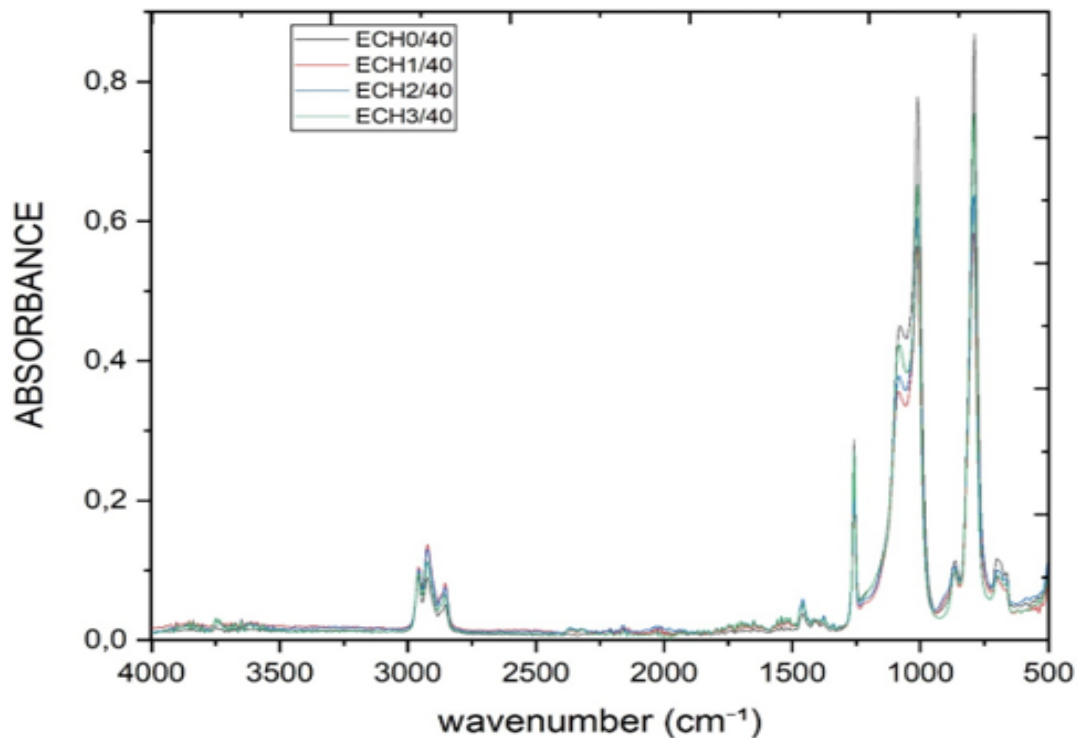


Figure V- 20: Graphe comparatif après 40 jours d'émersion

V.6.7. Conclusion :

L'ensemble des tests réalisés dans ce travail (traction, fluage, spectroscopie FTIR, variation gravimétrique et observation microscopique) ont permis de mieux comprendre le comportement du PDMS soumis à différents milieux aqueux et humides au cours du temps. Les résultats obtenus montrent que le PDMS présente une bonne stabilité mécanique et chimique à l'air libre, avec une faible variation de masse et peu de signes de dégradation. En revanche, une altération progressive a été observée dans les milieux aqueux, notamment en présence d'agents agressifs comme l'eau de Javel, qui provoque une dégradation chimique marquée, confirmée par la perte de masse, la diminution des performances mécaniques et les évolutions spectrales présentée par l'FTIR, le fluage et la traction ont également révélé un affaiblissement des propriétés mécaniques dans les échantillons immergés.

Ces résultats mettent en évidence la sensibilité du PDMS à certains environnements chimiques (chlorures et les hypochlorites), et soulignent l'importance de bien choisir les conditions d'utilisation en fonction de la durée de vie du matériau lors de sa mise en service.



**Conclusion générale et
perspectives**

Conclusion générale et perspectives

Ce travail de fin d'études a permis d'étudier de manière approfondie le comportement du polydiméthylsiloxane (PDMS) soumis à un vieillissement dans différents environnements aqueux. La démarche adoptée s'est appuyée sur une analyse progressive, structurée en cinq chapitres.

Le premier chapitre a posé les bases théoriques en présentant les généralités sur les polymères, notamment leurs structures, leurs propriétés et les différentes familles existantes. Le deuxième chapitre a permis de mieux comprendre les effets du vieillissement sur les matériaux polymères, en mettant en évidence les principaux mécanismes de dégradation. Le troisième chapitre a porté sur les silicones et plus particulièrement le PDMS, matériau d'étude de ce travail, en détaillant ses propriétés et ses domaines d'application. Le quatrième chapitre a décrit le protocole expérimental : élaboration des échantillons, immersion dans divers milieux aqueux (air, eau de robinet, solution saline, eau de Javel), ainsi que les différentes méthodes d'analyse utilisées (essai de traction, FTIR, fluage, observation microscopique et variation gravimétrique). Enfin, le cinquième chapitre a présenté les résultats obtenus et leur interprétation.

Les résultats ont montré que le PDMS présente une bonne stabilité chimique globale. Les milieux oxydants ou ioniques comme l'eau de Javel ou la solution saline ont induit une légère augmentation d'intensité, observable par les variations dans les spectres FTIR, la réduction du module de Young en traction, une déformation plus marquée au fluage, ainsi que des changements visuels et microscopiques.

En conclusion, cette étude met en évidence l'effet non négligeable de l'environnement aqueux sur les propriétés des matériaux à base de PDMS. Elle confirme que malgré sa bonne résistance globale, des transformations progressives peuvent apparaître sous l'effet de conditions de vieillissement prolongé, notamment en présence d'agents chimiques actifs.

Ce travail pourrait servir de base à de futures recherches, notamment sur le vieillissement à long terme, les effets de températures ou de pH extrêmes, ou encore sur des formulations modifiées du PDMS pour améliorer sa durabilité. Comme il peut être renforcé par des analyses complémentaires tels que le MEB, DSC, ATG ...etc.



Référence bibliographique

- [1] L. Baekeland, The synthesis, constitution, and uses of Bakelite, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 1, pp. 190–195, 1909.
- [2] H. Staudinger, Über Polymerisation, *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, Vol. 53, pp. 1073–1085, 1920.
- [3] W. H. Carothers, Polymerization, *Chemical Reviews*, Vol. 8, No. 3, pp. 353–426, 1931.
- [4] : Université Médicale Virtuelle Francophone cours en ligne 2009-2010
- [5] : Kausch. H, Heymans. N, Plummer. C. J, Decroly. P. *Traité des matériaux. Vol14 : Matériaux polymères : Propriétés mécaniques et physiques*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes : s.n., 2001.
- [6] : « Matériaux Polymères (1) - Architecture macromoléculaire ». Article écrit par Thierry HAMAIDE, Professeur à l'Université Claude Bernard Lyon 1. *Ingénierie des Matériaux Polymères*. IMP@Lyon. Polytech. Boulevard Latarjet, 69622 Villeurbanne cedex.
- [7] « Physique des polymères, I. Structure, Fabrication », *Emploi Patrick Combette, Isabelle Ernoult, 2005, Hermann Editeurs*
- [8] : Mlle BOUZIDI Lydia et Mlle CHANOUNE Saadia Université A. MIRA – BEJAIA /Faculté de Technologie /Département de Génie des Procédés
- [9] : CAMPUS® fiche technique / PLEXIGLAS® 8N-PMMA /Evonik industries AG
- [10] Billmeyer, F.W. (1984). *Textbook of polymer science (3rd.)*. John wiley& sons.
- [11] *Matériaux polymères biodégradables et applications, Note de Synthèse II, Direction des Energies Renouvelables, des Réseaux et des Marchés Energétiques Hilaire BEWA, 2006.*
- [12] P. Robert, « Matériaux de l'électrotechnique » Edition Géorgie, *Traité d'électricité*, 1979
- [13] Z. gammouda, Effet de plasmas des ions d'argon (Ar+) sur l'interaction entre des couches minces réfractaires et des substrats en acier, mémoire magister, université. K.M. Ouargla. 2010.
- [14] Le Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses Physico- Chimiques (C.R.A.P.C)
- [15] L'analyse thermique tome 1 : Les changement de phase. Bouaziz. R, Rollet A.P. Editions Gauthier –Villars, 1972.

- [16] Bordat, y., & Vermeulen, j.L. (2006). Analyse thermique et calorimétrie : principes, méthodes et applications. Technique de l'ingénieur.
- [17] Groenewoud, W. M. (Ed.). (2001). Characterisation of Polymers by Thermal Analysis. Elsevier Science B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-044450604-7/50005-4>
- [18] « Encyclopédie des sciences industrielles quillet mécanique, généralités, application » librairie Aristide quillet, Paris, 1979
- [19] E. Maréchal « Polycondensation et polyaddition » Techniques de l'ingénieur, traité Plastiques et composites ; A M 3 042
- [20] J. Botrel, « Les polymère chimie et réglementation des emballages ». MASSON 1982
- [21] P. Robert, « Matériaux de l'électrotechnique » Edition Géorgie, Traité d'électricité, 1979
- [22] J.P. Mercier et E. Maréchal, « Traité des matériaux », 13 chimie des polymères, synthèse, réaction, dégradation, presses polytechnique et universitaires ROMANDES
- [23] « Encyclopédie des sciences industrielles quillet mécanique, généralités, application » librairie Aristide quillet, Paris, 1979
- [24] EL-AIDANI Rachid, « Effet du vieillissement sur les propriétés de la membrane Humidifuge en-PTFE/NOMEX® utilisée dans les vêtements de protection contre les incendies », Thèse de doctorat en Génie ph-D, Montréal, 2012.
- [25] Philippe Lours (AU CŒUR DES MATERIAUX CRISTALIN), Notion en mécanique de la rupture, comportement en fluage, mars 2016
- [26] D. BOUGUEDAD, « Influence du vieillissement thermique sur les propriétés de EPDM », Thèse de doctorat en électrotechnique, UMMTO, 2010.
- [27] BEN HASSEINE « Modélisation du vieillissement thermique et mécanique d'une protection externe en EPDM de jonctions rétractables à froid », Thèse de doctorat en Mécanique Matériaux, Paris, 2013.
- [28] F. AMGHAR, M. AINDER « caractérisation mécanique et physico-chimique du polyéthylène à haute densité après vieillissement thermique », Mémoire de fin d'étude, Ingénieur d'état en génie mécanique, UMMTO, 2011.
- [29] D. BOUGUEDAD « Influence du vieillissement thermique sur les propriétés de EPDM », Thèse de Magister en électrotechnique, UMMTO, 2002.

- [30] B. FAYOLLE, J. VERDU, “Vieillissement physique des matériaux polymères, Technique de l’ingénieur, cor 108, 2005.
- [31] J. M. DORLOT, J. P. BAILON ET J. MASOUNAVE, “Les matériaux, Edition de l’école polytechnique de Montréal, 1980-1986.
- [32] R. FOURNIE, “ Essai mécaniques de dégradation, application industrielles ”, Edition Paris Eyrolles, pp. 1-16, 1990.
- [33] D. LABBACI, N. SAIDOUN, “Influence du vieillissement thermique cyclique sur les propriétés du PRC utilisé dans les câbles MT”, Mémoire de fin d’étude, Ingénieure d’état en électrotechnique, UMMTO, 2002.
- [34] W. D. Calliste and D. G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering : An Introduction*, 9th ed. Hoboken, NJ : Wiley, 2013.
- [35] J.C. DUBOIS, « propriétés diélectrique des plastiques », *Techniques de l’ingénieur AM 3140*, 2001.
- [36] J. VERDU, “Vieillissement des plastiques, AFNOR Technique, Edition Eyrolles, Paris 1984.
- [37] E. RICHAUD, J. VERDU, “ Vieillissement chimique des polymères – Mécanismes de Dégradation, *Technique de l’ingénieur, Am 3151*, 2011.
- [38] J. P. MERCIER, E. MARECHAL, “ Chimie des polymères ”, 1993.
- [39] Bokobza, L. Elastomeric composites. I. Silicone composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 2004, 93, 2095–2104.
- [40] Dow Corning(r) HMW 2220 Non-Ionic Emulsion. Dow Corning. [Online] [Cited : August 09, 2016.]
- [41] Oruganti, S., Mansour, N. N., Panesi, M., & Panerai, F. (2023). Microstructure of pyrolyzing RTV silicone. *Polymer Degradation and Stability*, 207, 110237.
- [42] <https://powerrubber.com/fr/blog/les-diffrents-types-de-silicone-guide-des-propriets-et-des-utilisations>
- [43] RTV-1, un silicone utilisé pour protéger les composants électroniques sensibles
- [44] <https://rysilicone.com/fr/author/tonny-yu3gmail-com/>

- [45] https://m.media-amazon.com/images/I/41GStk54c6L._AC_UF350,350_QL80_.jpg
- [46] <https://image.made-in-china.com/2f0j00HvUclqZzOtkQ/Methyl-Silicone-Oil-Is-Used-as-a-High-Temperature-Dielectric-Liquid-in-The-Electrical-and-Electronic-Industries.webp>
- [47] Mater. Chim. Phys. (2013)
- [48] <https://www.silfluosilicone.com/uploads/image/20231101/17/phenyl-vinyl-methyl-silicone.webp>
- [49] Bernstein et Gillen, 2009 Bernstein R., Gillen K.
- [50] Dongguan WalleSealingtechnologyDevelopment Co., Ltd,Guangdong.
- [51] Damodara, S ; George, D. ; Sen, A. Single step fabrication and characterization of PDMS micro lens and its use in optocapillary f lowmanipulation. Sens. Actuators B Chem. 2016, 227, 383–392.
- [52] Mark, J. E. (2009). Physical Properties of PolymersHandbook. Springer.
- [53] Togawa, R. C. et al. (2005). Electrical and mechanicalproperties of polydimethylsiloxane (PDMS) composites.
- [54] Brassard, D. M., *Handbook of Silicone Rubber Fabrication*, Van Nostrand Reinhold, 1994.
- [55] RapraTechnology Ltd., *Silicone Elastomers*, 2005.
- [56] Carraher, C. E., *Polymer Chemistry*, 9th Ed., CRC Press, 2012.
- [57] W. helan, F. W., “Silicones”, *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, Wiley, 2004.
- [58] Mark, J. E. (Ed.). (2006). The properties of silicones. In Physical Properties of PolymersHandbook (pp. 395–404). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-31235-4_25

Résumé

Ce projet de fin d'études porte sur l'étude du comportement du PDMS (polydiméthylsiloxane) lorsqu'il est exposé à différents milieux: Air libre, eau du robinet, solution saline (eau + NaCl à 3 %) et solution d'eau de Javel (eau + NaClO à 3 %). L'objectif principal est d'évaluer l'impact de ces environnements sur les propriétés mécaniques, chimiques, morphologiques et sur la variation gravimétrique du matériau.

Pour ce faire, plusieurs tests ont été réalisés: des essais de traction pour mesurer les performances mécaniques, des essais de fluage pour suivre l'évolution de la déformation en fonction du temps, une analyse FTIR pour identifier les évolutions chimiques, l'observation de la variation gravimétrique, ainsi que des observations microscopiques pour examiner l'état de surface.

Les résultats montrent une diminution progressive de la contrainte à la rupture et de l'allongement pour les échantillons immergés dans les solutions contenant du NaCl et du NaClO par rapport à l'échantillon témoin (à l'air libre). La variation gravimétrique révèle une légère perte de masse dans les milieux contenant du NaCl et du NaClO. Les spectres FTIR indiquent une augmentation la conservation des bandes caractéristiques des groupements Si-CH₃ et Si-O-Si. Les images microscopiques montrent l'apparition de porosités et défauts surfacique.

En conclusion, cette étude montre que le PDMS, bien qu'ayant une bonne stabilité globale, subit un vieillissement en milieu aqueux, se traduisant par une altération de ses propriétés mécaniques, chimiques et morphologiques, ainsi qu'une variation de sa masse.

Abstract

This final-year project investigates the behavior of PDMS (polydimethylsiloxane) when exposed to various aqueous environments: ambient air, tap water, a saline solution (water + 3% NaCl), and a bleach solution (water + 3% NaClO). The main objective is to assess the effect of these environments on the mechanical, chemical, morphological, and gravimetric variation of the material.

Several analyses were carried out: tensile tests to evaluate mechanical behavior, creep monitoring of gravimetric variation, and microscopic observations to assess surface degradation.

The results show a gradual reduction in tensile strength and elongation at break for the immersed samples compared to the reference sample kept in air. Gravimetric variation indicates a slight mass loss in samples immersed in NaCl and NaClO solutions. FTIR spectra show an increase in the intensity of bands associated with Si-CH₃ and Si-O-Si groups. Microscopic images reveal the formation of porosity, cracks, and other surface defects after immersion. In conclusion, this study demonstrates that although PDMS is generally stable, it undergoes aging in aqueous environments, resulting in changes in its mechanical, chemical, and morphological properties, as well as a variation in mass.