

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



**Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master**

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière :** Sciences Biologiques

**Département :** Biochimie et Biologie cellulaire et moléculaire

**Spécialité :** Physiologie cellulaire et physiopathologie

Thème :

**Développement de mousse biosourcée à base d'huiles alimentaires**

Présenté par : Benkhrouou Hani

Le :22 /06/2025

**Khalfaoui Aoudey**

**Jury d'évaluation :**

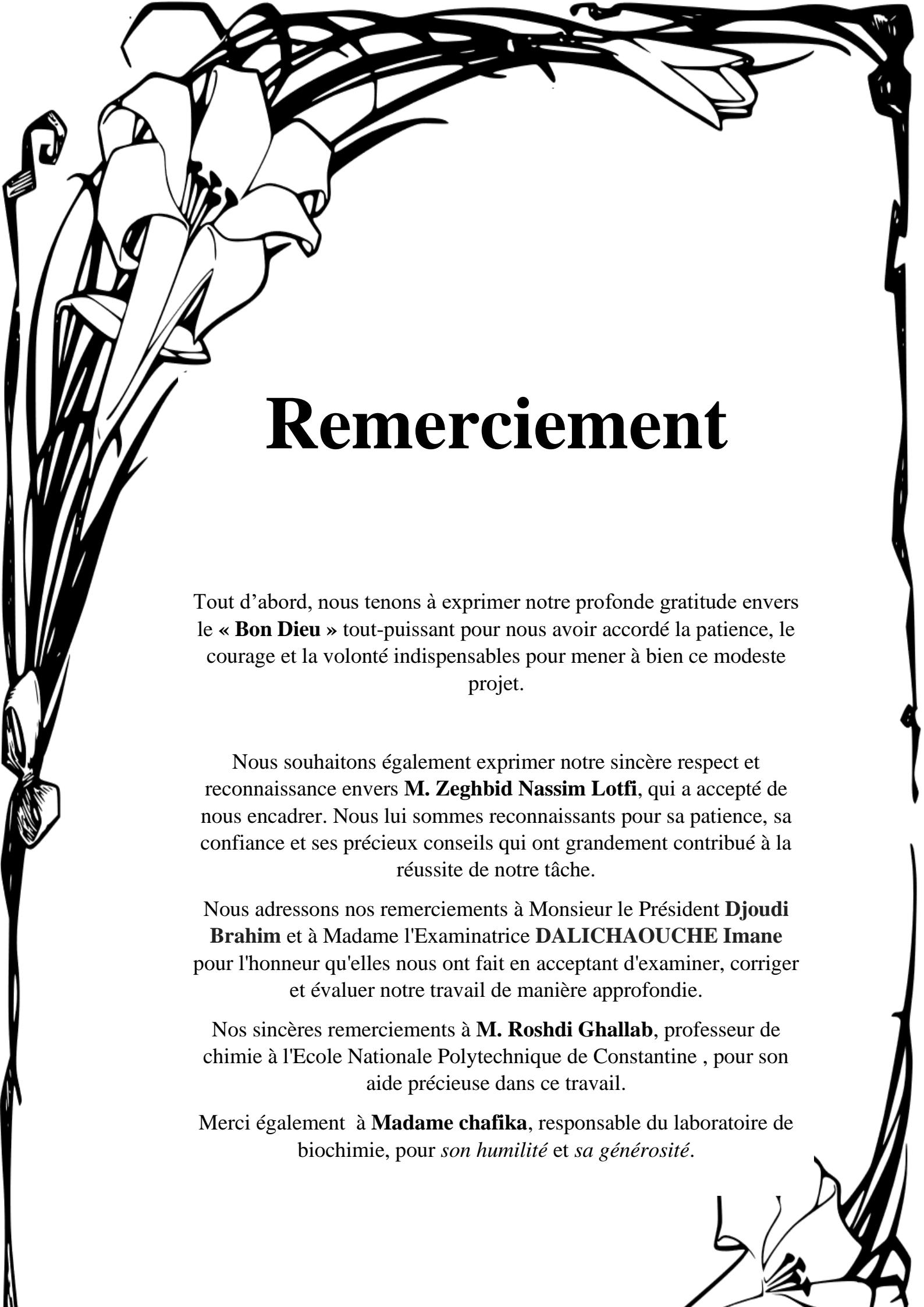
**Président :** Djoudi Brahim (MCA) - U Constantine 1 Frères Mentouri).

**Encadrant :** Zeghbidd Nassim Lotfi (MCA) - U Constantine 1 Frères Mentouri).

**Examinateur(s) :** Dalichaouche Imane (MCA) - U Constantine 1 Frères Mentouri).

**Année universitaire**

**2024 - 2025**



# Remerciement

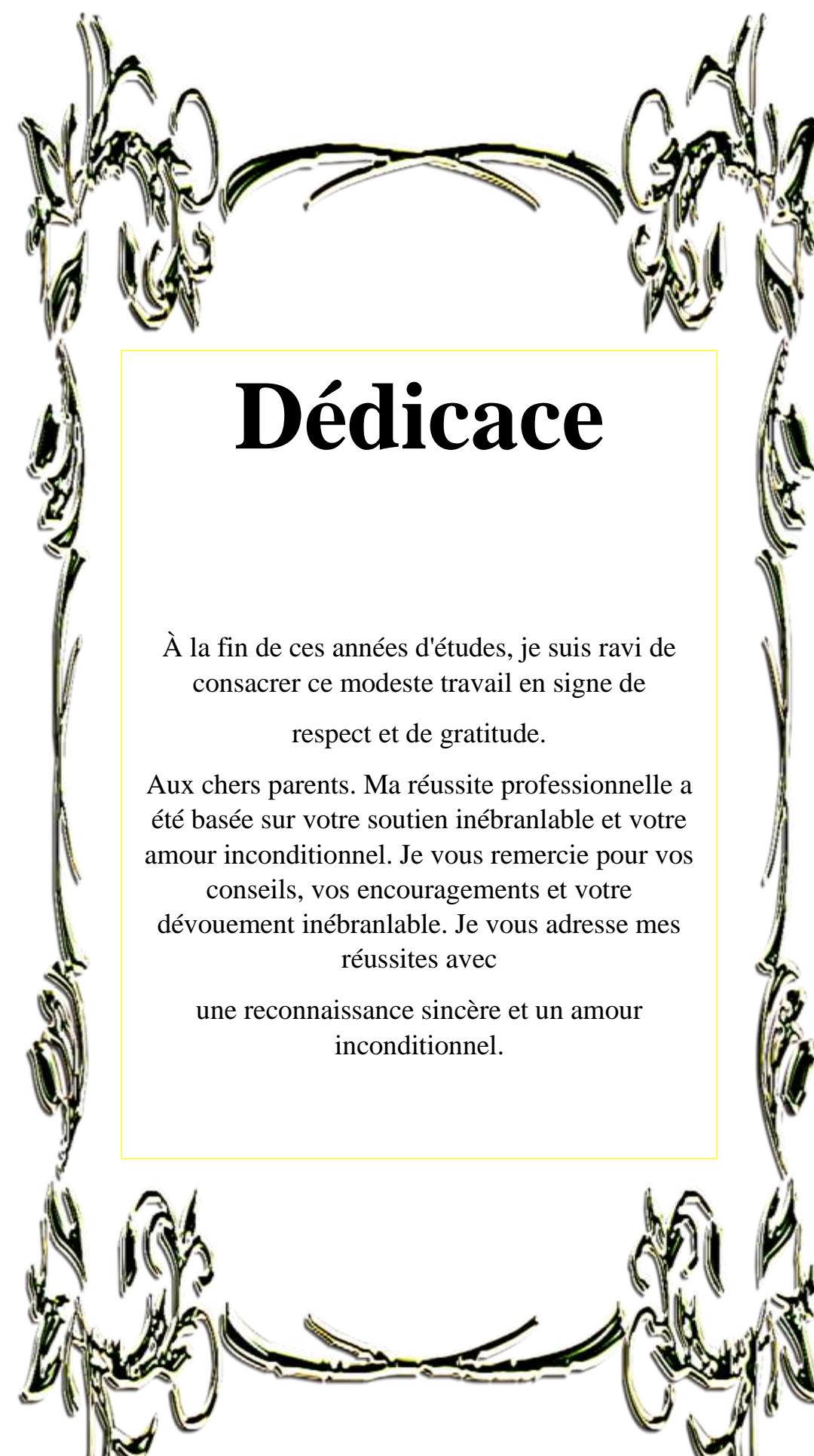
Tout d'abord, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers le « **Bon Dieu** » tout-puissant pour nous avoir accordé la patience, le courage et la volonté indispensables pour mener à bien ce modeste projet.

Nous souhaitons également exprimer notre sincère respect et reconnaissance envers **M. Zeghbid Nassim Lotfi**, qui a accepté de nous encadrer. Nous lui sommes reconnaissants pour sa patience, sa confiance et ses précieux conseils qui ont grandement contribué à la réussite de notre tâche.

Nous adressons nos remerciements à Monsieur le Président **Djoudi Brahim** et à Madame l'Examinateuse **DALICHAOUCHE Imane** pour l'honneur qu'elles nous ont fait en acceptant d'examiner, corriger et évaluer notre travail de manière approfondie.

Nos sincères remerciements à **M. Roshdi Ghallab**, professeur de chimie à l'Ecole Nationale Polytechnique de Constantine , pour son aide précieuse dans ce travail.

Merci également à **Madame chafika**, responsable du laboratoire de biochimie, pour *son humilité et sa générosité*.



# Dédicace

À la fin de ces années d'études, je suis ravi de consacrer ce modeste travail en signe de respect et de gratitude.

Aux chers parents. Ma réussite professionnelle a été basée sur votre soutien inébranlable et votre amour inconditionnel. Je vous remercie pour vos conseils, vos encouragements et votre dévouement inébranlable. Je vous adresse mes réussites avec

une reconnaissance sincère et un amour inconditionnel.

# **Développement de mousse biosourcée à base d'huiles alimentaires**

## **Résumé**

La demande croissante de matériaux durables et respectueux de l'environnement a conduit au développement de nouvelles mousses biosourcées pour remplacer les mousses synthétiques issues de la pétrochimie. Ce travail vise à utiliser une ressource abondante, mais souvent négligée, l'huile végétale, comme matière première pour la fabrication d'une mousse de polyuréthane biosourcée .

L'étude se divise en trois étapes : la synthèse d'un polyol à partir d'un mélange d'huile végétale, de glycérol et d'acide phtalique ; et la réaction de ce polyol avec du diisocyanate de méthylène divinyle (MDI) en présence d'eau et d'un catalyseur pour produire une mousse de polyuréthane. Chaque étape a été soigneusement optimisée pour produire une mousse légère, flexible et durable, répondant aux critères d'application.

Les résultats expérimentaux révèlent que la mousse obtenue présente une structure homogène et poreuse, avec une élasticité modérée et sa résistance à la compression et sa vitesse de rebond sont lentes. Les principales méthodes de la transformation des matières premières aux biopolyols ont été analysées en détail. Cette recherche met en évidence le potentiel des huiles végétales usagées comme matières premières alternatives et facilement disponibles pour le développement de produits respectueux de l'environnement.

**Mots clés :** Biosource, Huile végétale, Polyol, MDI, Polyuréthane, Développement durable.

# **Development of bio-sourced foam based on edible oils**

## **Abstract**

The growing demand for sustainable and environmentally friendly materials has led to the development of new bio-based foams to replace synthetic foams derived from petrochemicals. This work aims to use an abundant but often overlooked resource, vegetable oil, as a raw material for the manufacture of bio-based polyurethane foam.

The study is divided into three steps: the synthesis of a polyol from a mixture of vegetable oil, glycerol, and phthalic acid; and the reaction of this polyol with methylene divinyl diisocyanate (MDI) in the presence of water and a catalyst to produce polyurethane foam. Each step was carefully optimized to produce a lightweight, flexible, and durable foam that meets the application criteria. Experimental results reveal that the resulting foam has a homogeneous and porous structure, moderate elasticity, and slow compressive strength and rebound rate. The main methods for converting raw materials into biopolymers were analyzed in detail. This research highlights the potential of used vegetable oils as alternative and readily available raw materials for developing environmentally friendly products.

**Keywords:** Biosource, Vegetable Oil, Polyol, MDI, Polyurethane, Sustainable Development.

# تطویر رغوة ذات مصدر حیوي تعتمد على الزيوت الصالحة للأكل

## ملخص

أدى الطلب المتزايد على المواد المستدامة والصديقة للبيئة إلى تطوير رغاوي حيوي جديد لتحل محل الرغاوي الاصطناعية المشتقة من البتروكيميات. يهدف هذا العمل إلى استخدام مورد وفير، وإن كان غالباً ما يُغفل، وهو الزيت النباتي، كمادة خام لتصنيع رغوة البولي يوريثان الحيوية.

تنقسم الدراسة إلى ثلاثة خطوات: تخلق بوليول من خليط من الزيت النباتي والجلسرین وحمض الفثاليك؛ وتفاعل هذا البوليول مع ميثيلين ديفينيل ديزوسيلانات (MDI) في وجود الماء ومحفز لإنتاج رغوة البولي يوريثان. تم تحسين كل خطوة بعناية لإنتاج رغوة خفيفة الوزن ومرنة ومتينة تلبي معايير التطبيق. ظهر النتائج التجريبية أن الرغوة الناتجة تتميز ببنية متجانسة ومسامية، ومرنة متوسطة، وقوة ضغط ومعدل ارتداد بطيئين. وقد تم تحليل الطرق الرئيسية لتحويل المواد الخام إلى بوليولات حيوية بالتفصيل. يسلط هذا البحث الضوء على إمكانات الزيوت النباتية المستخدمة كمواد خام بديلة ومتاحة بسهولة لتطوير منتجات صديقة للبيئة.

**الكلمات المفتاحية:** مصادر حيوية، زيت نباتي، بوليول، مستحلب متعدد التكافؤ، بولي يوريثان، التنمية المستدامة

# Table des matières

**Liste d'abréviation**

**Liste de figure**

**Liste de tableau**

**Introduction..... 1**

## **Partie théorique**

**Chapitre 01 : Revue bibliographique**

**Partie 01 : Généralité sur La mousse de polyuréthane synthétique**

1. Définition.....	4
2. L'histoire de la mousse de polyuréthane : de l'erreur au matériau miracle.....	4
3. Mousses de polyuréthane souples et rigides.....	6
4. Matériaux.....	6
4.1 polyols.....	7
4.2 isocyanates.....	9
4.3 catalyseurs.....	12
4.3.1. Mécanisme du catalyseur à base de métaux.....	13
4.4 agents gonflant.....	14
4.5 tensioactifs.....	15
5. Chimie fondamentale du polyuréthane.....	15
6. Mécanisme de formation des cellules et d'ouverture des pores.....	17
7. Polyuréthane conventionnel vs polyuréthane biosourcés.....	18

**Partie 02 : Généralité sur La mousse de polyuréthane biosourcés**

1. Matières premières biosourcées.....	19
2. Des matières premières aux biopolyols.....	20
3. Bio-additifs dans les mousses de polyuréthane.....	25

## **Chapitre 02 : Matériels et Méthodes**

1. Matériels végétale et chimique.....	28
1.1 Origine des matières premières.....	28
1.2 Réactifs et matières premières.....	28
1.3 Verrerie et équipements.....	28
2. Méthodologie.....	29
2.1 Synthèse du polyol biosourcé.....	29
2.1.1 Transestérification de l'huile avec le glycérol.....	29
2.1.2 Estérification avec l'acide phtalique.....	30
2.2 Formulation de la mousse polyuréthane.....	31
2.2.1 Polymérisation : formation de la mousse.....	31

## **Chapitre 03 : Résultas et Discussion**

1. Aspect visuel et morphologie.....	35
2. Analyse de l'expansion et du gonflement.....	35
2.1 Observations.....	35
2.2 Interprétation.....	35
3. Texture et cohésion mécanique.....	36
3.1 Résultat.....	36
3.2 Interprétation.....	36
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>37</b>
<b>Références bibliographique.....</b>	<b>40</b>

# Liste des abréviations

Abréviation	Signification
PU	Polyuréthane
FPU	Flexible Polyurethane (Polyuréthane Flexible)
CPU	Conventional Polyurethane (Polyuréthane Conventionnel)
PU biosourcé	Polyuréthane d'origine biosourcée
MDI	Méthylène Diphenyl Diisocyanate
TDI	Toluène Diisocyanate
OH	Groupe Hydroxyle
NCO	Groupe Isocyanate
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peroxyde d'hydrogène
EO	Oxyde d'éthylène (Ethylene Oxide)

PO	Oxyde de propylène (Propylene Oxide)
PTMEG	Polytétraméthylène éther glycol
MDA	Méthylènediphényldiamine
HCl	Acide chlorhydrique
KOH	Hydroxyde de potassium
DABCO	1,4-Diazabicyclo[2.2.2]octane
COV	Composés Organiques Volatils
C=O	Double liaison carbone-oxygène
R	Radical organique (chaîne latérale)
NaOH	Soude caustique (Hydroxyde de sodium)
KMnO <sub>4</sub>	Permanganate de potassium
UV	Ultraviolet
HAU	huiles alimentaires usagées
IOH	indice d'hydroxyle optimal

FTIR

Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier

TGA

Analyse Thermogravimétrique

SEM

Microscopie Électronique à Balayage

# Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Otto Bayer, le chimiste allemand qui a découvert en 1937 le procédé de polyaddition pour la synthèse des polyuréthanes.....	5
<b>Figure 2:</b> Polymérisation par ouverture de cycle catalysée par une base pour EO et PO.....	7
<b>Figure 3:</b> Représentation schématique de la préparation de polyester polyol.....	7
<b>Figure 4:</b> Schéma de préparation du TDI.....	10
<b>Figure 5:</b> Schéma de préparation du MDI.....	11
<b>Figure 6:</b> Mécanismes de formation d'uréthane catalysés par une amine tertiaire : (a) mécanisme de Baker et (b) mécanisme de Farka.....	14
<b>Figure 7:</b> Chimie de la mousse FPU : (a) configurations de résonance de l'isocyanate, (b) réaction de gélification et (c) réaction de soufflage.....	16
<b>Figure 8:</b> Représentation schématique de la morphologie de la mousse FPU... <td>17</td>	17
<b>Figure 9:</b> Applications des matériaux en polyuréthane dans divers secteurs.....	19
<b>Figure 10:</b> Voies de transformation des huiles végétales pour produire des biopolyols.....	21
<b>Figure 11:</b> Voies de transformation de la biomasse lignocellulosique pour produire des biopolyols.....	24
<b>Figure 12:</b> Le matereil dont nous avons besoin.....	29
<b>Figure 13 :</b> Bécher contenant la quantité mesurée de polyol biosourcé avant initiation de la réaction.....	31
<b>Figure 14 :</b> Bécher contenant la quantité d'isocyanate (MDI).....	32
<b>Figure 15 :</b> Bécher renfermant la triéthylamine.....	32
<b>Figure 16 :</b> Éprouvette graduée 5 mL d'eau distillée.....	33
<b>Figure 17 :</b> Coulée du mélange réactionnel dans un moule en carton.....	33
<b>Figure 18 :</b> Aspect macroscopique de la mousse finale.....	35

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Comparaison générale entre les polyols polyéther et polyester.....	9
<b>Tableau 2:</b> Comparaison entre TDI et MDI.....	12
<b>Tableau 3:</b> comparatif approfondi Mousse biosourcée vs Mousse synthétique.	26

# *Introduction*

## **Introduction générale**

---

Au cours des cinq dernières années, la mousse de polyuréthane (PU) d'origine pétrochimique est devenue un matériau de référence dans les secteurs de la décoration, de l'isolation et des produits alimentaires, grâce à sa douceur, sa flexibilité et sa durabilité (Foam, 2023). Cependant, cette technologie supérieure repose sur l'exploitation de ressources fossiles non renouvelables, l'utilisation de diisocyanates toxiques, la production de mélanges de plastiques renouvelables et des effets perturbateurs incompatibles avec les objectifs de neutralité carbone. L'économie circulaire est un principe fixé par la communauté internationale ( Isocyanates in the workplace: exposure, effects, and control , 2022 , Kemonia et Piotrowska, 2020 ,Zhang et al., 2025).

Parallèlement, la reconstruction rapide et l'industrie agricole produisent chaque année des millions de litres de pétrole, qui ne sont pas éliminés comme additifs alimentaires (HAU), car les hydrocarbures modifiés contribuent à la pollution des sols et des eaux (Artemis, 2025). Cette huile, riche en triglycérides, représente une matière carbonée abondante, précieuse et valorisable, partiellement ou totalement remplacable par des polyols pétroliers issus de sources de polyuréthane (Jahangir, 2024, Maisonneuve et al., 2016).

Dans ce contexte, cette étude vise à démontrer qu'il est possible de transformer un lipide localisé en un additif précieux, offrant une alternative aux éponges synthétiques classiques. En d'autres termes, l'enjeu est de concilier gestion durable des déchets, polymères respectueux de l'environnement et création d'un produit performant et compétitif. L'éponge finale doit offrir un pouvoir absorbant élevé, de bonnes propriétés d'humidité/mouillage, une flexibilité et une fonction mécanique suffisante pour des applications ménagères répétées.

Ces technologies complexes sont au cœur de ce problème de mémoire : souhaitez-vous transformer des huiles alimentaires usagées en mousse polyuréthane biosourcée ?

Afin de personnaliser les composants de la réponse, les travaux s'articulent autour de trois axes intégrés :

- Synthèse d'un polyol biosourcé :

Valorisation de l'HAU positionnel par estérification et transestérification simultanée avec du glycérol et de l'acide phthalique, pour obtenir un polyol biosourcé.

## **Introduction générale**

---

- Détails de la mousse PU :

Le polyol réagit avec le MDI en présence d'eau (agent gonflant) et de catalyseurs aminés, et son expansion peut être contrôlée pour stabiliser la structure cellulaire.

- Caractérisation et validation :

Analyses FTIR, ATG et MEB pour confirmer la composition et la micromorphologie de l'uréthane ; mesures de densité apparente, d'absorption totale et de cycles de relaxation des contraintes pour évaluer l'utilisabilité (Sharma, 2023, Bashyal, 2023).

# *Chapitre 01*

# *Revue bibliographie*

**Partie 01 : Généralité sur La mousse de polyuréthane synthétique****1. Définition**

Il est considéré comme un matériau essentiel dans nos vies. On le retrouve dans tous les foyers, notamment dans les matelas, les meubles rembourrés et les sièges de voiture. Cependant, beaucoup de gens l'ignorent. Ses applications sont infinies, depuis les petits produits de première nécessité comme les éponges de cuisine et les fournitures médicales jusqu'aux grands filtres et systèmes d'humidification respectueux de l'environnement et silencieux.

Le polyuréthane est l'un des principaux composants d'une famille très diversifiée de polymères ou de plastiques. Elle peut être solide, conserver une structure à cellules ouvertes, ou même prendre la forme d'une mousse. La mousse peut être molle ou dure.

En termes simples, les fabricants produisent de la mousse de polyuréthane à partir de polyols et de d'isocyanates, deux produits dérivés du pétrole brut. Une série d'additifs est nécessaire pour produire des produits en mousse de polyuréthane de haute qualité après la première utilisation. (EUROPUR, 2023)

**2. L'histoire de la mousse de polyuréthane : de l'erreur au matériau miracle**

Aujourd'hui, la mousse de polyuréthane peut être qualifiée de matériau miracle en raison de sa polyvalence, de son adaptabilité à différentes densités et applications et de sa capacité à fournir confort et isolation dans une large gamme de produits. Mais tout a commencé par une erreur. (Sterling Manufacturing et Distribution, 2025).

Le polyuréthane remonte à 1937, grâce à Otto Bayer et son équipe chez Laboratoires Farbenindustrie en Allemagne. Tout d'abord, une expérience a été menée : le chimiste Otto Bayer cherchait un procédé de fabrication de fibres synthétiques lorsqu'il s'est retrouvé confronté à un problème. (Sterling Manufacturing et Distribution, 2025).

« De petites quantités d'acide ont été introduites dans le mélange, ce qui a provoqué sa formation de mousse », explique Heinecke, fabricant de machines et de systèmes de polyuréthane. Après les premiers résultats, un collègue chimiste jugea avec mépris que le matériau était le mieux adapté à la fabrication d'une

imitation d'emmental. Otto Bayer et son équipe ne se laissèrent pas tenter : ils ajoutèrent de l'eau au mélange réactif, provoquant la séparation du dioxyde de carbone et la formation de minuscules bulles. C'est ainsi qu'est née la première mousse de polyuréthane. (Sterling Manufacturing et Distribution, 2025)



**Figure 1:** Otto Bayer, le chimiste allemand qui a découvert en 1937 le procédé de polyaddition pour la synthèse des polyuréthanes (*Otto Bayer, 2024*)

Le polyuréthane original est né de la réaction du composant diamine de la polyurée avec des diisocyanates aliphatiques, mais les glycols ont rapidement remplacé la polyurée, améliorant ses propriétés.

Sonnbrecher et Barth ont obtenu le premier brevet pour la mousse de polyuréthane flexible en 1942. Cette mousse a été produite par un processus simultané de formation de polyuréthane et de production de gaz impliquant du diisocyanate de toluène organique (TDI), un polyester aliphatique, de l'eau et des catalyseurs. Les isocyanates réagissent avec les groupes hydroxyles du polyester pour former du polyuréthane, tandis que le dioxyde de carbone, issu de la réaction des diisocyanates avec l'eau, crée la phase gazeuse. Au début, ce processus hautement exothermique provoquait des incendies et des brûlures, mais il a finalement été développé en un processus plus sûr en deux étapes qui commence par la préparation du prépolymère puis par la production de gaz.

En 1956, Du Pont a introduit les polyéther polyols sous le nom de polytétraméthylène éther glycol (PTMEG). BASF et Dow Chemicals ont ensuite

développé le polyalkylène glycol, le polyol le plus utilisé aujourd’hui dans la fabrication du polyuréthane. Bien que la mousse de polyuréthane nécessite traditionnellement un processus en deux étapes, les innovations en matière de catalyseurs et de tensioactifs ont simplifié la production en une seule étape. De nouveaux développements dans les agents gonflants et les isocyanates polymères ont amélioré la transition de la mousse de polyuréthane flexible à la mousse de polyuréthane rigide. (Materials, Production & Properties of Polyurethane Foam, 2020)

### **3. Mousses de polyuréthane souples et rigides :**

Les mousses de polyuréthane rigides et flexibles sont les deux principales variétés de mousse de polyuréthane. Les polyéthers ou les polyesters polyols peuvent être utilisés pour mouler ou créer des feuilles de mousse de polyuréthane flexible. (Sterling Manufacturing et Distribution, 2025)

La mousse perméable et flexible présente un coefficient de retrait élevé et une faible densité. (Sterling Manufacturing et Distribution, 2025)

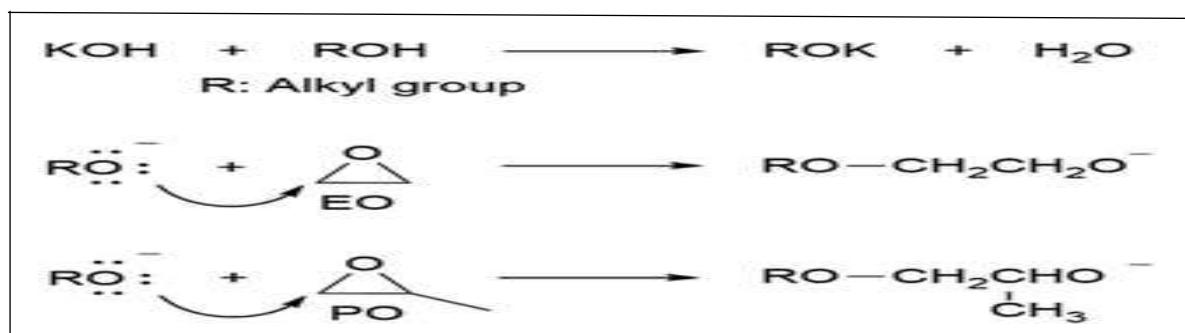
Les mousses de polyuréthane rigides se caractérisent par des densités plus élevées et une plus grande proportion de structures à cellules fermées. Ces mousses à cellules fermées offrent une faible conductivité thermique, une résistance à l'eau et une capacité de charge élevée en empêchant efficacement l'air de s'échapper. De plus, des techniques de mise en feuille et de moulage, qui peuvent impliquer le laminage et la pulvérisation, sont utilisées pour créer ces mousses. (Sterling Manufacturing et Distribution, 2025)

### **4. Matériaux :**

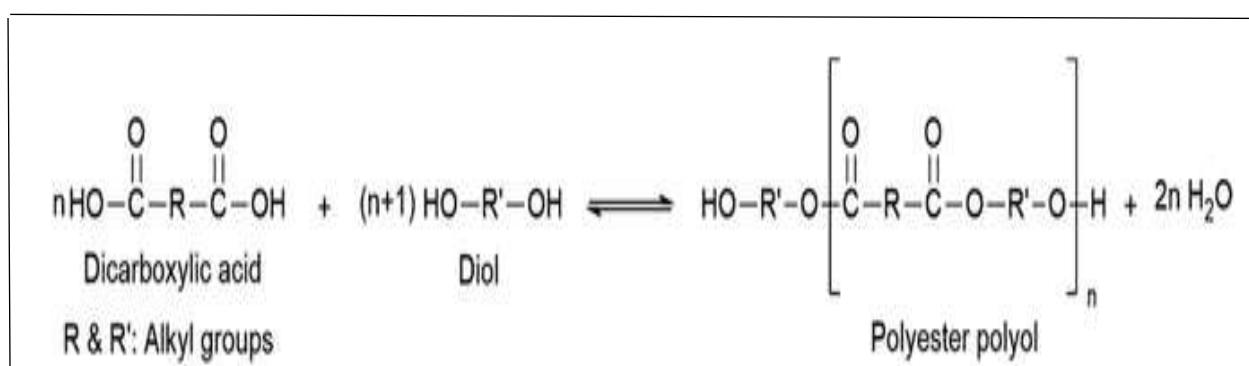
Les polyols, les diisocyanates, les agents gonflants, les tensioactifs, les catalyseurs sont les 5 principaux constituants des mousses de polyuréthane. La chaîne polymère principale de la mousse est créée par la réaction des polyols et des diisocyanates. Le gaz produit par l'agent gonflant crée la structure poreuse de la mousse. Afin de stabiliser le système polymère et de réguler la vitesse de réaction, des tensioactifs, des catalyseurs sont essentiels. Selon l'usage prévu, des additifs supplémentaires sont ajoutés pour améliorer les propriétés spécifiques de la mousse. (Maamoun et al., 2025).

#### 4.1 Polyols :

L'industrie des mousses a connu une révolution grâce à cette classe de matériaux polymères inventifs et adaptables. Ils sont largement utilisés dans la production de PU. Ils constituent la structure de base pour la production d'articles en mousse confortables, durables et de haute qualité, indispensables à notre quotidien. Ces substances sont généralement fabriquées à partir de pétrole naturel ou de pétrole brut issu de ressources renouvelables. Elles possèdent au moins deux groupes hydroxyle (-OH), qui offrent les sites réactifs nécessaires à la production de mousse PU. Les polyesters et les polyéthers polyols sont les deux principaux types de polyols. L'oxyde d'éthylène (OE) et l'oxyde de propylène (PO) subissent une polymérisation par ouverture de cycle catalysée par une base pour produire du polyéther polyol, comme illustré à la figure 2. Inversement, l'interaction d'acides dibasiques et de diols produit du polyester polyol (figure 3). (Maamoun et al., 2025)



**Figure 2:** Polymérisation par ouverture de cycle catalysée par une base pour EO et PO. (Maamoun, A.A,2025)



**Figure 3:** Représentation schématique de la préparation d'un polyester polyol. (Maamoun, A.A, 2025)

Les polyols se présentent sous une large gamme de formes, chacune présentant des avantages et des caractéristiques uniques qui les rendent adaptés à diverses utilisations. L'un des principaux atouts des polyols pour la fabrication de mousse FPU réside dans leur capacité à conférer flexibilité et robustesse au produit fini. Les fabricants peuvent personnaliser les caractéristiques de la mousse, telles que les différentes densités, les réglages de compression et les capacités de charge, afin de répondre à des applications spécifiques, en choisissant soigneusement le type et la teneur en polyols. (Maamoun et al., 2025)

**Polyols de polyéther :** Pour créer des polyols à base de polyéther, largement utilisés dans le secteur des mousse FPU, l'OE et l'OP sont des monomères indispensables. La polymérisation par ouverture de cycle catalysée par une base permet de polymériser ces deux oxydes. Ce procédé utilise un catalyseur, tel que l'hydroxyde de potassium, et un initiateur, tel que l'eau, la glycérine, l'éthylène glycol, le sorbitol ou l'éthylènediamine, contenant des atomes d'hydrogène actifs. La polymérisation par ouverture de cycle catalysée par une base de l'OE et de l'OP est illustrée à la figure 2.

Le polyol de polyéther obtenu contient des groupes éther ( $-O-$ ) en chaînes droites ou ramifiées. De plus, le polymère dérivé de l'OP contient des groupes hydroxyles secondaires, car le carbone le moins encombré du cycle est plus accessible aux attaques nucléophiles, tandis que le polymère EO obtenu contient des groupes hydroxyles primaires. (Maamoun et al., 2025)

**Polyols à base de polyester:** La synthèse du PU destiné aux revêtements, adhésifs, mastics et applications élastomères nécessite des polyesters polyols, composants essentiels de l'industrie du PU. La polycondensation entre diols et acides dicarboxyliques ou leurs dérivés produit des polyesters polyols. Le schéma standard de la procédure de fabrication des polyesters polyols est illustré à la figure 3. Bien que cette réaction puisse se produire sans catalyseur, l'utilisation de catalyseurs spécifiques permet d'obtenir les meilleurs résultats en termes de réduction de l'acidité et d'accélération des temps de réaction. L'acétate de zinc, l'acide p-toluène sulfonique et les composés d'étain (octoate stanneux) comptent parmi les catalyseurs les plus connus. Les industries du bâtiment et de l'isolation privilégient les mousse PU à base de polyester en raison de leurs qualités isolantes supérieures, de leur durabilité, de leur stabilité dimensionnelle et de leurs performances mécaniques. De plus, les revêtements et adhésifs PU sont souvent fabriqués à partir de polyester polyols. Les groupes esters ( $-COO-$ )

de la structure polyester confèrent une adhérence supérieure aux revêtements et adhésifs finaux. De plus, les revêtements PU à base de polyester présentent une surface lisse et brillante, une bonne résistance aux produits chimiques, à l'abrasion et aux conditions difficiles, et conviennent à de nombreuses applications de collage. (Maamoun et al., 2025)

Le secteur des élastomères PU est un autre domaine où les polyester polyols sont utiles. Les élastomères à base de polyester polyol présentent des qualités mécaniques exceptionnelles, notamment une forte résistance à la traction et au déchirement. Ces élastomères sont utilisés dans divers secteurs où la flexibilité et la durabilité sont essentielles, comme la production industrielle, l'automobile et la chaussure. Par conséquent, les exigences particulières de l'application, telles que les qualités de mousse souhaitées et les conditions climatiques, déterminent le polyéther ou le polyester polyol le plus adapté à la production de mousse PU. (Maamoun et al., 2025)

**Tableau 1:** Comparaison générale entre les polyols polyéther et polyester.  
(Maamoun, A. A., Arafa, M., et Esawi,A. M. K.2025).

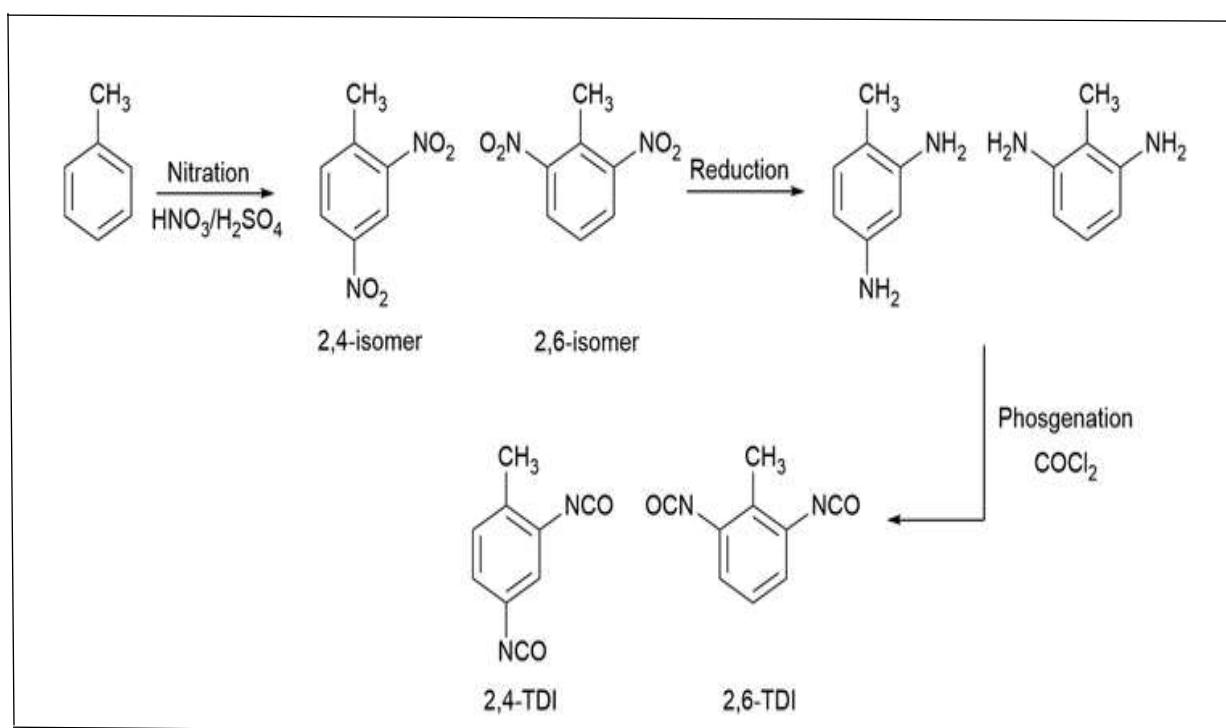
Caractéristiques	polyols de polyéther	polyols de polyester
Structure chimique	Chaîne linéaire ou ramifiée avec liaisons éther (-O-)	Chaîne linéaire avec liaisons ester (-COO)
Réactivité	Faible viscosité, réactivité plus élevée	Viscosité plus élevée, réactivité plus lente
Stabilité hydrolytique	Excellent stabilité hydrolytique	Faible stabilité hydrolytique
Caractéristiques	Flexibilité	Rigidité

## 4.2 Isocyanates :

Composants clés de la chimie du PU, les isocyanates (-NCO) sont connus pour leur grande réactivité et leur flexibilité. Le méthylène diphenyl diisocyanate (MDI) et le toluène diisocyanate (TDI) sont deux des diisocyanates les plus couramment utilisés dans la fabrication de mousse PU. Alors que le MDI existe sous de nombreuses formes isomères, telles que le 2,2'-MDI, le 2,4-MDI et le 4,4'-MDI, le TDI est un mélange de 2,4-TDI et de 2,6-TDI. En présence de catalyseurs, de tensioactifs et d'un agent gonflant, les isocyanates réagissent avec

les polyols pour créer une structure en réseau tridimensionnelle avec des pores liés. Cette réaction de réticulation confère à la mousse PU les caractéristiques physiques souhaitées, notamment l'élasticité, la résistance et la durabilité. (Maamoun et al., 2025).

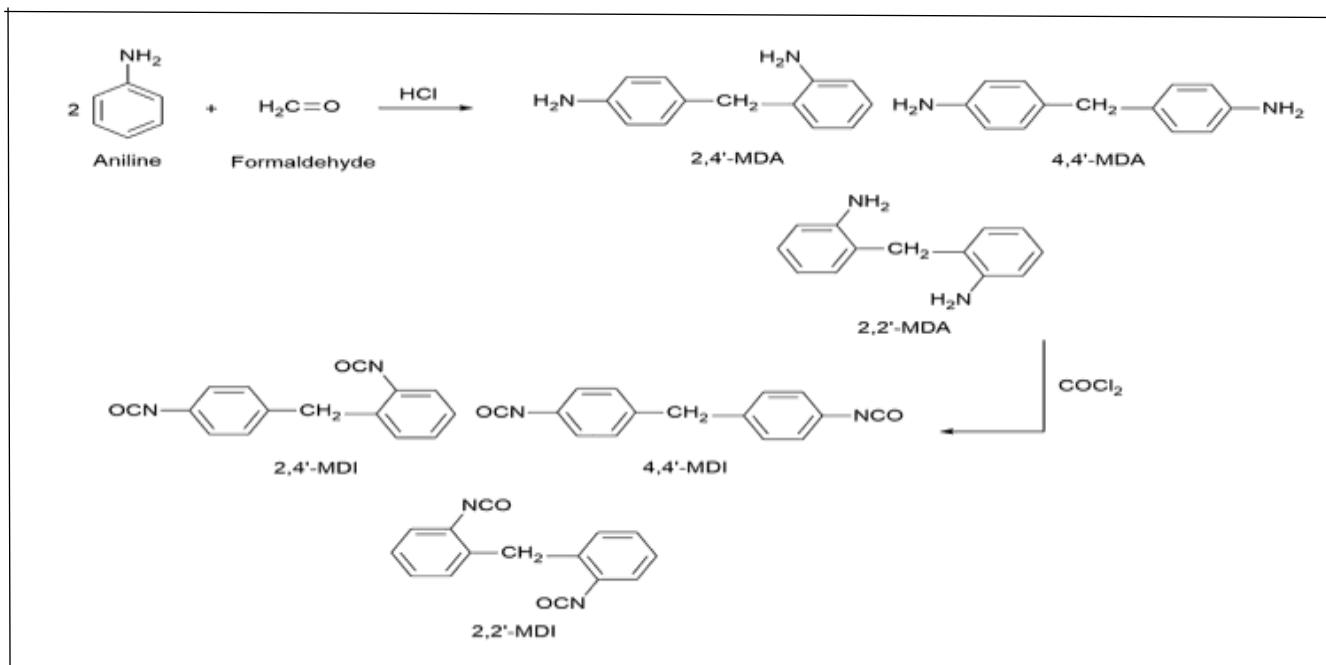
La fabrication du TDI implique généralement trois procédés. La procédure de préparation du TDI est illustrée à la figure 4. Une combinaison d'isomères de 2,4- et 2,6-nitrotoluène est d'abord créée par nitration du toluène. Le procédé de nitration consiste à faire réagir le toluène avec de l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) et de l'acide nitrique concentré ( $HNO_3$ ), puis à séparer et purifier les isomères de nitrotoluène. Le mélange de nitrotoluène est hydrogéné lors de la deuxième étape, également appelée « réduction ». Un catalyseur métallique, généralement du palladium, et de l'hydrogène gazeux convertissent les isomères de nitrotoluène en toluènediamines correspondantes. Après réaction avec du phosgène ( $COCl_2$ ), ces toluènediamines produisent du TDI, une combinaison d'isomères de 2,4- et 2,6-TDI. Le mélange de TDI obtenu est raffiné pour obtenir des rapports isomériques spécifiques afin d'obtenir le produit souhaité. (Maamoun et al., 2025).



**Figure 4:** Schéma de préparation du TDI. (Maamoun et al., 2025)

Cependant, comme l'illustre la figure 5, le MDI est obtenu par une réaction en deux étapes entre l'aniline et le formaldéhyde, suivie d'une phosgénéation. Tout d'abord, le formaldéhyde et l'aniline sont condensés pour former des méthylènediphényldiamines (MDA). Cette étape implique la présence d'un catalyseur acide approprié, tel que l'acide chlorhydrique (HCl), dans des conditions de pression et de température soigneusement régulées. Trois isomères primaires sont produits par cette réaction : le 2,2'-MDA, le 2,4'-MDA et le 4,4'-MDA. Différentes quantités de ces composés sont produites en fonction du rapport aniline/formaldéhyde, de la température du procédé et de la concentration du catalyseur acide. En utilisant le chlorobenzène comme solvant, le mélange d'isomères de MDA est phosgéné avec du COCl<sub>2</sub> lors de la deuxième étape du procédé pour créer du MDI. Le phosphogène et d'autres réactions chimiques étant dangereux, la synthèse du MDI est soumise à des règles strictes de sécurité et d'environnement. Les caractéristiques physicochimiques du MDI et du TDI sont comparées dans le tableau 3. (Maamoun et al., 2025).

Les caractéristiques physicochimiques et la teneur en isocyanate du MDI diffèrent de celles du TDI. Le degré de réticulation, la robustesse, la densité, la réactivité et l'usage prévu doivent être pris en compte lors du choix d'un isocyanate. (Maamoun et al., 2025).



**Figure 5:** Schéma de préparation du MDI. (Maamoun et al., 2025)

**Tableau 2:** Comparaison entre TDI et MDI. (Maamoun, A. A., Arafa, M., et Esawi,A. M. K.2025).

Caractéristiques	TDI	MDI
Couleur	Apparente Incolore à jaune pâle	Brun
M wt (g mol <sup>-1</sup> )	174.20	250.25
Structure	Mélange de 2,4- et 2,6-TDI	Mélange de 2,2'-, 2,4'-et 4,4'-MDI
Viscosité	Viscosité plus faible	Viscosité plus élevée
Réactivité	Plus réactif	Moins réactif
Toxicité	Plus toxique	Moins toxique
Densité	Densité modérée	Densité élevée
Utilisations	Principalement pour la production de mousse FPU	Principalement pour la production de mousse PU semi-rigide et rigide

#### 4.3 Catalyseurs :

Afin de contrôler la réaction exothermique et le processus de polymérisation, ainsi que d'accélérer la réaction entre le polyol et l'isocyanate, des catalyseurs sont nécessaires à la création de mousse PU. La réaction de gélification et la réaction de gonflement sont les deux principales réactions impliquées dans la formulation de la mousse PU.(Maamoun et al., 2025).

Les diisocyanates et les polyols se combinent pour former des liaisons uréthane lors de l'étape de gélification (ou polymérisation). D'autre part, l'isocyanate se combine à l'eau pour former du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et de la polyurée lors de la réaction de génération de gaz (ou de gonflement). De nombreuses variables, notamment la température, le type et la concentration du catalyseur, affectent la cinétique de ces réactions. Cependant, les vitesses des deux réactions doivent être équilibrées et régulées afin de créer des mousses de haute qualité. (Maamoun et al., 2025).

Supposons que la réaction de gélification soit plus lente que la réaction de gonflement. Dans ce cas, des fissures internes et un effondrement de la mousse peuvent résulter de l'expansion du gaz de réaction avant que le polymère ne soit

suffisamment résistant pour le contenir. En revanche, les cellules de la mousse restent fermées et la mousse se contracte en refroidissant si la polymérisation est plus rapide que la réaction de production de gaz.

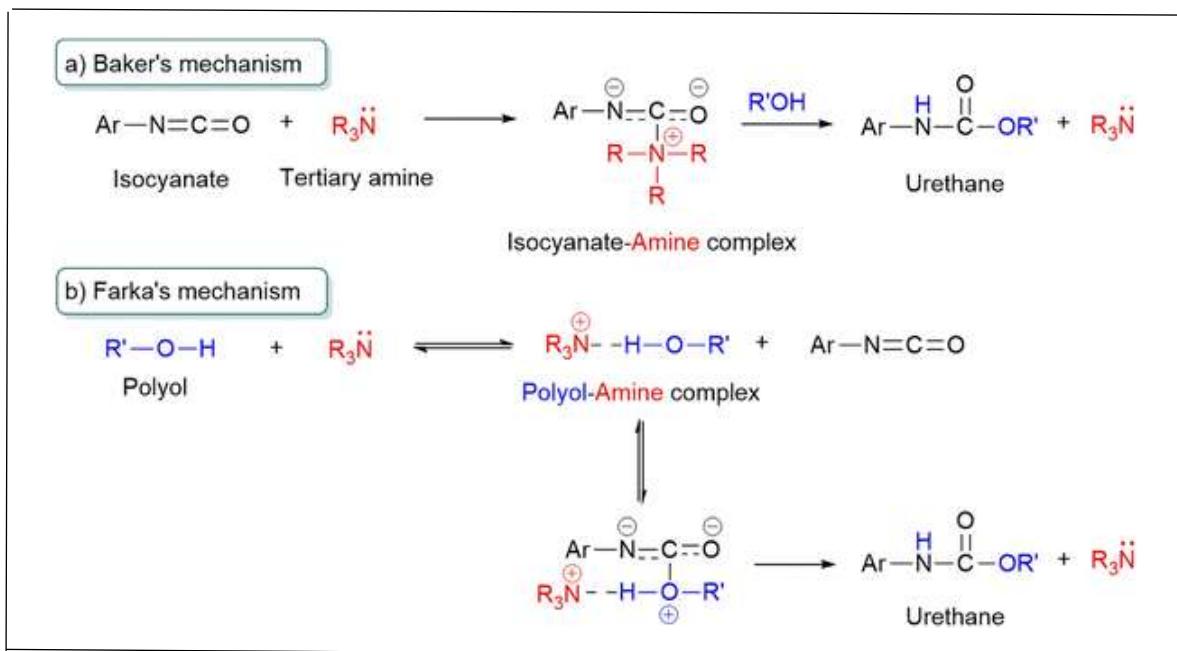
La structure de la mousse sera dominée par des cellules ouvertes uniformes si ces deux réactions sont correctement équilibrées. La résistance à la diffusion est faible dans les cellules ouvertes, et les pressions cellulaires s'équilibrent rapidement sans entraîner de retrait important de la mousse. Afin d'équilibrer les deux réactions, les catalyseurs à base de métaux et d'amines sont les deux principaux types de catalyseurs souvent utilisés dans la fabrication de mousse FPU.(Maamoun et al., 2025).

#### **4.3.1. Mécanisme du catalyseur à base de métaux :**

L'octoate stanneux (2-éthylhexanoate d'étain(II)) est fréquemment utilisé comme catalyseur de gélification pour accélérer la réaction de polymérisation dans la fabrication de mousses FPU. On pense généralement que l'octoate stanneux agit comme un acide de Lewis en interagissant avec les sites basiques des molécules -OH et -NCO. Si le polymère ne durcit pas suffisamment, la mousse se rompt ou s'affaisse par manque de catalyseur de gélification. À l'inverse, une utilisation excessive de ce dernier entraîne un rétrécissement et une fermeture des cellules. Ainsi, la réaction de réticulation catalysée par l'octoate stanneux est essentielle pour déterminer les caractéristiques physiques de la mousse. La capacité de la mousse à conserver sa forme, à résister aux contraintes de compression et à la déchirure est renforcée par sa structure réticulée.(Maamoun et al., 2025).

Mécanisme catalytique basé sur les amines. L'un des catalyseurs à base d'amine tertiaire les plus importants et les plus utilisés est le 1,4-diazobicyclo[2,2,2]octane (DABCO), qui favorise efficacement les réactions isocyanate-polyol et isocyanate-eau. Cependant, les amines tertiaires présentent plusieurs inconvénients, tels que leur forte volatilité et leur odeur désagréable de poisson. Le développement de catalyseurs non fugitifs a fait l'objet de nombreux efforts en raison des préoccupations environnementales croissantes liées à la réduction des émissions de composés organiques volatils (COV). Pour la production d'uréthane catalysée par une amine, deux procédés sont proposés. Selon le mécanisme original de Baker, un isocyanate et un catalyseur à base d'amine tertiaire forment un complexe, qui est ensuite attaqué par le nucléophile (voir Fig. 6a). Le deuxième est le postulat de Farka, qui stipule que l'amine interagit avec une source de protons, le polyol, pour former un complexe qui se combine ensuite avec

l'isocyanate pour produire de l'uréthane par protonation du catalyseur (voir Fig. 6b). (Maamoun et al., 2025).



**Figure 6:** Mécanismes de formation d'uréthane catalysés par une amine tertiaire : (a) mécanisme de Baker et (b) mécanisme de Farka. (Maamoun et al., 2025).

#### 4.4 Agents gonflants :

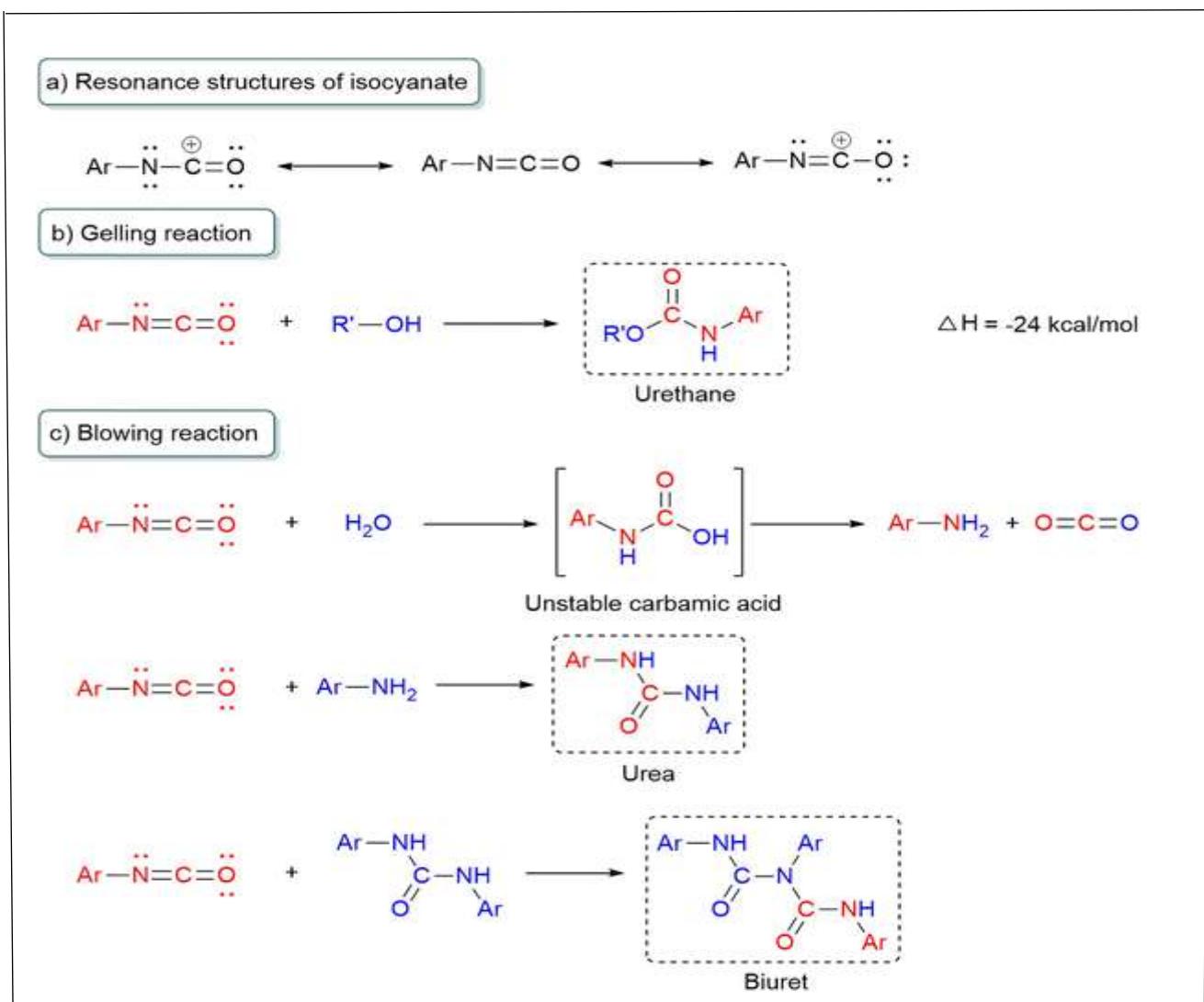
Toutes les formulations de mousse FPU nécessitent de l'eau comme agent d'expansion chimique. Cependant, compte tenu des conséquences potentielles d'une production excessive de chaleur et des risques d'incendie associés, son utilisation doit être envisagée avec prudence. L'urée, le biuret et le CO<sub>2</sub> sont issus d'un processus chimique qui se produit lorsque l'eau est exposée à un isocyanate. En tant qu'agent gonflant, ce CO<sub>2</sub> favorise le développement et la croissance des cellules. En revanche, la mousse est produite avec des agents gonflants physiques à bas point d'ébullition, car ils produisent des bulles de gaz et favorisent la formation des structures cellulaires de la matrice polymère. Cependant, les agents gonflants physiques conventionnels, tels que les halocarbures et les hydrocarbures, présentent de graves dangers pour l'environnement. Leurs caractéristiques physiques et leur composition chimique les rendent susceptibles d'aggraver le changement climatique mondial en provoquant la dégradation des océans et l'appauvrissement de la couche d'ozone. (Maamoun et al., 2025).

**4.5 Tensioactif :**

Dans la fabrication des mousse FPU, un copolymère polydiméthylsiloxane-polyéther est fréquemment utilisé comme tensioactif. En raison de ses nombreuses utilisations, ce tensioactif à base de silicone est essentiel à la production de mousse FPU. Pour obtenir une structure de mousse plus homogène et stable, il commence par réduire la tension superficielle. De plus, il améliore la compatibilité des composants et la qualité globale de la mousse en émulsifiant l'interface polyol-isocyanate. De plus, il maintient l'intégrité de la structure de la mousse tout au long du processus de durcissement en stabilisant les fenêtres cellulaires. Enfin, il favorise la formation de bulles lors du mélange, ce qui permet une répartition plus uniforme et précise des bulles d'air de la mousse.(Maamoun et al., 2025).

**5. Chimie fondamentale du polyuréthane :**

Dans la chimie du polyuréthane, un groupe alcool (OH) réagit avec un groupe isocyanate (NCO) pour former la liaison uréthane (-NHCOO). Pour comprendre le processus dans son ensemble, il est essentiel de comprendre le groupe isocyanate. Le groupe ( $-N[$ double liaison, longueur en m] $]C[$ double liaison, longueur en m] $]O$ ) est présent dans les molécules d'isocyanate et réagit avec les atomes d'hydrogène liés à des atomes plus électronégatifs que le carbone. Les configurations de résonance (Fig. 7a), où l'atome de carbone a une faible densité électronique, l'atome d'oxygène une densité électronique élevée et l'atome d'azote une charge négative intermédiaire, expliquent la forte réactivité du groupe isocyanate avec les molécules hydrogénées. Grâce à la double liaison carbone-azote ( $N[$ double liaison, longueur en m] $]C$ ), les isocyanates réagissent avec les composés hydrogénés. L'atome de carbone électrophile est attaqué par le noyau nucléophile des composés hydrophiles, tels que l'atome d'azote des amines ou l'atome d'oxygène des groupes hydroxyles. En revanche, l'atome d'azote des groupes -NCO reçoit une addition d'hydrogène. De plus, les groupes qui donnent des électrons rendent les groupes -NCO moins réactifs avec les substances hydrophiles, tandis que les groupes qui retirent des électrons les rendent plus réactifs. Par conséquent, les isocyanates aliphatiques ( $R =$ alkyle) sont moins réactifs que les isocyanates aromatiques ( $R =$ aryle). De plus, la réactivité des isocyanates peut être modifiée par l'encombrement stérique des groupes voisins. (Maamoun et al., 2025).



**Figure 7:** Chimie de la mousse FPU : (a) configurations de résonance de l'isocyanate, (b) réaction de gélification et (c) réaction de soufflage. (Maamoun et al., 2025).

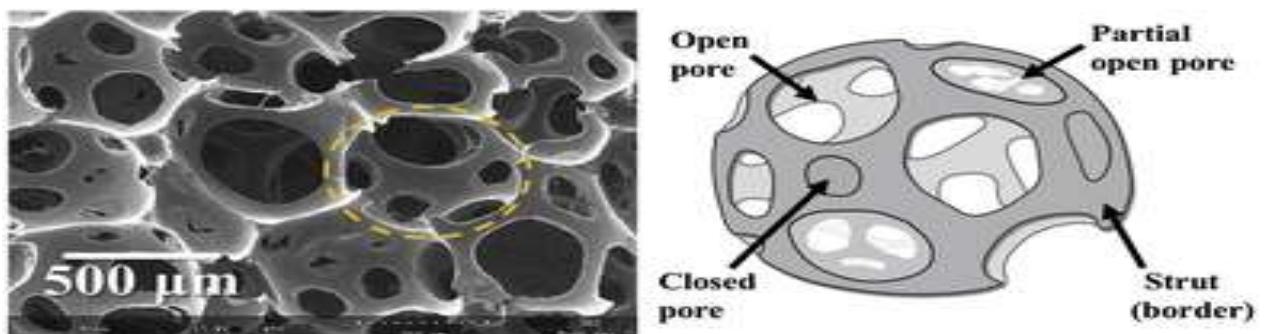
La formation d'uréthane, de  $\text{CO}_2$  et d'urée, ainsi que la formation de biuret sont quelques-unes des réactions importantes qui conduisent à la création de mousse PU. Une étape clé de la fabrication de la mousse PU est la réaction de gélification, qui produit de l'uréthane (Fig. 7). L'énergie produite par cette réaction exothermique est de 24 kcal mol<sup>-1</sup>. Cela se produit lorsque le groupe OH d'un polyol réagit avec un groupe fonctionnel NCO. Les liaisons uréthane (-NHCOO-) créées par cette réaction renforcent la structure polymère de la mousse. (Maamoun, A. A., Arafa, M., et Esawi,A. M. K.2025).

La réaction de gonflement, également appelée réaction isocyanate-eau, est la deuxième réaction la plus importante (Fig. 7). L'énergie libérée par ce processus

extrêmement exothermique est de 47 kcal mol<sup>-1</sup>. De l'acide carbamique est créé lors de cette réaction lorsque les groupes isocyanate se combinent à l'eau ; il se décompose rapidement en CO<sub>2</sub> et en une amine. Des groupes urée sont ensuite créés lorsque l'amine résultante interagit avec le groupe NCO. De plus, l'isocyanate peut créer une liaison biuret en présence d'urée. Des bulles se forment dans la matrice PU sous l'effet du CO<sub>2</sub> gazeux généré lors de cette réaction. Lors du durcissement, ces bulles grossissent et finissent par se tasser, créant ainsi la structure cellulaire de la mousse PU. La densité finale de la mousse, la taille des cellules et les caractéristiques mécaniques sont déterminées par la formation et le développement de ces bulles. (Maamoun et al., 2025).

## 6. Mécanisme de formation des cellules et d'ouverture des pores :

Pour répondre aux besoins de certaines applications, la structure poreuse d'une mousse FPU est essentielle. Comme le montre la figure 8, l'architecture d'une mousse FPU est composée de pores et de cavités. Il existe trois catégories de pores : fermés, partiellement ouverts et ouverts. (Maamoun, A. A., Arafa, M., et Esawi, A. M.K.2025).



**Figure 8:** Représentation schématique de la morphologie de la mousse FPU . (Maamoun et al., 2025).

Chaque type possède des propriétés distinctes qui influencent le comportement global de la mousse. La production rapide de CO<sub>2</sub> au début du processus de soufflage est à l'origine du gonflement des cavités. Tant qu'elles ne rencontrent pas d'autres cavités existantes, ces molécules de CO<sub>2</sub> continuent d'agrandir ces cavités. La formation de pores est due à l'incapacité des parois étroites des cavités à supporter une pression bidirectionnelle. À ce stade, le taux de drainage et l'épaisseur des parois des cavités ont un impact significatif sur les propriétés des pores. Les parois étroites des cavités se caractérisent principalement par la présence de trous ouverts en raison de leur faible résistance face aux pressions et

au taux de drainage rapide. Cependant, lorsque les parois de la cavité sont plus denses, elles ont tendance à durcir à un rythme de drainage plus lent avant de développer des pores complètement ouverts, ce qui entraîne un plus grand nombre de pores partiellement ouverts. De plus, si la réaction de gélification est terminée avant l'éclatement des parois de la cavité, les pores restent fermés.(Maamoun et al., 2025).

## **7. Polyuréthane conventionnel vs polyuréthane bio-biosourcés :**

Bien que le polyuréthane présente de nombreux avantages et applications, sa fabrication et son application présentent également des inconvénients majeurs. La demande mondiale croissante de polyuréthane dans de nombreux secteurs industriels génère des volumes importants de déchets lors de sa production et de son élimination, ce qui a un impact négatif sur l'environnement. Les déchets de polyuréthane sont généralement brûlés ou enfouis. Les polyuréthanes sont des substances extrêmement inflammables qui émettent beaucoup de fumée et de gaz dangereux, notamment du cyanure d'hydrogène et du monoxyde de carbone. Leur fabrication dépend également des combustibles fossiles, ce qui impacte l'environnement et l'économie en la rendant coûteuse et dépendante de l'approvisionnement et du prix du pétrole. Face au problème environnemental mondial, l'industrie du polyuréthane doit immédiatement réduire sa dépendance aux matériaux d'origine pétrolière. L'intérêt pour la création de nouveaux matériaux à partir de biomasse cellulosique, d'huiles végétales, de glucides, de protéines, de terpènes et de résines augmente compte tenu des effets néfastes des produits dérivés du pétrole. Le potentiel non exploité des déchets industriels et agricoles, souvent négligés en raison de leur faible valeur économique, présente également un potentiel important. Actuellement, ils sont brûlés, éliminés ou utilisés comme aliments pour animaux. Une solution plus économique, plus sûre et plus écologique consiste à utiliser ces déchets agricoles comme source renouvelable de biomatériaux plutôt que de recourir aux combustibles fossiles. Les substituts biosourcés sont généralement plus biodégradables que les polyuréthanes traditionnels, qui, de par leur origine naturelle, ne le sont généralement pas et restent dans l'environnement. La fin de vie des PU est donc également préoccupante. Le traitement des déchets sera considérablement amélioré pour les matériaux composés de composants naturels (également appelés « chaînes faibles »), car ils se décomposent plus facilement. De plus, en améliorant la recyclabilité ou la recomposition rarement réalisable avec les unités de bioremédiation traditionnelles, des unités de bioremédiation peuvent être

construites pour compléter les concepts de l'économie circulaire. En résumé, le passage du polyuréthane traditionnel au polyuréthane biosourcé implique de reconsiderer le cycle de vie des produits en polyuréthane, en plus de remplacer les matières premières. Les matériaux isolants biosourcés sont des substituts importants dans la quête de matériaux plus durables car ils offrent des avantages certains en termes d'efficacité des ressources et de performance environnementale. (Santos, M., Mariz, M., Tiago, I., Alarico, S., et Ferreira, P. 2025).

## Partie 02 : Généralité sur La mousse de polyuréthane biosourcés

### 1.Matières premières biosourcées :

Des alternatives pour obtenir des polyols biosourcés et les monomères nécessaires à la synthèse du PU ont été explorées à partir de diverses sources renouvelables (Figure 9). Ces sources comprennent des protéines végétales et animales, ainsi que des glucides, notamment des sucres comme le glucose, le saccharose et l'amidon, un glucide abondant dans les plantes. De plus, la biomasse lignocellulosique (sciure, écorce, débris forestiers et sous-produits des usines de pâtes et papiers) et les huiles végétales (huiles de tournesol, de soja, de canola, de palme et de ricin) sont à l'étude. Des recherches sont également menées sur d'autres substances d'origine végétale, telles que les terpènes, le cardanol et l'eugénol.(Santos, M., Mariz, M., Tiago,I., Alarico, S., et Ferreira, P. 2025).



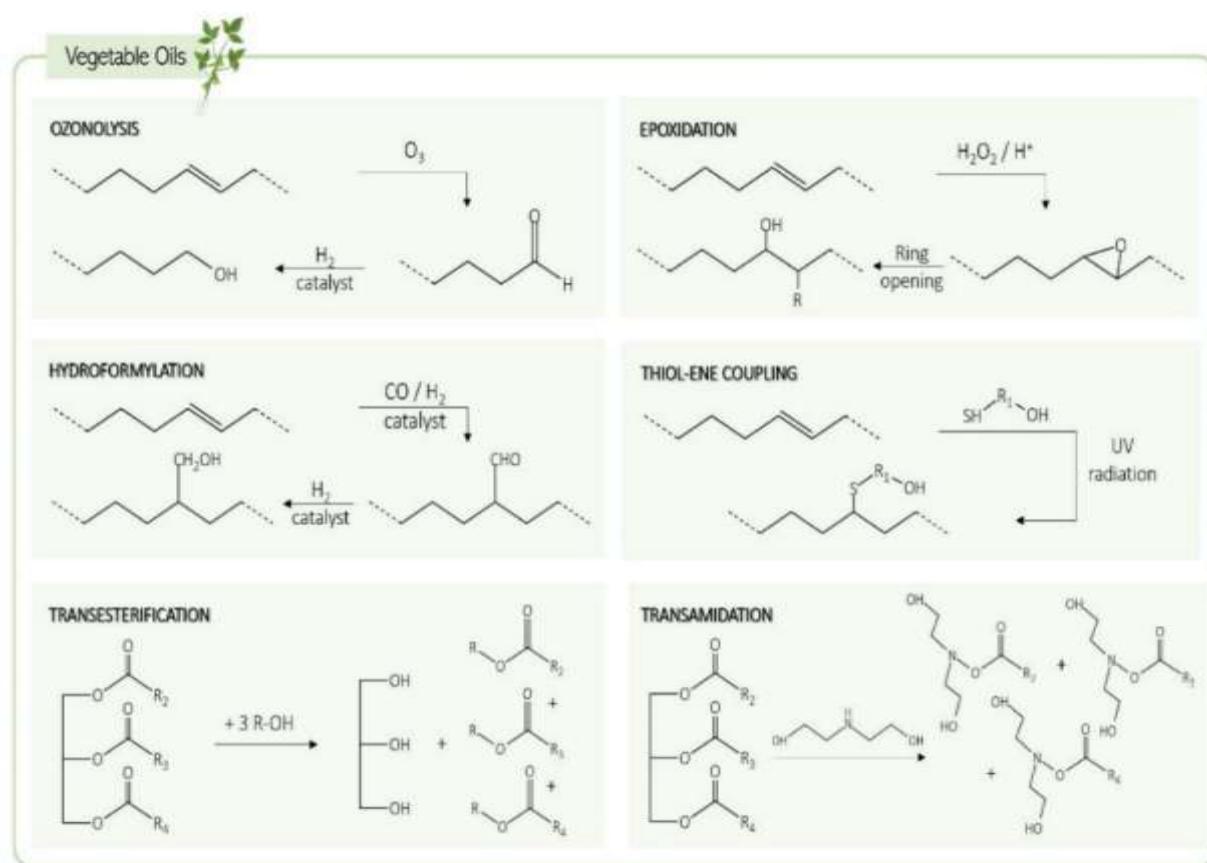
**Figure 9:** Applications des matériaux en polyuréthane dans divers secteurs .  
(Santos, M 2025)

La fabrication de biopolyols peut être facilitée par l'utilisation d'huiles végétales renouvelables et biodégradables, notamment les huiles de ricin, de tournesol, de soja, de palme, de colza et de graines de Lesquerella. Néanmoins, des modifications chimiques supplémentaires sont nécessaires pour ajouter les groupes hydroxyles nécessaires à la réaction ultérieure avec production de liaisons isocyanate et uréthane, car la plupart de ces huiles en sont dépourvues. (Santos, M., Mariz, M., Tiago,I., Alarico, S., et Ferreira, P. 2025).

## **2. Des matières premières aux biopolyols :**

Afin de créer des biopolyols viables et disposant de groupes hydroxyles pour une réaction ultérieure, certaines matières premières doivent être converties. La rigidité de la mousse PU étant corrélée à la quantité de groupes hydroxyles, une attention particulière doit être accordée à la technique de modification et au choix des polyols afin d'obtenir des qualités particulières. (Santos, M., Mariz, M., Tiago,I., Alarico, S., et Ferreira, P. 2025).

L'huile de ricin et l'huile de graines de lesquerella étant les seules huiles végétales du groupe à posséder des groupes hydroxyles dans leur structure fondamentale, elles peuvent être utilisées directement comme polyols et sont donc moins coûteuses et plus longues. D'autres huiles végétales doivent subir une modification de leurs doubles liaisons ester ou carbone-carbone pour produire des groupes hydroxyles afin de pouvoir être utilisées dans la production de PU. Les principales méthodes de cette transformation comprennent l'ozonolyse, l'époxydation, l'hydroformylation, le couplage thiol-ène, la transestérification et la transamidation. (Santos, M., Mariz, M., Tiago,I., Alarico, S., et Ferreira, P. 2025).



**Figure 10:** Voies de transformation des huiles végétales pour produire des bio-polyols. (Santos, M 2025)

L'ozone ( $O_3$ ), un puissant agent oxydant, provoque la rupture de la double liaison carbone-carbone des chaînes d'acides gras insaturés lors de l'ozonolysé, formant un ozonide instable qui est ensuite réduit en aldéhyde par un puissant réducteur tel que le borohydrure de sodium. Un catalyseur au nickel de Raney est ensuite utilisé dans un procédé d'hydrogénéation pour convertir les groupes aldéhydes en groupes hydroxyles. Comme les parties insaturées des chaînes d'acides gras sont éliminées lors de l'ozonolysé, les polyols créés peuvent comporter jusqu'à trois groupes hydroxyles par molécule et avoir de faibles masses moléculaires.(Santos, M., Mariz, M., Tiago, I., Alarico, S., et Ferreira, P. 2025).

Si l'ozonolysé n'est pas réalisée dans des conditions contrôlées, elle peut entraîner des réactions secondaires et, par conséquent, des sous-produits indésirables, en plus d'une conversion restreinte due à la forte réactivité de l'oxygène. De plus, elle nécessite l'utilisation de solvants dangereux ainsi que des pressions et des températures élevées.(Santos, M., Mariz, M., Tiago, I., Alarico, S., et Ferreira, P. 2025).

Les huiles végétales subissent une époxydation à l'aide de peracides, produits in situ ou préfabriqués par combinaison de peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) et d'un acide carboxylique (acide formique ou acétique). Les doubles liaisons sont transformées en groupes époxy pendant la phase d'époxydation. Des agents d'ouverture de cycle contenant des groupes hydroxyles, notamment des alcools et des acides inorganiques, sont ensuite utilisés pour ouvrir les cycles. Ce procédé utilise des métaux, des composés du phosphore, des bases et des catalyseurs cationiques à haute température.(Santos, M., Mariz, M., Tiago, I., Alarico, S., et Ferreira, P. 2025).

Le type et la localisation des groupes hydroxyles dans l'agent d'ouverture de cycle, ainsi que l'huile végétale utilisée, sont des éléments cruciaux pour le polyol final et, par extension, pour les caractéristiques finales du PU (ils influencent le comportement mécanique, la température de transition vitreuse et la réticulation). Les principaux inconvénients de ce procédé de transformation sont l'utilisation de peracides, instables et explosifs, la faible sélectivité pour les époxydes due à l'ouverture de cycle, et la corrosion favorisée par la présence d'acides forts. (Santos, M., Mariz, M., Tiago, I., Alarico, S., et Ferreira, P. 2025).

Le procédé d'hydroformylation utilise un catalyseur (souvent du rhodium ou du cobalt) et un gaz de synthèse (une combinaison 1:1 de  $H_2$  et de CO) à des températures comprises entre 70 et 130 °C pour transformer les doubles liaisons carbone-carbone des chaînes d'acides gras en aldéhydes. Des groupes hydroxyles primaires, plus réactifs que les groupes hydroxyles secondaires produits par d'autres procédés comme l'époxydation, sont créés suite à l'hydrogénéation qui suit cette réaction. Avec une conversion proche de 100 %, le rhodium est le catalyseur le plus efficace ; le cobalt, en revanche, est plus économique et de plus en plus utilisé dans ce type de réaction. Ces deux substances catalysent les processus d'hydrogénéation et d'hydroformylation.(Santos, M., Mariz, M., Tiago, I., Alarico, S., et Ferreira, P. 2025).

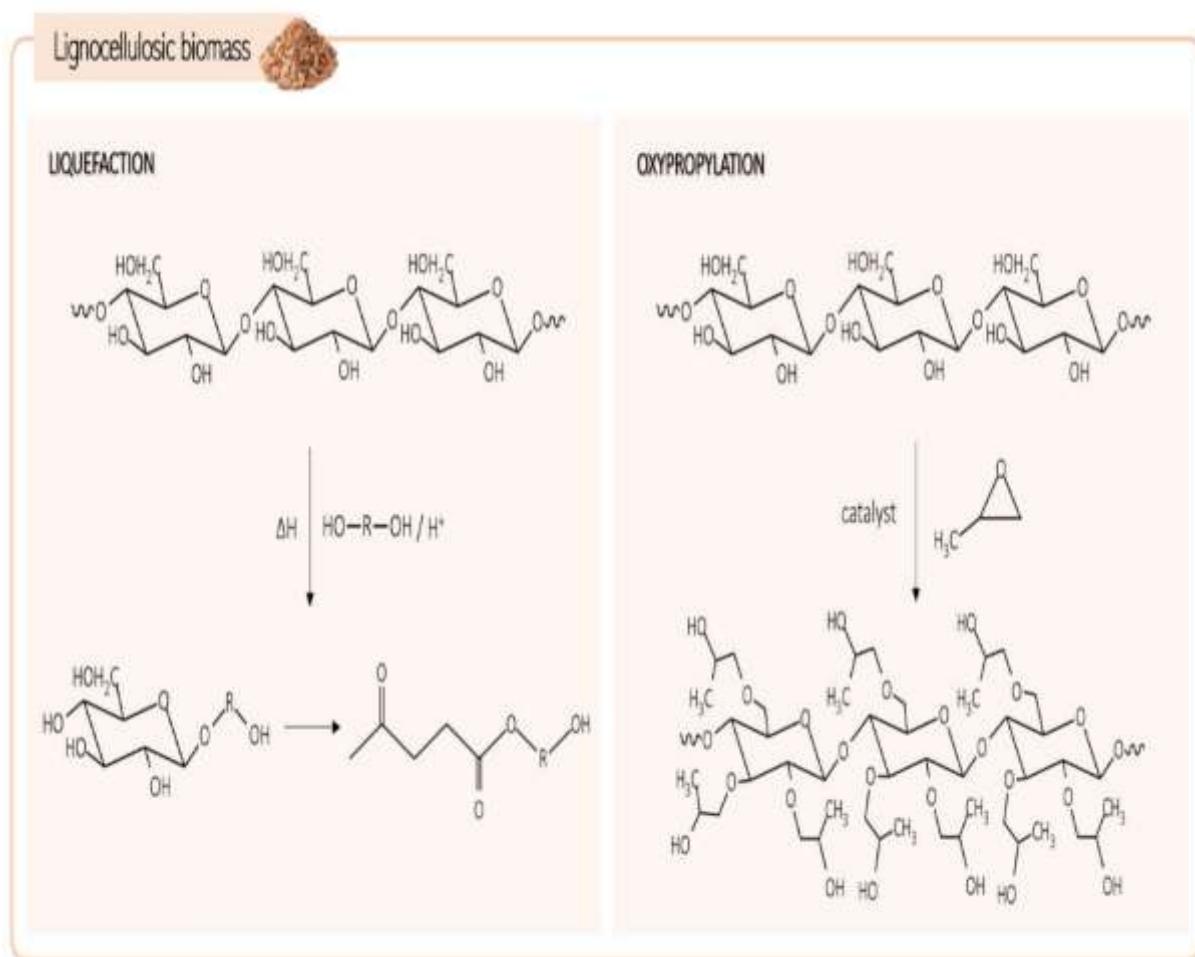
Par une réaction en une seule étape, les thiols sont incorporés dans les doubles liaisons carbone-carbone dans la chimie du couplage thiol-ène. Dans ce procédé, des thiols comme le 2-mercaptopéthanol, le 3-mercaptopropionate ou le dimercaptoacétate de glycéryle sont fréquemment utilisés, et un initiateur de radicaux libres ou un catalyseur peut être utilisé pour accélérer la réaction. La capacité de cette méthode à résister à un large éventail de solvants et de conditions la rend incroyablement flexible. Elle se distingue également par son taux de conversion et sa rapidité élevés. La réactivité des thiols dépend de la structure et

les éventuelles réactions secondaires avec l'oxygène, qui peuvent réduire l'efficacité de la réaction, constituent les principaux obstacles à son utilisation. (Santos, M., Mariz, M., Tiago, I., Alarico, S., et Ferreira, P. 2025).

Une autre technique d'extraction des polyols des huiles végétales est la transestérification. Les groupes esters des triglycérides réagissent avec des polyols comme le glycérol, le pentaérythritol et le triméthylolpropane lors de ce procédé, en présence d'un catalyseur alcalin ou acide et à une température élevée (170–200 °C). Après la conversion des liaisons esters en groupes hydroxyles, divers produits sont produits, notamment du glycérol et des mono-, di- et triglycérides.(Santos, M., Mariz, M., Tiago, I., Alarico,S., et Ferreira, P. 2025).

À l'exception de l'utilisation d'amines à la place des polyols, le processus de transamidation est comparable à la transestérification. Les huiles végétales subissent cette transition par une réaction catalysée avec des amines (souvent la diéthanolamine, qui contient des groupes hydroxyles) à des températures comprises entre 100 et 120 °C.(Santos, M., Mariz, M., Tiago, I., Alarico,S., et Ferreira, P. 2025).

La biomasse lignocellulosique est une autre matière première naturelle, la ressource renouvelable la plus abondante et la plus abordable. Selon sa source, elle est principalement composée de trois biopolymères : la cellulose, l'hémicellulose et la lignine, en quantités variables. Bien que leur état solide naturel limite leur application directe, le nombre élevé de groupes hydroxyles de ces composés les rend très intéressants pour la synthèse de biopolyols. Les deux principales méthodes d'obtention de biopolyols liquides à partir de biomasse lignocellulosique sont la liquéfaction et l'oxypropylation (Figure 11).(Santos, M., Mariz, M., Tiago, I., Alarico,S., et Ferreira, P. 2025).



**Figure 11:** Voies de transformation de la biomasse lignocellulosique pour produire des biopolyols. (Santos, M 2025)

La biomasse lignocellulosique solide est transformée en produit liquide par le processus de liquéfaction. Généralement, la liquéfaction est réalisée avec des solvants tels que des carbonates cycliques ou des alcools polyhydriques, à des températures comprises entre 150 et 250 °C. Des acides ou des bases comme l'hydroxyde de sodium ou l'acide sulfurique peuvent catalyser le processus. En clivant les liaisons chimiques au sein de sa structure, la biomasse solide se dépolymérise au cours du processus, se dissolvant en molécules plus petites contenant des hydroxyles. La cellulose amorphe, l'hémicellulose et la lignine sont les premières substances à se liquéfier en raison de leur forme amorphe et donc de leur sensibilité accrue aux solvants. La structure structurée de la cellulose cristalline la rend moins accessible, ce qui ralentit le processus limitant la vitesse de liquéfaction. L'acide lévulinique et les lévulinates sont produits lorsque la

cellulose est décomposée en glucose et autres dérivés par des processus solvolytiques. Ce mélange peut ensuite être utilisé directement dans la fabrication de matériaux PU. (Santos, M., Mariz, M., Tiago, I., Alarico,S., et Ferreira, P. 2025).

Pour réduire les réactions de recondensation simultanées et optimiser l'efficacité du procédé, il est essentiel d'optimiser les paramètres de liquéfaction, notamment la température, la durée, le solvant, le catalyseur et leurs ratios correspondants. Le coût et la source des solvants sont également des facteurs à prendre en compte pour le procédé de liquéfaction. L'objectif de création de polyols plus écologiques est incompatible avec l'utilisation généralisée de solvants dérivés du pétrole dans ce procédé. Le glycérinol, sous-produit de la fabrication du biodiesel, s'est révélé prometteur comme substitut aux solvants dérivés du pétrole, offrant une méthode de production de polyols plus rentable et durable.(Santos, M., Mariz, M., Tiago, I., Alarico,S., et Ferreira, P. 2025).

L'oxypropylation repose sur le greffage d'oxyde de propylène dans la structure macromoléculaire de la biomasse par un procédé de polymérisation assistée par catalyseur (Figure 10). Généralement, l'oxyde de propylène, le catalyseur (généralement du KOH) et la biomasse sont combinés immédiatement. Une autre méthode consiste à préactiver la biomasse à température ambiante sous atmosphère d'azote à l'aide d'une solution éthanolique de KOH. L'éthanol peut ensuite être éliminé, et la biomasse réagit alors avec l'oxyde de propylène. Des températures élevées (100–200 °C) et des pressions élevées (650–1820 kPa) sont couramment utilisées pour la réaction d'oxypropylation. (Santos, M., Mariz, M., Tiago, I., Alarico,S., et Ferreira, P. 2025).

Comme indiqué précédemment, les groupes hydroxyles sont abondants dans la biomasse lignocellulosique ; pourtant, ils sont confinés à l'intérieur de la structure moléculaire. L'objectif de cette méthode de modification est d'accroître l'accessibilité des groupes OH par l'ajout de chaînes plus longues issues de l'oxyde de propylène, et non d'ajouter des groupes hydroxyles. Avant et après la transformation, le nombre de groupes hydroxyles est identique, mais ils sont plus accessibles pour les réactions ultérieures.(Santos, M., Mariz, M., Tiago, I., Alarico,S., et Ferreira, P. 2025).

### **3. Bio-additifs dans les mousses de polyuréthane :**

Les additifs améliorent les propriétés des mousses de polyuréthane (résistance, stabilité, esthétique) et leur applicabilité.Les fibres naturelles, issues de déchets

agricoles, comptent parmi les bioadditifs les plus courants. Elles renforcent les mousses pour former des composites robustes et biodégradables.

Avantages : Légèreté, faible densité, faible coût, disponibilité et accès aisés.

Les fibres naturelles peuvent être obtenues à partir de diverses sources, notamment végétales comme la coque de noix de coco, le palmiste, la fibre de banane, le blé et le lin. (Santos, M., Mariz, M., Tiago, I., Alarico, S., et Ferreira, P. 2025).

La curcumine est un additif qui améliore la qualité du produit final, car elle améliore la résistance, réduit l'absorption d'eau et possède une activité antibactérienne. (Santos, M., Mariz, M., Tiago, I., Alarico, S., et Ferreira, P. 2025).

Outre les fibres naturelles et la curcumine, des colorants naturels comme la fleur de tulsi et l'écorce de pitaya sont des additifs qui confèrent au produit un aspect esthétique sans en altérer la composition chimique. (Santos, M., Mariz, M., Tiago, I., Alarico, S., et Ferreira, P. 2025).

**Tableau 3:** comparatif approfondi Mousse biosourcée vs Mousse synthétique (Réalisé par l'auteur)

Critère	Mousse Biosourcée	Mousse Synthétique
<b>Source des matières premières</b>	Huiles végétales, biomasse lignocellulosique, déchets agricoles	Dérivés du pétrole : polyols pétrochimiques, TDI, MDI
<b>Impact environnemental</b>	Faible : matière renouvelable, réduction du CO <sub>2</sub> , biodégradation partielle	Élevé : dépendance aux énergies fossiles, déchets non biodégradables
<b>Santé humaine</b>	Meilleure tolérance : moins de substances toxiques, sans phosgène ni isocyanate	Exposition possible à des substances toxiques, risques professionnels accrus
<b>Propriétés mécaniques</b>	Bonne élasticité, flexibilité	Contrôlées et standardisées : bonne résilience, élasticité et rigidité
<b>Durabilité</b>	Renouvelable et partiellement biodégradable	Non renouvelable, non biodégradable
<b>Facilité de recyclage</b>	Plus facile à intégrer dans des cycles circulaires	Difficilement recyclable, peu de filières opérationnelles
<b>Coût actuel de production</b>	Moins coûteuse	Plus élevée

# *Chapitre 02 :*

# *Matériels et Méthodes*

**1. Matériels végétale et chimique****1.1 Origine des matières premières :**

- L'huile de soja utilisée a été achetée localement dans un commerce alimentaire
- Le glycérol et l'acide phtalique ont été fournis par le laboratoire de chimie organique, Université Constantine 1.

**1.2 Réactifs et matières premières :**

- Huile végétale : huile de soja
- Glycérol
- Acide phtalique
- Méthylène diphényl diisocyanate (MDI)
- Amine tertiaire : triéthylamine
- Eau (réactif pour la formation de gaz et expansion)

**1.3 Verrerie et équipements :**

- Bécher 250 mL / 500 mL
- Bain-marie à température contrôlée
- Spatule
- Balance de précision
- Moule (en carton )
- Gants, lunettes, blouse (sécurité)



**Figure 12:** Le matereil dont nous avons besion (prise par auteur)

## 2. Méthodologie :

L'expérimentation a été réalisée en deux grandes étapes successives, dans les laboratoires de l'Université Constantine 1 :

**Première étape :** Synthèse d'un polyol biosourcé à partir d'huile de soja par transestérification et estérification.

**Deuxième étape :** Formulation et polymérisation du polyuréthane par réaction entre le polyol, le MDI et l'eau.

### 2.1 Synthèse du polyol biosourcé

#### 2.1.1 Transestérification de l'huile avec le glycérol

##### ➤ Objectif

Transformer les triglycérides en molécules hydroxylées (mono- et diglycérides) pouvant réagir avec les isocyanates pour former un polyuréthane.

##### ➤ Principe

Lors de la transestérification, les groupes esters des triglycérides sont échangés contre les groupes hydroxyles du glycérol. Il en résulte la formation de structures partiellement hydroxylées, jouant le rôle de précurseurs de polyols.

### ➤ Mode opératoire

- **100 g d'huile de soja** ont été chauffés à **80–100°C** dans un bécher de 250 ml placé dans un bain-marie, sous agitation constante, pendant **20 minutes**.
- **30 g de glycérol** ont ensuite été ajoutés lentement au mélange, toujours sous agitation.

L’élévation de température permet de diminuer la viscosité de l’huile et d’augmenter la cinétique de réaction. L’agitation favorise le contact intime entre les phases huileuse et polaire.

### 2.1.2 Estérification avec l’acide phtalique

#### ➤ Objectif

Augmenter la fonctionnalité hydroxylée du mélange réactionnel et introduire des cycles aromatiques (rigidifiants) via la réaction entre le glycérol et l’acide phtalique.

#### ➤ Principe

L’acide phtalique (fonction carboxylique) réagit avec les groupes hydroxyles du glycérol (ou des mono-/diglycérides) pour former des **esters**.

#### ➤ Mode opératoire

- **10 g d’acide phtalique** ont été ajoutés au mélange réactionnel tout en maintenant la température à **80–100°C**.

- Le mélange a été agité pendant **2 heures**, jusqu’à homogénéisation.
- Après refroidissement, le **polyol biosourcé obtenu** a été stocké dans un récipient hermétique.

Le produit final est un polyol biosourcé, contenant à la fois des fonctions hydroxyles réactives et des groupes aromatiques.

## 2.2 Formulation de la mousse polyuréthane

### 2.2.1 Polymérisation : formation de la mousse

#### ➤ Objectif

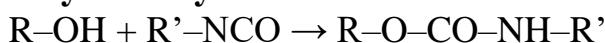
Synthétiser une mousse de polyuréthane par réaction entre le polyol, le MDI et l'eau.

#### ➤ Principe

Les groupes hydroxyles ( $-OH$ ) du polyol réagissent avec les groupes isocyanates ( $-NCO$ ) du MDI pour former des **liaisons uréthanes**. En présence d'eau, le MDI libère du **CO<sub>2</sub> gazeux**, ce qui provoque l'expansion de la mousse.

#### Réactions principales :

##### 1. Polyol+Isocyanate→Liaisonuréthane



##### 2. Eau+Isocyanate→Amine+CO<sub>2</sub>+Liaisonurée



#### ➤ Mode opératoire

- **50 g de polyol biosourcé** ont été mélangés avec **50 g de MDI** dans un bécher propre.



**Figure 13 :** Bécher contenant la quantité mesurée de polyol biosourcé avant initiation de la réaction. (prise par auteur)



**Figure 14 :** Bécher contenant la quantité d'isocyanate (MDI) (prise par auteur)

- Quelques gouttes de **triéthylamine** ont été ajoutées pour catalyser la réaction.



**Figure 15:** Bécher renfermant la triéthylamine (prise par auteur)

- Le mélange a été agité jusqu'à homogénéisation, puis **5 mL d'eau distillée** ont été incorporés.



**Figure 16 :** Éprouvette graduée 5 mL d'eau distillée (prise par auteur)

- Le mélange a ensuite été **rapidement coulé dans un moule en carton**, où il a été laissé à **température ambiante** pendant **24 heures**.



**Figure 17:** Coulée du mélange réactionnel dans un moule en carton  
(prise par auteur)

# *Chapitre 03 : Résultats et Discussion*

**1. Aspect visuel et morphologie :**

L'image du produit final montre une mousse blanche à la texture irrégulière :

- ❖ une mousse homogène et cohésive.
- ❖ La surface extérieure est plutôt rigide et partiellement friable, tandis que la face inférieure est lisse et élastique.
- ❖ L'intérieur de la mousse est lisse et brillant.



**Figure 18:** Aspect macroscopique de la mousse finale (prise par auteur)

**2. Analyse de l'expansion et du gonflement****2.1 Observations :**

- ❖ Bonne expansion : la mousse a triplé de volume.
- ❖ La mousse est totalement exempte de trous ou de fissures internes, ce qui indique l'absence de surpression localisée ou de gonflement irrégulier.
- ❖ Des zones friables indiquent une mauvaise cohésion.

**2.2 Interprétation :**

- L'eau réagit avec le MDI, libérant du dioxyde de carbone, provoquant une expansion.

- La production rapide de gaz avant le durcissement du polymère provoque l'éclatement des bulles et l'effondrement de la mousse. Or, c'est exactement le contraire qui se produit, comme le montre l'absence de pores internes dans la mousse.
- Le catalyseur aminé ajouté joue un rôle crucial : il accélère la production de dioxyde de carbone, ce qui provoque l'expansion de la mousse. Sans elle, la réaction avec l'eau est très lente, produisant peu ou pas de mousse.
- La mauvaise cohésion, probablement due à un mélange irrégulier ou à un excès d'eau.

### **3. Texture et cohésion mécanique**

#### **3.1 Résultat :**

- La mousse est souple et compressible, mais son rebondissement est lent.
- Elle présente une structure à pores ouverts et une bonne adhérence.
- Sa cohésion est élevée.
- Sa structure est bien cohésive et la liaison entre les chaînes polymères est complète. Cependant, son aspect diffère du résultat souhaité.

#### **3.2 Interprétation :**

La densité de la mousse est l'un des facteurs les plus importants pour contrôler et déterminer sa forme finale. Par conséquent, tout défaut à n'importe quelle étape du processus de fabrication peut entraîner une modification de la densité et, par conséquent, une modification de la forme finale. Les facteurs influençant ce phénomène comprennent :

- Mélange incomplet des composants (polyol, MDI, eau, catalyseur)
- Répartition inégale de la chaleur ou mélange inadéquat
- Calcul incorrect des quantités de composants
- Concentration excessive en eau, entraînant une formation rapide de gaz sans adhérence suffisante, ou inversement.

# *Conclusion*

## Conclusion

---

Dans un contexte mondial caractérisé par l'épuisement des ressources fossiles, la pollution environnementale et la demande croissante de développement durable, la recherche de solutions écologiques, économiques et innovantes constitue une priorité stratégique. Parmi les secteurs concernés, l'industrie des matériaux polymères est confrontée à la nécessité de repenser ses procédés de fabrication et de remplacer les ressources pétrochimiques par des alternatives renouvelables et respectueuses de l'environnement.

C'est la perspective de ce travail, qui vise à développer une mousse biosourcée à partir d'huiles végétales. Outre la valorisation des déchets organiques, cette option s'inscrit dans une démarche d'économie circulaire, où les déchets contaminés deviennent des matières premières valorisables.

Le protocole expérimental appliqué a été divisé en trois étapes principales :

Les polyols sont fabriqués par modification chimique d'huiles végétales, en présence de glycérol et d'acide phtalique, afin d'ajouter les groupes hydroxyles nécessaires à la formation du polyuréthane. La réaction de ce polyol avec le diphenylméthane diisocyanate (MDI), en présence d'un catalyseur et d'eau, conduit à la formation d'une mousse expansive similaire à la mousse synthétique.

Les résultats obtenus ont confirmé la faisabilité de l'application de ce procédé à l'échelle du laboratoire. La mousse produite présente une structure cellulaire homogène, une bonne légèreté, une élasticité modérée et une bonne capacité de rétention d'eau, mais sa résistance à la compression et sa vitesse de rebond sont lentes. De plus, sa densité diffère de celle des mousses destinées à un usage industriel, ce qui soulève des questions quant à la manière d'améliorer la mousse et d'éviter les erreurs passées pour la rendre apte à un usage industriel.

D'un point de vue environnemental, ces travaux s'inscrivent dans une démarche efficace de réduction des déchets pétroliers et de valorisation des ressources locales à moindre coût. Ils offrent également une solution aux problèmes de pollution liés à l'élimination inconsidérée des huiles usagées, en leur donnant une seconde vie comme matériaux utiles et non polluants.

D'un point de vue scientifique, cette étude ouvre de nombreuses perspectives. Il sera intéressant d'étudier plus en détail les propriétés thermiques et mécaniques ainsi que la biodégradabilité de la mousse obtenue.

## **Conclusion**

---

D'un point de vue scientifique, cette étude ouvre de nombreuses perspectives. Il sera intéressant d'étudier plus en détail les propriétés thermiques et mécaniques ainsi que la biodégradabilité de la mousse obtenue.

En conclusion, cette mémoire démontre la faisabilité de la production d'un matériau performant et respectueux de l'environnement à partir d'huiles végétales, en combinant les principes de la chimie verte, de la valorisation des déchets et de l'innovation technologique. Il s'agit d'une contribution modeste, mais importante, à la recherche de solutions durables dans le domaine des matériaux polymères, ouvrant la voie à de nouvelles applications industrielles ayant un impact positif sur l'environnement et la société.

# Références bibliographiques

**-A-**

**Artemis. (2025, March 21).** The environmental impact of fryer oil and how to reduce waste | Happy Eco News. Happy Eco News  
<https://happyeconews.com/the-environmental-impact-of-fryer-oil-and-how-to-reduce-waste>

**-B-**

**Bashyal, J. (2023, August 9).** Thermogravimetric analysis: types, applications, TGA curve. Science Info. <https://scienceinfo.com/thermogravimetric-analysis-tga-curve/>

**-E-**

**EUROPUR. (31 mai 2023).** Qu'est-ce que la mousse de polyuréthane ? - EUROPUR. EUROPUR - Association européenne des fabricants de blocs de mousse de polyuréthane souple. <https://europur.org/flexible-pu-foam/what-is-polyurethane-foam/>

**Extance, A. (10 juin 2024).** Bayer va rompre sa branche polymère. Chemistry World.<https://www.chemistryworld.com/news/bayer-to-sever-polymer-arm/7772.article>

**-F-**

**Foam, A. (2023, October 31).** Foam Spotlight: The Uses and benefits of Polyurethane foam - AMCON Foam. Amcon Foam.  
<https://amconfoam.com/foam-spotlight-the-uses-and-benefits-of-polyurethane-foam/>

**-i-**

**( Isocyanates in the workplace: exposure, effects, and control , 2022 )**  
<https://www.safetyandhealthmagazine.com/articles/9566-isocyanates-in-the-workplace-exposure-effects-and-control>

## Références bibliographiques

---

### -J-

**Jahangir, A. (2024, March 27).** Vegetable oils: what they are, types of oil and uses. Foods Trend. <https://foodstrend.com/vegetable-oils/>

### -K-

**Kemonia, A., & Piotrowska, M. (2020).** Polyurethane recycling and disposal: Methods and Prospects. Polymers, 12(8), 1752. <https://doi.org/10.3390/polym12081752>

### -M-

**Maisonneuve, L., Chollet, G., Grau, E., & Cramail, H. (2016).** Vegetable oils: a source of polyols for polyurethane materials. OCL, 23(5), D508. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016031>

**Maamoun, A. A., Arafa, M., & Esawi, A. M. K. (2025).** Flexible polyurethane foam: materials, synthesis, recycling, and applications in energy harvesting – a review. Materials Advances. <https://doi.org/10.1039/d4ma01026d>

**(Materials, Production & Properties of Polyurethane Foam, 2020)** Mousse polyuréthane (fabrication de mousse) : Matériaux, production et propriétés. AnnuaireIQS.<https://www.iqsdirectory.com/articles/foam-fabricating/polyurethane-foam.html>

### -S-

**Sharma, K. (2023, July 8).** FTIR : Principle, instrumentation, applications, advantages,. Science Info. <https://scienceinfo.com/ftir-principle-instrumentation-applications/>

**Sharma, K. (2023, April 21).** Scanning Electron Microscopy (SEM): Principle, instrumentation, advantages. Science Info. <https://scienceinfo.com/scanning-electron-microscopy-sem/>

**Santos, M., Mariz, M., Tiago, I., Alarico, S., et Ferreira, P. (2025).** Mousses de polyuréthane biosourcées :matières premières, synthèse et applications. Biomolecules, 15(5), 680.<https://doi.org/10.3390/biom15050680>

## Références bibliographiques

---

**Sterling Manufacturing & Distributing. (5 mars 2025).** La science de la mousse polyuréthane : histoire, propriétés et applications. À l'intérieur de la boîte. <https://solutions.sterlinghouston.com/blog/the-science-of-polyurethane-foam-history-properties-and-applications>

**-Z-**

**Zhang, M., Liu, R., & Sun, H. (2025).** Achieving carbon-neutral economies through circular economy, digitalization, and energy transition. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-97810-w>

**Année universitaire : 2024-2025**

**Présenté par :** Benkhrouou Hani  
Khalfaoui Aoudey

## **Développement de mousse biosourcée à base d'huiles alimentaires**

### **Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Physiologie cellulaire et physiopathologie ( PCPP )**

L'accumulation croissante de déchets issus des activités domestiques et industrielles constitue aujourd'hui un problème environnemental majeur. Parmi ces déchets, l'huile de cuisson usagée est l'une des plus courantes, souvent rejetée dans l'environnement sans traitement approprié, polluant ainsi l'eau et les sols. Pourtant, cette huile, riche en triglycérides, peut être transformée en une ressource précieuse pour la chimie verte.

Modifiée chimiquement, l'huile usagée peut produire des polyols biosourcés, composants essentiels à la fabrication de mousses de polyuréthane.

Nos travaux s'inscrivent dans cette démarche de valorisation des déchets en développant une mousse biosourcée à partir d'huile de cuisson usagée. L'étude repose sur un protocole en trois étapes : la synthèse d'un polyol par réaction de l'huile avec du glycérol et de l'acide phthalique ; et la réaction de ce polyol avec du MDI en présence d'eau pour former la mousse. L'objectif principal est de produire une mousse écologique, légère, flexible et absorbante à partir de matières premières simples, abordables et disponibles localement. Cette approche vise à démontrer que les déchets courants peuvent devenir un matériau pratique à forte valeur ajoutée. Les résultats ont montré que la mousse obtenue présente une structure cellulaire homogène, une élasticité modérée, une capacité d'absorption satisfaisante et une bonne résistance mécanique, mais qu'elle n'est pas adaptée à une utilisation industrielle. Ces performances ouvrent la voie à l'amélioration et au développement d'une mousse économique et biodégradable localement, axée sur le développement durable et la chimie verte.

**Mots clés :** Biosource, Huile végétale, Polyol, MDI, Polyuréthane, Développement durable.

**Laboratoire de recherche :** laboratoire de Biochimie (U Constantine 1 Frères Mentouri).

**Président du jury :** Djoudi Brahim - U Constantine 1 Frères Mentouri).

**Encadrant :** Zeghbid Nassim Lotfi (MCA) - UFM Constantine 1).

**Examinateur(s) :** Dalichaouche Imane - UFM Constantine 1).