

التصريح الشرفي الخاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية

انا الممضي اسفله،

السيد(ة) قنوز أسامةالصفة: طالب (ماستر / دكتوراه)

الحامل(ة) لبطاقة التعريف الوطنية: 400.790459. والصادرة بتاريخ 01 مارس 2022

المسجل(ة) بكلية / معهد العلوم والتكنولوجيا قسم هندسة الطرائق

تخصص: هندسة البيوتك

والمكلف(ة) بإنجاز اعمال بحث(مذكرة، التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، اطروحة دكتوراه).

عنوانها: Développement et caractérisation d'une nouvelle

Formulation de Résine Alkyde

أصرح بشرفي اني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية الاخلاقيات المهنية والنزاهة الاكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ:

توقيع المعني (ة)

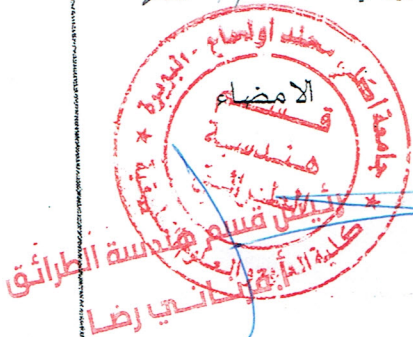
Wenoz

البويرة في 01/07/2022

هيئة مراقبة السرقة العلمية:

النسبة:

09 %



KHOCHIBA Merouane et GUEROUAZ Oussama kernani.pdf

RAPPORT DE SIMILITUDE

9%

INDICE DE SIMILITUDE

9%

SOURCES INTERNET

3%

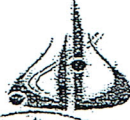
PUBLICATIONS

1%

COPIES DE L'ÉTUDIANT

SOURCES PRINCIPALES

1	dspace.univ-tiaret.dz Source Internet	1%
2	patents.google.com Source Internet	1%
3	www.google.com.ar Source Internet	1%
4	archive.org Source Internet	1%
5	hdl.handle.net Source Internet	1%
6	Chamoumi, Mostafa. "Optimisation de la production du biodiesel a partir d'huiles de microalgues et d'huiles usees.", Proquest, 2014. Publication	<1%
7	Submitted to Universite libre de Tunis Copie de l'étudiant	<1%
8	Submitted to AUT University Copie de l'étudiant	<1%



التصريح الشرفي الخاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية

انا الممضي اسفله،

السيد(ة) **نجيبية مروان**الصفة: طالب (ماستر / دكتوراه)

الحامل(ة) لبطاقة التعريف الوطنية: **10.24.30.918**والصادرة بتاريخ **20.11.2018**

المسجل(ة) بكلية / معهد العلوم والعلوم التطبيقية قسم هندسة الطرائف

تخصص: **هندسة البيئة**

والمكلف(ة) بإنجاز اعمال بحث(مذكرة، التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، اطروحة دكتوراه).

عنوانها: **Développement et caractérisation d'une nouvelle**

Formulation de résine Alkyde

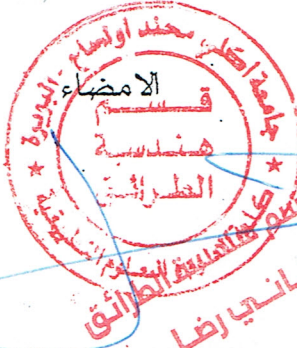
أصريح بشرفي اني التزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية الاخلاقيات المهنية والنزاهة الاكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

توقيع المعني (ة)

التاريخ:

البويرة في: **2018/07/01**

هيئة مراقبة السرقة العلمية:



% **09**

النسبة:

رئيس قسم علوم البيئة والطرائف
أقرباني رضا

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Akli MOHAND OULHADJ-Bouira

Faculté des Sciences & des Sciences Appliquées
Département de Génie des Procédés



Mémoire

Présenté par

KHOCHIBA Merouane

GUEROUAZ Oussama

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie de l'Environnement



Développement et Caractérisation d'une nouvelle Formulation de Résine Alkyde



Soutenue le 04/07/2024 devant le jury composé de :

Mr. AOUDJIT F.	MCA, Univ. Bouira	Président du jury
Mr. KERNANI R.	MCA, Univ. Bouira	Encadreur
Mr. HAMDACHE A.	MCB, Univ. Bouira	Examineur

Année universitaire 2023/2024

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail :
À ma chère femme, Djahida
À mes chers enfants; Mercua, racuane, Abdellah,
Rouchane, Abderrahmane*

KHOUCHEBA Merouane

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes Parents

A ma chère sœur; Chaima

A mes chers frères Houssam et Abdessalem

GUEROUAÏ Oussama

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude envers M. KERNANI R., notre encadrant, pour son soutien constant, ses conseils avisés et son engagement tout au long de ce travail. Sa disponibilité et ses précieuses orientations ont grandement contribué à l'avancement de ce projet.

Nous remercions également chaleureusement M. HAMDACHE A. et M. AOUDJIT F., membres du jury d'évaluation, pour leur précieuse expertise, leurs critiques constructives et leur évaluation attentive de ce mémoire.

Nos sincères remerciements vont également à tout le personnel de LORN Chemical Algérie pour leur soutien inestimable et la fourniture des produits chimiques essentiels qui ont permis la réalisation de cette étude.

Enfin, nous souhaitons exprimer notre reconnaissance envers les membres de la Direction de l'Industrie de la Wilaya de Bouira pour leur soutien continu, leurs encouragements.

Table des matières

List of Tables	viii
Introduction générale	1
I Etude bibliographique	2
1 Les résines alkydes	3
1.1 Applications des résines alkydes	3
1.2 Modification des résines alkydes	3
1.3 Processus de fabrication	4
1.4 Types de résines alkydes	4
1.4.1 Résines Alkydes Longues en Huile	4
1.4.2 Résines Alkydes Courtes en Huile	4
1.4.3 Résines Alkydes Moyennes en Huile	4
1.5 Propriétés, compositions et application des résines alkydes	5
1.5.1 Propriétés chimiques	5
1.5.2 Applications des résines alkydes	7
1.5.2.1 Peintures et vernis	7
1.5.2.2 Revêtements industriels	7
1.5.3 Propriétés thermiques des résines alkydes	8
1.5.3.1 Décomposition thermique	8
1.5.3.2 Transition vitreuse (Tg)	8
1.5.3.3 Cristallisation	9
1.5.3.4 Absence de fusion	9
1.5.3.5 Résistance thermique	9
1.6 Composition des résines alkydes	10
1.7 Synthèse des résines alkydes	12
1.7.1 Catalyseurs utilisés dans la synthèse des résines alkydes	13
1.7.2 Facteurs influençant la qualité des résines	14
1.8 Huiles végétales dans la synthèse des polymères	15
1.8.1 Huile de ricin (<i>Ricinus communis</i>)	16
1.8.1.1 Propriétés physico-chimiques de l'huile de ricin	17
1.8.2 Huile de soja	18
1.8.2.1 Propriétés physico-chimiques de l'huile de soja	19

II	Matériels et Méthodes	20
2	Matériels et Méthodes	21
2.1	Produits utilisés pour la synthèse des résines alkydes	21
2.1.1	Huiles utilisées	21
2.1.1.1	Huiles de ricin	21
2.1.1.2	Huiles de soja récupérée	22
2.1.2	Produits chimiques	22
2.2	Synthèse des résines alkydes	23
2.2.1	Exemple de formulation	23
2.2.1.1	Exemple 01	23
2.2.1.2	Exemple 02	24
2.2.1.3	Exemple 03	25
2.2.1.4	Exemple 04	26
2.2.1.5	Exemple 05	27
2.2.1.6	Exemple 06	28
2.2.1.7	Exemple 07	29
2.2.1.8	Exemple 08	31
2.2.1.9	Exemple 09	32
2.2.1.10	Exemple 10	32
2.2.1.11	Exemple 11	33
2.2.1.12	Exemple 12	34
2.2.1.13	Exemple 13	35
2.2.1.14	Exemple 14	36
2.2.1.15	Exemple 15	38
2.2.1.16	Exemple 16	39
2.2.1.17	Exemple 17	41
III	Résultats et Discussion	43
3	Résultats et Discussion	44
3.1	Caractérisation physico-chimiques des huiles utilisées	44
3.1.1	Huile de sjaa récupérée	44
3.1.2	Huile de ricin	45
3.2	Résultats des résines alkydes obtenues	46
3.2.1	Exemple 01	46
3.2.2	Exemple 02	48
3.2.3	Exemple 03	49
3.2.4	Exemple 04	51
3.2.5	Exemple 05	52
3.2.6	Exemple 06	53
3.2.7	Exemple 07	54
3.2.8	Exemple 08	55
3.2.9	Exemple 09	56
3.2.10	Exemple 10	57
3.2.11	Exemple 11	58

3.2.12 Example 12	60
3.2.13 Example 13	61
3.2.14 Example 14	62
3.2.15 Example 15	63
3.2.16 Example 16	65
3.2.17 Example 17	66

Bibliographie	70
----------------------	-----------

Liste des tableaux

1.1	Propriétés chimiques et thermiques des résines alkydes avec leurs valeurs typiques	10
1.2	Propriétés de l'huile de ricin	18
2.1	Propriétés des produits chimiques	23
3.1	Résultats des analyses physico-chimiques de l'huile de soja récupérée	44
3.2	Résultats des analyses physico-chimiques de l'huile de ricin	45
3.3	Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 01	46
3.4	Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 02	48
3.5	Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 03	49
3.6	Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 04	51
3.7	Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 05	52
3.8	Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 06	53
3.9	Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 07	54
3.10	Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 08	55
3.11	Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 09	56
3.12	Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 10	57
3.13	Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 11	59
3.14	Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 12	60
3.15	Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 13	61
3.16	Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 14	63
3.17	Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 15	64
3.18	Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 16	65
3.19	Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 17	66

Introduction

Les résines alkydes représentent un domaine crucial dans l'industrie des revêtements et des matériaux composites, offrant une combinaison unique de propriétés chimiques et physiques qui les rendent indispensables dans de nombreuses applications. Ce mémoire de master se concentre sur le développement et la caractérisation d'une nouvelle formulation de résine alkyde, visant à répondre aux exigences croissantes de durabilité, de performance et d'adaptabilité dans divers secteurs industriels.

Les résines alkydes, connues pour leur capacité à former des films durables et résistants, sont largement utilisées dans la fabrication de peintures, vernis, adhésifs et autres revêtements protecteurs. Cependant, l'évolution des normes environnementales et des attentes des consommateurs pousse les chercheurs et les industriels à innover constamment pour améliorer les performances tout en réduisant l'impact environnemental.

Ce projet de recherche explore donc les aspects fondamentaux et appliqués de la formulation des résines alkydes. En utilisant une approche expérimentale rigoureuse, il vise à élaborer une nouvelle formulation qui optimise des paramètres clés tels que l'indice d'acide, l'indice de saponification, la viscosité et la stabilité thermique. Ces caractéristiques sont essentielles pour assurer une application efficace, une adhérence durable et une résistance aux conditions environnementales variées.

Première partie

Etude bibliographique

Chapitre 1

Les résines alkydes

Introduction

Les résines alkydes sont des polymères synthétiques obtenus par des réactions chimiques impliquant des acides gras, des alcools polyhydriques, des polyacides et diverses huiles sélectionnées. Ces résines sont renommées pour leurs excellentes propriétés mécaniques et chimiques, telles que leur résistance à la chaleur, leur résistance aux solvants et leur capacité à former des films fins et résistants [1–3].

1.1 Applications des résines alkydes

Les résines alkydes sont employées dans une multitude de domaines, notamment la protection contre la corrosion, la métallurgie, la construction, l'industrie et la menuiserie. Elles sont particulièrement utilisées dans la production de peintures, vernis, teintures, apprêts et impressions . Leur polyvalence et leurs propriétés protectrices en font des choix privilégiés pour de nombreux produits industriels et de construction [3–5].

1.2 Modification des résines alkydes

Les résines alkydes peuvent être modifiées pour améliorer leurs propriétés. Par exemple, les résines alkyduréthanes, modifiées avec des agents de durcissement à base d'isocyanate,

présentent un durcissement amélioré et une meilleure résistance à la température, à l'abrasion et aux rayures. En revanche, les résines silicone alkyde offrent une très haute résistance à la chaleur, bien qu'elles puissent être coûteuses [4-6].

1.3 Processus de fabrication

Les résines alkydes sont produites par diverses méthodes, notamment par des réactions de polycondensation de polyalcools et d'acides dibasiques. Le processus de fabrication peut impliquer ou non l'utilisation de solvants, et les conditions de température et de pression peuvent varier en fonction des spécifications du produit final [4-7].

1.4 Types de résines alkydes

Les résines alkydes peuvent être classées en différents types en fonction de la longueur de l'huile, de la composition chimique et des propriétés mécaniques et chimiques. Voici les principaux types :

1.4.1 Résines Alkydes Longues en Huile

Ces résines contiennent une longueur d'huile de 55 à 70 %. Elles sont couramment utilisées dans la production de peintures, vernis et revêtements qui nécessitent une haute brillance et durabilité [5].

1.4.2 Résines Alkydes Courtes en Huile

Ces résines ont une longueur d'huile de 30 à 45 %. Elles sont utilisées dans des applications où une résistance moindre est requise, telles que les revêtements industriels et les systèmes de finition PU à deux composants [5].

1.4.3 Résines Alkydes Moyennes en Huile

Ces résines possèdent une longueur d'huile de 45 à 65 %. Elles sont polyvalentes et trouvent des applications dans la fabrication de peintures et vernis pour les domaines

Type	Longueur	Extrait Sec	Viscosité	Indice d'Acide (mg KOH/g)	Séchage à l'Air
Longues	62-70%	70% à 2%	Z3 - Z4	5-15	Lente
Moyennes	45-56%	50%	Z2	5-15	Rapide
Courtes	28-40%	28-40%	Z2	5-10	Très rapide

du bâtiment, du bois et de l'industrie, grâce à leurs propriétés chimiques, thermiques et mécaniques exceptionnelles[6].

Le tableau suivant résume les caractéristiques importantes des différents types de résines alkydes [7] :

1.5 Propriétés, compositions et application des résines alkydes

1.5.1 Propriétés chimiques

Les résines alkydes sont réputées pour leurs diverses propriétés chimiques qui en font des matériaux de choix dans de nombreuses applications industrielles et décoratives.

- Résistance au jaunissement : Les résines alkydes ont une excellente résistance au jaunissement, ce qui signifie qu'elles maintiennent leur éclat et leur couleur même après une exposition prolongée à la lumière et à l'air. Cette stabilité est essentielle pour les applications décoratives et industrielles où la durabilité des couleurs est cruciale, telles que les revêtements extérieurs de bâtiments et les finitions automobiles [8].
- Dureté : La résine alkyde présente une dureté impressionnante, généralement mesurée entre 20 et 80 Shore D. Cette dureté élevée lui confère une résistance mécanique significative, permettant son utilisation dans des environnements exigeants où une résistance à l'abrasion et aux chocs est nécessaire. Par exemple, les revêtements pour les sols industriels et les machines lourdes bénéficient de cette robustesse [8].
- Adhérence : Les résines alkydes sont particulièrement reconnues pour leur adhérence exceptionnelle sur diverses surfaces, y compris les métaux, les plastiques et les bois. Cette propriété est essentielle pour assurer la durabilité et la performance des revêtements, surtout dans des conditions de forte humidité et de chaleur. Les applications

typiques incluent les apprêts et les sous-couches pour les structures métalliques et les meubles en bois [8].

- Résistance chimique : Les résines alkydes offrent une haute résistance chimique, leur permettant de résister aux attaques de nombreux produits chimiques et solvants courants. Cette résistance est particulièrement importante pour les revêtements industriels qui doivent protéger les surfaces contre des substances corrosives telles que les acides, les alcalis et les solvants organiques. Elles sont souvent utilisées dans les environnements industriels où les équipements et les surfaces sont exposés à des produits chimiques agressifs [8].
- Flexibilité : Les formulations de résines alkydes peuvent être ajustées pour offrir une certaine flexibilité, ce qui est crucial pour des applications où les matériaux doivent s'adapter à des mouvements ou des déformations sans se fissurer. Cette flexibilité est particulièrement utile pour les revêtements sur des surfaces soumises à des variations thermiques ou mécaniques, comme les ponts et les structures extérieures [8].
- Brillance : Une des caractéristiques esthétiques remarquables des résines alkydes est leur capacité à produire des finitions très brillantes. Cette propriété est exploitée dans la fabrication de peintures et de vernis destinés à des applications décoratives, où une finition lisse et éclatante est souhaitée, comme dans l'ameublement de haute qualité et les véhicules [8].
- Solubilité : Les résines alkydes sont solubles dans des solvants pétrochimiques, facilitant leur incorporation dans diverses formulations de peintures et de vernis. Cette solubilité simplifie également le processus de fabrication et l'application des revêtements, permettant une distribution homogène et une application uniforme sur les surfaces [8].
- Résistance à la chaleur : Les résines alkydes peuvent résister à des températures élevées, généralement jusqu'à environ 150-200°C, sans se dégrader. Cette propriété est cruciale pour les revêtements exposés à des conditions thermiques extrêmes, comme les pièces de moteurs et les équipements industriels soumis à des cycles thermiques intenses [8].

- Résistance aux UV : Les résines alkydes peuvent être modifiées pour offrir une résistance accrue aux rayons ultraviolets (UV). Cette propriété est essentielle pour les applications extérieures, où l'exposition au soleil peut entraîner la dégradation des matériaux. Les résines alkydes résistantes aux UV sont couramment utilisées dans les peintures pour façades et les revêtements de toiture, où elles aident à prévenir la décoloration et le craquellement [8].

1.5.2 Applications des résines alkydes

Grâce à leurs propriétés chimiques exceptionnelles, les résines alkydes sont utilisées dans une vaste gamme d'applications, chacune exploitant une ou plusieurs de leurs caractéristiques uniques [9–11].

1.5.2.1 Peintures et vernis

Les résines alkydes sont largement utilisées dans la fabrication de peintures et de vernis en raison de leur brillance, de leur adhérence et de leur résistance chimique. Elles sont couramment appliquées dans les finitions décoratives pour meubles, les revêtements muraux intérieurs et extérieurs, et les applications automobiles [9–11].

1.5.2.2 Revêtements industriels

En raison de leur durabilité et de leur résistance chimique, les résines alkydes sont utilisées dans les revêtements de protection pour les équipements industriels, les structures métalliques, et les surfaces exposées à des environnements corrosifs. Les résines alkydes sont également utilisées dans les systèmes de finition en polyuréthane à deux composants, où elles contribuent à améliorer la dureté, la flexibilité et la résistance chimique des revêtements. D'autre part, leur excellente adhérence et leur capacité à fournir une base lisse et uniforme en font des choix idéaux pour les apprêts et les sous-couches, préparant les surfaces pour des couches de finition ultérieures [9–11].

Ces propriétés et applications montrent à quel point les résines alkydes sont des matériaux polyvalents et essentiels dans de nombreuses industries, répondant à des besoins variés allant de la protection des surfaces à l'amélioration esthétique des produits finis.

1.5.3 Propriétés thermiques des résines alkydes

Les résines alkydes possèdent des propriétés thermiques remarquables qui influencent leur performance dans diverses applications.

1.5.3.1 Décomposition thermique

Les résines alkydes subissent une décomposition thermique en plusieurs étapes distinctes, identifiables par analyse thermogravimétrique (ATG). Lorsqu'un oligomère tel que DOPO-VMDMS est greffé sur la résine alkyde, la décomposition se déroule en trois étapes principales [8, 12–14] :

1. Première étape : Cette phase implique généralement la perte de groupes fonctionnels volatils et de petites molécules associées aux chaînes latérales de la résine.
2. Deuxième étape : Cette étape concerne la décomposition plus significative du squelette principal du polymère.
3. Troisième étape : La phase finale de décomposition se produit à des températures plus élevées, où les résidus carbonés restants se dégradent.

Ces différentes phases de décomposition permettent d'analyser la stabilité thermique et les transformations structurales de la résine sous l'effet de la chaleur [8, 12–14].

1.5.3.2 Transition vitreuse (T_g)

La température de transition vitreuse (T_g) des résines alkydes peut varier en fonction de leur composition chimique. Cette propriété est cruciale car elle détermine la température à laquelle la résine passe d'un état rigide et cassant à un état plus souple et caoutchouteux [8, 12–14] :

- Effet des additifs : Par exemple, l'incorporation de l'oligomère DOPO-VMDMS dans les résines alkydes augmente la Tg, rendant la résine plus rigide et résistante aux déformations thermiques.
- Résines en émulsion aqueuse : Pour les résines alkydes en émulsion aqueuse, la Tg est généralement proche de -10 °C, indiquant qu'elles restent souples à des températures très basses.

1.5.3.3 Cristallisation

Certaines résines alkydes présentent des phénomènes de cristallisation, observés par calorimétrie différentielle à balayage (DSC). La cristallisation se manifeste par un pic exothermique autour de 145 °C, indiquant la formation de réseaux cristallins dans la structure du polymère. Cette cristallisation peut améliorer certaines propriétés mécaniques de la résine, comme la résistance à l'abrasion et la stabilité dimensionnelle sous chaleur [8, 12–14].

1.5.3.4 Absence de fusion

Contrairement à la cristallisation, les résines alkydes ne présentent pas de pic de fusion en DSC, ce qui suggère que le polymère se dégrade avant que la fusion des cristaux ne puisse se produire. Cette dégradation intervient généralement à des températures supérieures à 200 °C. L'absence de fusion est indicative d'une haute stabilité thermique, essentielle pour des applications où la résine est exposée à des températures élevées sans risque de ramollissement ou de déformation [8, 12–14].

1.5.3.5 Résistance thermique

Les résines alkydes sont connues pour leur bonne résistance thermique, généralement dans une plage de 150 à 200 °C. Cette propriété dépend fortement de la composition chimique de la résine et des additifs utilisés pour améliorer la stabilité thermique. Des stabilisants thermiques et des retardateurs de flamme peuvent être ajoutés pour augmenter encore la résistance thermique des résines alkydes, les rendant appropriées pour des applications exigeantes telles que les revêtements pour équipements industriels et les

peintures résistantes à la chaleur [8, 12–14].

Ces propriétés thermiques font des résines alkydes des matériaux polyvalents et robustes, adaptés à une large gamme d’applications nécessitant une stabilité et une performance élevées sous des conditions thermiques variées. Leurs capacités à résister à des températures élevées, à se transformer sans fusion et à maintenir leurs propriétés mécaniques et chimiques en font un choix privilégié dans de nombreux domaines industriels [8, 12–14].

Propriété	Valeur typique
Propriétés chimiques	
Longueur en huile	30-80%
Dureté (Shore D)	20-80
Adhésion	Excellente
Résistance chimique	Bonne
Flexibilité	De souple à rigide
Brillance (unités de brillance à 20ř/60ř)	60-97
Temps de séchage	180-270 minutes
Propriétés thermiques	
Décomposition thermique	Plusieurs étapes distinctes
Température de transition vitreuse (Tg)	10-24 °C
Cristallisation	Vers 145 200 °C
Absence de fusion	Au-delà de 200 °C
Résistance thermique	Jusqu’à 150-200 °C

TABLE 1.1: Propriétés chimiques et thermiques des résines alkydes avec leurs valeurs typiques

Les résines alkydes sont appréciées pour leurs propriétés chimiques et thermiques équilibrées, qui les rendent polyvalentes et adaptées à une large gamme d’applications. Leur résistance chimique, leur dureté, leur adhérence et leur flexibilité en font des liants idéaux pour les peintures, vernis et revêtements. Leur stabilité thermique leur permet également de performer efficacement dans des environnements exigeants. Bien que les valeurs spécifiques puissent varier selon la formulation et les conditions de test, ce tableau offre un aperçu des performances typiques des résines alkydes, soulignant leur capacité à répondre aux besoins variés des applications industrielles et commerciales [8, 12–14].

1.6 Composition des résines alkydes

Les résines alkydes sont des polyesters modifiés, essentiellement composés d’huiles et/ou d’acides gras, ce qui leur confère leurs caractéristiques distinctives. Elles sont produites

par des réactions de polycondensation impliquant plusieurs composants clés [9].

- **Polyacides ou anhydrides d'acide** : Par exemple, l'anhydride phtalique, qui agit comme un réactif principal dans la formation de la structure polymère des résines alkydes.
- **Polyols** : Principalement le glycérol, qui contribue à la formation de liaisons ester cruciales pour la structure et les propriétés des résines.
- **Huiles végétales** : Telles que l'huile de soja et l'huile de lin, ces huiles sont utilisées pour leur capacité à apporter de la souplesse et de l'adhérence aux résines alkydes, ainsi que leur compatibilité avec les pigments et leur solubilité dans les solvants.
- **Acides gras** : Contribuent également à la flexibilité et à d'autres propriétés physiques des résines alkydes.

La proportion relative de ces composants détermine la longueur de l'huile dans les résines alkydes, un critère de classification important :

- Résines alkydes longues en huile : Contenant généralement entre 55% et 70% d'huile, ces résines sont connues pour leur grande flexibilité et leur utilisation fréquente dans les applications nécessitant une bonne adhésion et une haute compatibilité avec les pigments [7].
- Résines alkydes moyennes en huile : Avec une teneur en huile de 40% à 60%, ces résines offrent un équilibre entre flexibilité et rigidité, adaptées à diverses applications industrielles et décoratives [7].
- Résines alkydes courtes en huile : Ayant une proportion d'huile plus faible, entre 30% et 45%, ces résines tendent à être plus rigides et sont souvent utilisées lorsque une grande résistance mécanique est requise [7].

Cette composition variée permet aux résines alkydes de répondre à une gamme étendue d'exigences de performance, en fonction des besoins spécifiques des applications telles que les peintures, les vernis, et les revêtements industriels et décoratifs [15–17].

1.7 Synthèse des résines alkydes

Le processus de fabrication des résines alkydes repose sur une série méthodique d'étapes de polycondensation, intégrant divers réactifs pour obtenir des polymères polyester adaptés aux applications spécifiques [9, 15–17].

1. Préparation des réactifs :

Les résines alkydes sont produites en mélangeant des polyacides comme l'anhydride phtalique, des polyols tels que la glycérine, et des huiles végétales ou des acides gras. Ces ingrédients sont soigneusement dosés et mélangés pour assurer une composition chimique précise et équilibrée [9].

2. Chauffage et initiation de la réaction :

Le mélange réactif est chauffé dans un réacteur à une température contrôlée, généralement entre 180 °C et 220 °C. Cette chaleur initiale déclenche la réaction de polycondensation, un processus où les groupes fonctionnels réagissent pour former des liaisons ester, libérant de l'eau comme sous-produit [9].

3. Distillation de l'eau :

Pendant le processus de chauffage, l'eau produite est évacuée du réacteur par distillation à travers un système de condenseurs. Cette étape est essentielle pour favoriser la progression de la réaction tout en éliminant efficacement l'eau excédentaire [9].

4. Maintien sous atmosphère d'azote :

Après la distillation initiale, la réaction se poursuit souvent sous une atmosphère d'azote. Cela aide à maintenir des conditions stables et contrôlées dans le réacteur, favorisant ainsi un degré de polymérisation optimal des résines alkydes [9].

5. Élimination finale de l'eau sous vide :

Pour achever la réaction de polycondensation et garantir la pureté du produit final, un vide est appliqué pour éliminer les dernières traces d'eau résiduelle. Ce processus assure la formation complète des liaisons ester nécessaires pour les propriétés

chimiques et physiques souhaitées des résines alkydes [9].

6. Refroidissement et dissolution dans un solvant :

Une fois la réaction terminée, le polymère fondu est refroidi à une température contrôlée pour stabiliser sa structure moléculaire. Il est ensuite dissous dans un solvant approprié, comme le styrène, pour faciliter son application dans diverses formulations de peintures, vernis ou revêtements [9].

7. Utilisation de catalyseurs :

Des catalyseurs tels que $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ou $\text{Li}(\text{OH})$ peuvent être ajoutés à différentes étapes du processus pour accélérer les réactions de polycondensation et contrôler la qualité et les propriétés finales des résines alkydes [9].

Ce processus complexe et rigoureux garantit la production de résines alkydes aux caractéristiques spécifiques nécessaires pour répondre aux exigences variées des industries, assurant ainsi leur utilisation efficace dans des applications allant de la protection anti-corrosion à l'amélioration esthétique des surfaces.

1.7.1 Catalyseurs utilisés dans la synthèse des résines alkydes

Les catalyseurs jouent un rôle essentiel dans la synthèse des résines alkydes en favorisant la réaction de polycondensation et en influençant les propriétés finales du produit. Voici une liste des principaux types de catalyseurs utilisés et leurs exemples [10, 15–17] :

1. Catalyseurs Acides :

- Acide p-toluenesulfonique (p-TSA) : Utilisé pour catalyser les réactions de condensation des acides et des polyols.
- Acide sulfurique (H_2SO_4) : Également utilisé comme catalyseur acide pour accélérer la polycondensation.

2. Catalyseurs Basiques :

- Hydroxyde de sodium (NaOH) : Utilisé pour neutraliser les acides et faciliter la formation des esters.
- Acétate de sodium (CH_3COONa) : Contribue à stabiliser les réactions de polycondensation en milieu basique.

3. Catalyseurs Organométalliques :

- Butylate de titane ($\text{Ti}(\text{OBu})_4$) : Favorise la formation de liaisons ester dans les résines alkydes.
- Naphénate de cobalt : Utilisé comme catalyseur pour améliorer la polymérisation et la résistance des résines.

Parmi ces catalyseurs, l'un des plus couramment utilisés est :

- Hydroxyde de calcium ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) : Il est largement préféré en raison de sa capacité à catalyser efficacement la polycondensation des acides et des polyols. Utilisé en quantité catalytique, généralement autour de 1% en poids dans la formulation, le $\text{Ca}(\text{OH})_2$ aide à stabiliser et à contrôler la réaction tout en influençant les propriétés thermiques et mécaniques des résines alkydes finales.

Ces catalyseurs sont choisis en fonction des spécificités de la réaction et des propriétés désirées pour les résines alkydes, assurant ainsi leur adaptation aux exigences variées des applications industrielles et commerciales.

1.7.2 Facteurs influençant la qualité des résines

Les facteurs influençant la qualité des résines alkydes sont divers et cruciaux pour leurs propriétés finales [6, 15–17] :

- Composition des Matières Premières : La qualité des résines alkydes dépend significativement des huiles végétales et des acides gras utilisés comme matières premières. Ces composants déterminent les caractéristiques physiques et chimiques de la résine.
- Type de Polyacide : Les polyacides, particulièrement les oligomères d'acides gras végétaux, jouent un rôle crucial dans la formation et la qualité des résines alkydes. Différents types de polyacides influencent la réactivité et la stabilité de la résine.
- Type de Polyol : Les polyols, comme la glycérine, sont essentiels pour ajuster les propriétés finales de la résine alkyde, telles que la flexibilité, la résistance et la durabilité.
- Longueur en Huile : La longueur de la chaîne alkyde dans l'huile affecte directement la viscosité, la solidité et la flexibilité de la résine. Les résines à huile courte sont adaptées à certaines applications spécifiques nécessitant une rapidité de séchage ou une adhérence particulière.

- Catalyseurs : Les catalyseurs utilisés (acides, bases, organométalliques) influencent la vitesse et l'efficacité de la polymérisation, ce qui détermine la réticulation et la dureté de la résine.
- Conditions de Synthèse : Des paramètres comme la température et le temps de réaction sont critiques pour obtenir une réaction de polymérisation contrôlée et uniforme, affectant ainsi la qualité globale de la résine.
- Contrôle de la Masse Molaire : Le poids moléculaire des résines alkydes est ajusté pour garantir des propriétés mécaniques spécifiques comme la résistance à la traction et la flexibilité.
- Contrôle de l'Indice de Polydispersité : L'indice de polydispersité est surveillé pour assurer une distribution moléculaire uniforme, influençant la stabilité et la réactivité de la résine.

Ces facteurs sont tous interconnectés et doivent être soigneusement contrôlés lors de la fabrication des résines alkydes pour garantir des performances et une qualité cohérentes dans diverses applications industrielles et commerciales [6, 15–17].

1.8 Huiles végétales dans la synthèse des polymères

Les huiles végétales sont de plus en plus privilégiées dans la synthèse des polymères en raison de leur caractère renouvelable, de leur biodégradabilité et de leurs propriétés uniques. Les triglycérides présents dans ces huiles peuvent être modifiés chimiquement pour produire des polymères adaptés à diverses applications industrielles et commerciales. Parmi les huiles végétales les plus utilisées figurent l'huile de soja, l'huile de lin, l'huile de ricin, l'huile de tournesol, l'huile de colza et l'huile de palme, chacune offrant un profil en acides gras spécifique qui influence les propriétés finales du polymère [18–23].

Les prix des huiles végétales peuvent varier en fonction de la disponibilité des matières premières agricoles et des conditions climatiques. Les coûts de production des polymères à base d'huile végétale peuvent être influencés par ces fluctuations, ainsi que par les coûts associés à la transformation chimique nécessaire pour obtenir des polymères de haute qualité [18–23].

D'autre part, pour répondre aux défis de durabilité et de compétitivité par rapport aux polymères traditionnels dérivés du pétrole, de nouvelles stratégies émergent. Cela inclut l'optimisation des procédés de transformation des triglycérides, le développement de catalyseurs plus efficaces pour la polymérisation, et l'exploration de techniques avancées de modification chimique. Ces avancées visent à améliorer la résistance mécanique, la stabilité thermique et d'autres propriétés essentielles des polymères à base d'huile végétale [18–23].

1.8.1 Huile de ricin (*Ricinus communis*)

L'huile de ricin dérivée des graines de (*Ricinus communis*) est principalement composée de chaînes d'acide ricinoléique et constitue le composé de choix dans l'industrie chimique en raison de sa haute qualité et de l'uniformité de sa composition. Cette propriété le rend très polyvalent et ouvre différentes perspectives d'application [24–27].

- Applications dans les Plastiques : L'huile de ricin est largement utilisée dans la production de matières plastiques telles que le polyuréthane et les esters de polyol. Ces polymères bénéficient des propriétés spécifiques apportées par l'acide ricinoléique, telles que la flexibilité et la résistance aux solvants .
- Utilisation dans les Polyamides : L'acide sébacique, un dérivé de l'huile de ricin, est un monomère clé pour la synthèse du polyamide 6-10, connu sous le nom commercial de Rilsan. Ce matériau est réputé pour sa résistance mécanique et sa capacité à être utilisé dans des environnements rigoureux .
- Potentiel dans les Lubrifiants : Bien que l'huile de ricin ait été partiellement remplacée par des huiles minérales en raison de sa tendance à s'oxyder rapidement, elle conserve un potentiel important dans la production de lubrifiants pour moteurs à combustion interne. Son utilisation est explorée pour ses propriétés de lubrification efficace et sa capacité à fonctionner à des températures élevées .
- Durabilité et Perspectives Futures : En dépit des défis liés à son oxydation, des efforts sont déployés pour améliorer la stabilité de l'huile de ricin et diversifier ses applications industrielles. Son caractère renouvelable et sa biodégradabilité en font une option attrayante pour les secteurs cherchant à réduire leur empreinte environnementale [24–27].

1.8.1.1 Propriétés physico-chimiques de l'huile de ricin

L'analyse physicochimique de l'huile de ricin est essentielle pour évaluer rigoureusement ses propriétés et sa qualité, garantissant ainsi sa conformité aux normes et aux exigences de sécurité dans diverses applications industrielles et commerciales [24–27].

- Acidité : L'acidité de l'huile de ricin est mesurée pour déterminer la quantité d'acides gras libres présents. Cela est crucial car une acidité élevée peut affecter la stabilité et la durée de conservation de l'huile, ainsi que ses performances dans les applications finales.
- Indice de Peroxyde : L'indice de peroxyde indique le degré d'oxydation de l'huile. Une valeur élevée peut signaler une altération due à l'exposition à l'air et à la lumière, affectant la qualité et la couleur de l'huile, ainsi que ses propriétés physiques et chimiques.
- Teneur en Humidité : La quantité d'eau présente dans l'huile de ricin est mesurée avec précision car une humidité excessive peut conduire à une détérioration accélérée et à une contamination microbologique, compromettant ainsi sa qualité et sa stabilité.
- Couleur : La couleur de l'huile de ricin est évaluée spectrophotométriquement. Une couleur anormale peut indiquer une dégradation ou une contamination, influençant ainsi son acceptabilité pour certaines applications spécifiques, notamment celles nécessitant une apparence esthétique particulière.

Les résultats de ces analyses sont cruciaux pour garantir que l'huile de ricin répond aux normes de qualité et de sécurité requises pour ses diverses applications, allant des plastiques et polymères aux lubrifiants et aux produits cosmétiques. Cette approche analytique permet non seulement de contrôler la qualité du produit final, mais aussi de soutenir le développement de nouvelles formulations et applications innovantes de l'huile de ricin dans des contextes industriels modernes et durables [24–27].

Propriété	Valeur
Teneur en eau	0,5-1,5%
Masse volumique	0,915-0,920 g/cm ³
Indice de réfraction	1,478-1,482
Indice d'acide	2-5 mg KOH/g
Indice de saponification	177-187 mg KOH/g
Indice d'iode	82-90 g I ₂ /100 g
Indice de peroxyde	10-20 mEq/kg
Point de fusion	-10 °C à -5 °C
Point d'ébullition	320 °C à 330 °C
Viscosité	10-15 mm ³ /s à 20 °C

TABLE 1.2: Propriétés de l'huile de ricin

1.8.2 Huile de soja

L'huile de soja, principalement composée d'acides gras polyinsaturés, occupe une place importante dans l'industrie alimentaire en raison de son équilibre en acides gras essentiels. Cette caractéristique en fait un ingrédient polyvalent avec de nombreuses applications diversifiées [28–30].

- Applications Alimentaires : L'huile de soja est largement utilisée dans la production d'huiles comestibles, de margarine et de shortening en raison de sa stabilité et de sa capacité à résister à des températures élevées lors de la cuisson et de la friture. Sa composition en acides gras insaturés en fait un choix préféré pour ceux cherchant à réduire la consommation de graisses saturées [28–30].
- Huile de Soja Raffinée : La variante raffinée de l'huile de soja est idéale pour les applications de friture en raison de sa capacité à maintenir des qualités gustatives et nutritionnelles élevées à des températures élevées [28–30].
- Potentiel dans la Production de Biodiesel : En plus de son utilisation dans l'alimentation, l'huile de soja joue un rôle croissant dans la production de biodiesel en raison de sa haute teneur en acides gras appropriés pour la conversion en biocarburant. Cette utilisation contribue à réduire la dépendance aux carburants fossiles tout en offrant une alternative plus durable [28–30].
- Avantages pour la Santé : La richesse en acides gras insaturés, tels que les acides linoléique et linoléique, confère à l'huile de soja des bénéfices pour la santé cardiovasculaire en aidant à abaisser le taux de cholestérol LDL ("mauvais") tout en augmentant le taux de cholestérol HDL ("bon") [28–30].

L'huile de soja est non seulement un élément essentiel dans l'alimentation quotidienne et l'industrie alimentaire, mais elle joue également un rôle crucial dans la transition vers des pratiques plus durables, notamment dans la production de biocarburants. Son profil nutritionnel équilibré et ses propriétés fonctionnelles en font un ingrédient précieux pour répondre aux besoins diversifiés des consommateurs et des industries à travers le monde [28–30].

1.8.2.1 Propriétés physico-chimiques de l'huile de soja

L'huile de soja est soumise à une analyse physico-chimique approfondie pour une évaluation précise de ses propriétés et de sa qualité. Ces analyses sont essentielles pour assurer que l'huile de soja répond aux normes rigoureuses de qualité et de sécurité requises dans divers secteurs industriels tels que l'alimentation, la cosmétique et la chimie. Les paramètres évalués comprennent notamment :

- Acidité : La mesure de l'acidité de l'huile de soja est cruciale pour déterminer la quantité d'acides gras libres présents, ce qui influence directement sa stabilité et sa durée de conservation.
- Teneur en Humidité : La quantité d'eau présente dans l'huile de soja est mesurée avec précision pour éviter la contamination microbiologique et garantir sa pureté et sa sécurité.
- Couleur : La couleur de l'huile de soja est évaluée spectrophotométriquement pour détecter toute altération ou contamination qui pourrait affecter sa qualité et son acceptabilité pour différentes applications.

Ces analyses permettent également de mesurer des paramètres spécifiques comme l'indice d'iode, qui reflète le degré d'insaturation des acides gras dans l'huile, et l'indice de saponification, qui donne des informations sur la longueur moyenne des chaînes d'acides gras. Ces données sont cruciales pour garantir que l'huile de soja est adaptée à ses diverses utilisations, en assurant des performances optimales dans les formulations alimentaires, cosmétiques et chimiques [28–30].

Deuxième partie

Matériels et Méthodes

Chapitre 2

Matériels et Méthodes

2.1 Produits utilisés pour la synthèse des résines alkydes

2.1.1 Huiles utilisées

Les produits de départ pour le processus selon la présente étude sont deux huiles végétales, ou un mélange d'huiles végétales, contenant des triglycérides d'acides carboxyliques insaturés. Les huiles végétales incluent : l'huile de soja, l'huile de ricin, l'huile de soja récupérée.

2.1.1.1 Huiles de ricin

– Récolte du Ricin :

La récolte du ricin (*Ricinus communis*) a été réalisée dans la wilaya de Béjaïa, une région connue pour l'abondance de ricin. Cette étape cruciale du projet impliquait la sélection des plantes de ricin à un stade optimal de maturité. Après avoir identifié les capsules de graines matures, la récolte a été effectuée avec soin pour assurer la préservation de la qualité des graines destinées à l'extraction d'huile.

– Séchage des Graines :

Les capsules de ricin récoltées ont été soumises à un processus de séchage afin de réduire leur teneur en humidité. Cette étape était essentielle pour faciliter l'extraction ultérieure de l'huile et garantir la conservation optimale des graines. En disposant les

capsules sur des surfaces exposé au soliel.

– **Extraction de l’Huile :**

L’extraction de l’huile de ricin à partir des graines séchées a été réalisée en utilisant une méthode de pressage mécanique. Ce processus a permis de libérer efficacement l’huile contenue dans les graines,

2.1.1.2 Huiles de soja récupérée

– Collecte : Pour initier le processus de récupération, une collaboration étroite avec les restaurants locaux de Bouira a été établie. La collecte de l’huile de soja usagée a été réalisée de manière organisée pour garantir la quantité de l’huile récupérée.

– Filtration et pré-traitement de l’huile usagée : Une fois l’huile de soja usagée récupérée, un pré-traitement était nécessaire pour la préparer aux étapes ultérieures de valorisation. Ce processus comprenait :

1. Filtration : L’huile usagée a été filtrée pour éliminer les particules solides et les résidus alimentaires.
2. Décantation : L’huile filtrée a été laissée à reposer pour permettre la décantation des impuretés restantes.

– Analyse de l’huile récupérée : Avant toute utilisation, une analyse physico-chimique de l’huile récupérée a été effectuée pour évaluer ses propriétés et sa qualité. Les paramètres analysés incluait :

1. Indice d’Acidité : Pour déterminer l’acidité de l’huile et sa stabilité.
2. Teneur en Eau : Pour assurer que l’huile est exempte d’humidité excessive.
3. Couleur : Pour vérifier la pureté sensorielle de l’huile.

– Stockage : Après le pré-traitement, l’huile de soja récupérée a été stockée dans des conteneurs appropriés pour éviter toute dégradation.

2.1.2 Produits chimiques

Le tableau ci-dessous présente les propriétés principales des acides, catalyseurs, alcools et polyols, solvants, bases, utilisés la présente étude :

Produit chimique	Propriétés
Acides	
Acide phtalique	Solide blanc, point de fusion 208°C
Acide benzoïque	Solide blanc, point de fusion 122°C
Acide sulfurique	Liquide, densité 1,84 g/cm ³ à 25°C
Anhydride maléique	Solide, point de fusion 52-54°C
Anhydride phtalique	Solide, point de fusion 130-135°C
Catalyseurs	
Hydroxyde de lithium (LiOH)	Solide blanc, soluble dans l'eau
Alcools et polyols	
Pentaérythritol	Solide blanc, point de fusion 261-262°C
Glycérol (Glycérine)	Liquide visqueux, incolore, non toxique
Éthanol	Liquide, miscible avec l'eau
Solvants	
Xylène	Liquide incolore, miscible avec l'eau
Bases	
Hydroxyde de potassium (KOH)	Solide blanc, soluble dans l'eau
Hydroxyde de sodium (NaOH)	Solide blanc, soluble dans l'eau

TABLE 2.1: Propriétés des produits chimiques

2.2 Synthèse des résines alkydes

2.2.1 Exemple de formulation

Les formulations suivantes ont été réalisées en continu dans un réacteur discontinu agité (CSTR) d'une capacité de travail de 500 ml, équipé d'un agitateur mécanique.

2.2.1.1 Exemple 01

Pour la préparation du mélange réactionnel, les étapes suivantes ont été suivies :

1. Introduction des Ingrédients Initiaux :
 - Huile Végétale : 78 % de l'huile végétale a été introduite dans le réacteur.
 - Pentaérythritol : 7,8
 - Glycérine : 3,9 % de glycérine a été introduit dans le réacteur.
 - Catalyseur LiOH : 0,03 % d'hydroxyde de lithium (LiOH) a été ajouté pour catalyser la réaction.
2. Configuration du Réacteur :
 - Agitation et Température : Le réacteur, équipé d'un agitateur et d'une sonde de température, a été mis en marche pour assurer un mélange homogène. Le

mélange a été chauffé progressivement entre 180°C et 240°C tout en étant continuellement agité.

3. Temps de Réaction :

- Réaction Initiale : Le mélange a été maintenu à cette température élevée pendant une durée déterminée pour permettre la progression de la réaction initiale.

4. Refroidissement Contrôlé :

- Abaissement de la Température : Après le temps de réaction initial, le mélange a été progressivement refroidi jusqu'à atteindre 180°C. Ce refroidissement contrôlé permet de stabiliser le mélange avant l'ajout des composants supplémentaires.

5. Ajout des Acides :

- Acide Benzoïque : À 180 °C, 7,8 % d'acide benzoïque a été ajouté au mélange refroidi.
- Acide Phtalique : Ensuite, 2,35 % d'acide phtalique a été incorporé.

6. Reprise de la Réaction :

- Mélange et Agitation : Le mélange contenant les nouveaux ajouts a été de nouveau agité et maintenu à la température de 180 °C pour permettre la poursuite et la finalisation de la réaction.

7. Synthèse du Produit Final : Cette étape finale vise à compléter la synthèse du produit souhaité, garantissant que toutes les réactions chimiques nécessaires se déroulent de manière efficace et complète.

2.2.1.2 Exemple 02

Pour ce deuxième exemple, le protocole utilisé est similaire à celui décrit dans l'Exemple 01, à l'exception d'une modification de la température de réaction.

- Justification du changement de température :

L'ajustement de la température de réaction de 200 °C à 220 °C dans cet exemple vise à étudier l'impact de la température sur la cinétique de la réaction et les propriétés du produit final. Des températures plus basses peuvent être utilisées pour moduler la réactivité et les caractéristiques physiques du produit, telles que la viscosité, la stabilité thermique et les propriétés mécaniques. En comparant les résultats obtenus

avec ceux de l'Exemple 01, il est possible de déterminer la température optimale pour la synthèse du produit final en fonction des exigences spécifiques de l'application.

2.2.1.3 Exemple 03

Pour ce troisième exemple, une légère modification dans les proportions des ingrédients et l'utilisation de deux catalyseurs sont introduites. Les étapes détaillées de ce processus sont les suivantes :

1. Introduction des Ingrédients Initiaux :
 - Huile Végétale : 82,6 % d'huile végétale a été introduite dans le réacteur.
 - Pentaérythritol : 8,26 % de pentaérythritol a été ajouté à l'huile végétale.
 - Catalyseur H_2SO_4 : 0,41 % d'acide sulfurique (H_2SO_4) a été ajouté comme catalyseur.
 - Catalyseur LiOH : 0,04 % d'hydroxyde de lithium (LiOH) a été également incorporé comme second catalyseur.
2. Agitation et Température : Le réacteur, équipé d'un agitateur et d'une sonde de température, a été mis en marche pour assurer un mélange homogène. Le mélange a été chauffé progressivement entre 180°C et 240°C tout en étant continuellement agité.
3. Temps de Réaction : Le mélange a été maintenu à cette température élevée pendant une durée déterminée pour permettre la progression de la réaction initiale. La combinaison des catalyseurs H_2SO_4 et LiOH favorise une réaction plus efficace.
4. Abaissement de la Température : Après le temps de réaction initial, le mélange a été progressivement refroidi jusqu'à atteindre 180°C. Ce refroidissement contrôlé permet de stabiliser le mélange avant l'ajout des composants supplémentaires.
5. Ajout des Acides :
 - Acide Benzoïque : À 180 °C, 8,26 % d'acide benzoïque a été ajouté au mélange refroidi.
 - Acide Phtalique : Ensuite, 0,41 % d'acide phtalique a été incorporé.
6. Mélange et Agitation : Le mélange contenant les nouveaux ajouts a été de nouveau agité et maintenu à la température de 180 °C pour permettre la poursuite et la finalisation de la réaction.

7. Synthèse du Produit Final : Cette étape finale vise à compléter la synthèse du produit souhaité, garantissant que toutes les réactions chimiques nécessaires se déroulent de manière efficace et complète.

– Justification des Modifications :

L'augmentation de la proportion d'huile végétale à 82,6 % et l'introduction de deux catalyseurs différents (H_2SO_4 et LiOH) sont destinées à améliorer l'efficacité de la réaction et à optimiser les propriétés du produit final. L'acide sulfurique agit comme un catalyseur acide puissant, tandis que l'hydroxyde de lithium peut moduler la réaction de manière complémentaire, offrant ainsi un contrôle plus précis sur la cinétique de la réaction.

2.2.1.4 Exemple 04

Dans ce quatrième exemple, les proportions des ingrédients et l'utilisation de catalyseurs sont encore modifiées pour explorer différentes conditions de réaction.

1. Introduction des Ingrédients Initiaux :

- Huile Végétale : 57,8 % d'huile végétale est introduite dans le réacteur.
- Pentaérythritol : 24,77 % de pentaérythritol est ajouté à l'huile végétale.
- Catalyseur H_2SO_4 : 0,82 % d'acide sulfurique (H_2SO_4) est ajouté comme catalyseur initial.

2. Agitation et Température : Le réacteur, équipé d'un agitateur et d'une sonde de température, est mis en marche pour assurer un mélange homogène. Le mélange est chauffé progressivement entre 180 °C et 240 °C tout en étant continuellement agité.

3. Réaction Initiale : Le mélange est maintenu à cette température élevée pendant une durée déterminée pour permettre la progression de la réaction initiale. L'acide sulfurique agit comme un catalyseur puissant pour initier la réaction.

4. Refroidissement Contrôlé : Après le temps de réaction initial, le mélange est progressivement refroidi jusqu'à atteindre 180 °C. Ce refroidissement contrôlé permet de stabiliser le mélange avant l'ajout des composants supplémentaires.

5. Ajout de :

- Anhydride Maléique : À 180 °C, 16,51 % d’anhydride maléique est ajouté au mélange refroidi.
 - Catalyseur LiOH : Ensuite, 0,08 % d’hydroxyde de lithium (LiOH) est incorporé.
6. Mélange et Agitation : Le mélange contenant les nouveaux ajouts est de nouveau agité et maintenu à la température de 180 °C pour permettre la poursuite et la finalisation de la réaction.
 7. L’étape finale vise à compléter la synthèse du produit souhaité, garantissant que toutes les réactions chimiques nécessaires se déroulent de manière efficace et complète.
- Justification des modifications :

L’augmentation de la proportion de pentaérythritol à 24,77 % et l’utilisation de l’anhydride maléique comme réactif secondaire sont destinées à explorer leur impact sur la structure et les propriétés du produit final. L’anhydride maléique est un réactif polyvalent qui peut introduire des groupes fonctionnels supplémentaires dans le polymère, modifiant ainsi ses propriétés mécaniques et chimiques.

2.2.1.5 Exemple 05

Dans ce cinquième exemple, la composition du mélange de départ est encore modifiée en ajoutant du glycérol pour explorer son effet sur la synthèse du produit final.

1. Introduction des Ingrédients Initiaux :
 - 57,8 % d’huile végétale est introduite dans le réacteur.
 - Pentaérythritol : 24,77 % de pentaérythritol est ajouté à l’huile végétale.
 - Catalyseur H₂SO₄ : 0,82 % d’acide sulfurique (H₂SO₄) est ajouté comme catalyseur initial.
2. Agitation et Température : Le réacteur, équipé d’un agitateur et d’une sonde de température, est mis en marche pour assurer un mélange homogène. Le mélange est chauffé progressivement entre 180 °C et 240 °C tout en étant continuellement agité.

3. Réaction Initiale : Le mélange est maintenu à cette température élevée pendant une durée déterminée pour permettre la progression de la réaction initiale. L'acide sulfurique agit comme un catalyseur puissant pour initier la réaction.
 4. Abaissement de la Température : Après le temps de réaction initial, le mélange est progressivement refroidi jusqu'à atteindre 180 °C. Ce refroidissement contrôlé permet de stabiliser le mélange avant l'ajout des composants supplémentaires.
 5. Ajout des Composants Secondaires :
 - Anhydride Maléique : À 180 °C, 16,51 % d'anhydride maléique est ajouté au mélange refroidi.
 - Glycérol : Ensuite, 2,41 % de glycérol est incorporé dans le mélange.
 - Catalyseur LiOH : Enfin, 0,08 % d'hydroxyde de lithium (LiOH) est ajouté.
 6. Reprise de la Réaction : Le mélange contenant les nouveaux ajouts est de nouveau agité et maintenu à la température de 180°C pour permettre la poursuite et la finalisation de la réaction.
- Justification des Modifications :

L'ajout de 2,41 % de glycérol dans la composition initiale vise à explorer son impact sur la structure et les propriétés du produit final. Le glycérol, étant un triol, peut introduire des groupes fonctionnels supplémentaires dans le polymère, modifiant ainsi ses propriétés mécaniques et chimiques. La présence simultanée de pentaérythritol et de glycérol pourrait offrir une réticulation plus élevée, augmentant la résistance mécanique et la stabilité thermique du produit final.

2.2.1.6 Exemple 06

Cet exemple, nous avons exploré une nouvelle composition et des proportions d'ingrédients pour la synthèse du produit final.

1. Introduction des Ingrédients Initiaux :
 - Huile Végétale : 63,02 % d'huile végétale est introduite dans le réacteur.
 - Pentaérythritol : 15,75 % de pentaérythritol est ajouté à l'huile végétale.
 - Catalyseur H₂SO₄ : 0,1 % d'acide sulfurique (H₂SO₄) est ajouté comme catalyseur initial.

2. Agitation et Température : Le réacteur, équipé d'un agitateur et d'une sonde de température, est mis en marche pour assurer un mélange homogène. Le mélange est chauffé progressivement entre 180 °C et 240 °C tout en étant continuellement agité.
 3. Réaction Initiale : Le mélange est maintenu à cette température élevée pendant une durée déterminée pour permettre la progression de la réaction initiale. L'acide sulfurique agit comme un catalyseur puissant pour initier la réaction.
 4. Abaissement de la Température : Après le temps de réaction initial, le mélange est progressivement refroidi jusqu'à atteindre 180 °C . Ce refroidissement contrôlé permet de stabiliser le mélange avant l'ajout des composants supplémentaires.
 5. Ajout des Composants Secondaires :
 - Acide Phtalique : À 180 °C, 21 % d'acide phtalique est ajouté au mélange refroidi.
 - Catalyseur LiOH : Ensuite, 0,1 % d'hydroxyde de lithium (LiOH) est incorporé.
 6. Mélange et Agitation : Le mélange contenant les nouveaux ajouts est de nouveau agité et maintenu à la température de 180 °C pour permettre la poursuite et la finalisation de la réaction.
- Justification des Modifications :

L'augmentation de la proportion d'huile végétale à 63,02 % et l'utilisation de 21 % d'acide phtalique sont destinées à explorer leur impact sur la structure et les propriétés du produit final. L'acide phtalique est un réactif important qui peut modifier significativement les propriétés mécaniques et chimiques du polymère final. Le pentaérythritol, présent en proportion de 15,75 %, est utilisé pour sa capacité à créer des liaisons réticulées, augmentant ainsi la stabilité et la résistance du produit final.

2.2.1.7 Exemple 07

Cet exemple illustre une nouvelle formulation et des étapes de processus pour la synthèse d'un produit final en utilisant une combinaison d'huile végétale, de pentaérythritol, d'acides et de catalyseurs :

1. Introduction des Ingrédients Initiaux :

- Huile Végétale : 63,02 % d'huile végétale est introduite dans le réacteur.
 - Pentaérythritol : 15,75 % de pentaérythritol est ajouté à l'huile végétale.
 - Catalyseur H_2SO_4 : 0,1 % d'acide sulfurique (H_2SO_4) est ajouté comme catalyseur initial.
2. Agitation et Température : Le réacteur, équipé d'un agitateur et d'une sonde de température, est mis en marche pour assurer un mélange homogène. Le mélange est chauffé progressivement entre 180 °C et 240 °C tout en étant continuellement agité.
 3. Réaction Initiale : Le mélange est maintenu à cette température élevée pendant une durée déterminée pour permettre la progression de la réaction initiale. L'acide sulfurique agit comme un catalyseur puissant pour initier la réaction.
 4. Abaissement de la Température : Après le temps de réaction initial, le mélange est progressivement refroidi jusqu'à atteindre 180 °C. Ce refroidissement contrôlé permet de stabiliser le mélange avant l'ajout des composants supplémentaires.
 5. Ajout des Composants Secondaires :
 - Acide Benzoïque : À 180 °C, 21 % d'acide benzoïque est ajouté au mélange refroidi.
 - Catalyseur LiOH : Ensuite, 0,1 % d'hydroxyde de lithium (LiOH) est incorporé.
 6. Mélange et Agitation : Le mélange contenant les nouveaux ajouts est de nouveau agité et maintenu à la température de 180 °C pour permettre la poursuite et la finalisation de la réaction.
- Justification des Modifications :

L'utilisation de 21 % d'acide benzoïque, en lieu et place de l'acide phtalique utilisé dans un exemple précédent, permet d'examiner comment ce changement affecte les propriétés chimiques et physiques du produit final. L'acide benzoïque, connu pour ses propriétés stabilisatrices et plastifiantes, pourrait conférer au polymère final des caractéristiques distinctes, telles que des modifications de la flexibilité et de la durabilité. Le pentaérythritol, présent en proportion de 15,75 %, joue un rôle crucial dans la formation de réseaux réticulés, augmentant la stabilité et la résistance du produit final.

2.2.1.8 Exemple 08

Cet exemple décrit le protocole détaillé pour la synthèse d'un produit final en utilisant une autre combinaison d'huile végétale, de pentaérythritol, d'acides et de catalyseurs :

1. Introduction des Ingrédients Initiaux :
 - Huile Végétale : 70,25 % d'huile végétale est introduite dans le réacteur.
 - Pentaérythritol : 17,56 % de pentaérythritol est ajouté à l'huile végétale.
 - Catalyseur H_2SO_4 : 0,12 % d'acide sulfurique (H_2SO_4) est ajouté comme catalyseur initial.
 2. Agitation et Température : Le réacteur, équipé d'un agitateur et d'une sonde de température, est mis en marche pour assurer un mélange homogène. Le mélange est chauffé progressivement entre 180 °C et 240 °C tout en étant continuellement agité.
 3. Temps de Réaction : Le mélange est maintenu à cette température élevée pendant une durée déterminée pour permettre la progression de la réaction initiale. L'acide sulfurique agit comme un catalyseur puissant pour initier la réaction.
 4. Abaissement de la Température : Après le temps de réaction initial, le mélange est progressivement refroidi jusqu'à atteindre 180 °C. Ce refroidissement contrôlé permet de stabiliser le mélange avant l'ajout des composants supplémentaires.
 5. Ajout des Composants Secondaires :
 - Acide Benzoïque : À 180 °C, 11,7 % d'acide benzoïque est ajouté au mélange refroidi.
 - Catalyseur LiOH : Ensuite, 0,35 % d'hydroxyde de lithium (LiOH) est incorporé.
 6. Reprise de la Réaction : Le mélange contenant les nouveaux ajouts est de nouveau agité et maintenu à la température de 180 °C pour permettre la poursuite et la finalisation de la réaction.
- Justification des Modifications

L'utilisation de 11,7 % d'acide benzoïque permet de tester son effet sur la réactivité et les propriétés finales du produit en comparaison avec des acides plus couramment utilisés. Le pentaérythritol, présent en proportion de 17,56 %, favorise la réticulation et confère une meilleure stabilité thermique et mécanique au polymère.

2.2.1.9 Exemple 09

Cet exemple décrit le protocole détaillé pour la synthèse d'un produit final en utilisant une combinaison spécifique d'huile végétale, de pentaérythritol, d'acides et de catalyseurs. Ce protocole suit les mêmes étapes que l'Exemple 08, mais avec une substitution de l'acide benzoïque par l'acide phtalique.

– Justification des Modifications :

L'utilisation de l'acide phtalique à la place de l'acide benzoïque permet de comparer les effets de ces deux acides sur la réactivité et les propriétés finales du polymère. L'acide phtalique est couramment utilisé dans la synthèse des résines alkydes, ce qui peut influencer positivement la réticulation et les propriétés mécaniques du produit final.

2.2.1.10 Exemple 10

Cet exemple décrit le protocole détaillé pour la synthèse d'un produit final en utilisant une combinaison d'huile végétale, de pentaérythritol, d'acide benzoïque et de catalyseur H_2SO_4 .

1. Introduction des Ingrédients Initiaux :

- Huile Végétale : 83,4 % d'huile végétale est introduite dans le réacteur.
- Pentaérythritol : 17,98 % de pentaérythritol est ajouté à l'huile végétale.
- Catalyseur H_2SO_4 : 0,11 % d'acide sulfurique (H_2SO_4) est ajouté comme catalyseur initial.

2. Agitation et Température : Le réacteur, équipé d'un agitateur et d'une sonde de température, est mis en marche pour assurer un mélange homogène. Le mélange est chauffé progressivement entre 180 °C et 240°C tout en étant continuellement agité.

3. Temps de Réaction : Le mélange est maintenu à cette température élevée pendant une durée déterminée pour permettre la progression de la réaction initiale. L'acide sulfurique agit comme un catalyseur puissant pour initier la réaction.

4. Abaissement de la Température : Après le temps de réaction initial, le mélange est progressivement refroidi jusqu'à atteindre 180 °C. Ce refroidissement contrôlé permet de stabiliser le mélange avant l'ajout des composants supplémentaires.
 5. Ajout des Composants Secondaires : Acide Benzoïque : À 180 °C, 9,59 % d'acide benzoïque est ajouté au mélange refroidi.
 6. Reprise de la Réaction : Le mélange contenant les nouveaux ajouts est de nouveau agité et maintenu à la température de 180 °C pour permettre la poursuite et la finalisation de la réaction.
- Justification des Modifications :

L'utilisation d'une quantité plus élevée d'huile végétale par rapport aux autres exemples vise à optimiser la réaction pour des conditions spécifiques et à examiner l'impact de l'acide benzoïque sur la réticulation et les propriétés mécaniques du polymère final. L'acide benzoïque est choisi pour son influence sur la stabilité et la durabilité du produit final.

2.2.1.11 Exemple 11

Cet exemple suit le même protocole que l'Exemple 08, avec une modification clé : l'acide benzoïque est remplacé par l'acide phtalique.

- Justification des Modifications :

Le remplacement de l'acide benzoïque par l'acide phtalique vise à explorer l'influence de différents acides sur la structure et les propriétés du polymère final. L'acide phtalique, en raison de sa structure et de ses propriétés chimiques, peut offrir des caractéristiques mécaniques et thermiques distinctes par rapport à l'acide benzoïque.

Cet exemple démontre l'impact de la substitution d'acides dans le protocole de synthèse de polymères. En utilisant l'acide phtalique à la place de l'acide benzoïque, on peut observer des variations dans les propriétés finales du produit, telles que la résistance mécanique et la stabilité thermique, offrant ainsi des options pour des applications spécifiques. Cette approche comparative est essentielle pour optimiser les formulations de polymères pour diverses utilisations industrielles.

2.2.1.12 Exemple 12

Cet exemple décrit un protocole pour la synthèse d'un polymère en utilisant deux huiles végétales différentes, du glycérol et des catalyseurs spécifiques.

1. Introduction des Ingrédients Initiaux :
 - Huiles Végétales : 82,16 % de deux huiles végétales différentes sont introduites dans le réacteur.
 - Glycérol : 7,81 % de glycérol est ajouté aux huiles végétales.
 - Catalyseur H_2SO_4 : 0,08 % d'acide sulfurique (H_2SO_4) est ajouté comme catalyseur initial.
 2. Agitation et Température : Le réacteur, équipé d'un agitateur et d'une sonde de température, est mis en marche pour assurer un mélange homogène. Le mélange est chauffé progressivement entre 180 °C et 240 °C tout en étant continuellement agité.
 3. Temps de Réaction : Le mélange est maintenu à cette température élevée pendant une durée déterminée pour permettre la progression de la réaction initiale. L'acide sulfurique agit comme un catalyseur puissant pour initier la réaction.
 4. Abaissement de la Température : Après le temps de réaction initial, le mélange est progressivement refroidi jusqu'à atteindre 180 °C. Ce refroidissement contrôlé permet de stabiliser le mélange avant l'ajout des composants supplémentaires.
 5. Ajout des Composants Secondaires :
 - Acide Benzoïque : À 180 °C, 9,86 % d'acide benzoïque est ajouté au mélange refroidi.
 - Catalyseur LiOH : 0,08 % de LiOH est également ajouté au mélange.
 6. Reprise de la Réaction : Le mélange contenant les nouveaux ajouts est de nouveau agité et maintenu à la température de 180 °C pour permettre la poursuite et la finalisation de la réaction.
- Justification des Ingrédients :
- Huiles Végétales : L'utilisation de deux huiles différentes permet de combiner les avantages et les propriétés uniques de chaque huile, offrant ainsi une meilleure optimisation

des caractéristiques finales du polymère.

- Glycérol : Le glycérol, en tant que polyol, joue un rôle crucial dans la formation du réseau polymérique, influençant la flexibilité et la résistance du produit final.
- Catalyseurs H₂SO₄ et LiOH : L'acide sulfurique initie la réaction en brisant les liaisons des triglycérides dans les huiles végétales, tandis que LiOH est utilisé pour poursuivre la polymérisation et ajuster la viscosité et la réactivité du mélange.

Cet exemple illustre l'impact de l'utilisation de deux huiles végétales différentes et du glycérol sur la synthèse des polymères. En optimisant les ingrédients et les conditions de réaction, il est possible de créer des polymères aux propriétés spécifiques adaptées à diverses applications industrielles. Le protocole détaillé ici fournit une méthode efficace pour explorer ces possibilités et obtenir des résultats fiables et reproductibles.

2.2.1.13 Exemple 13

Cet exemple décrit un protocole de synthèse de polymère en utilisant deux huiles végétales différentes, du glycérol et des catalyseurs spécifiques.

1. Introduction des Ingrédients Initiaux :
 - Huiles Végétales : 81,54 % de deux huiles végétales différentes sont introduites dans le réacteur.
 - Glycérol : 8,48 % de glycérol est ajouté aux huiles végétales.
 - Catalyseur LiOH : 0,08 % de LiOH est ajouté comme catalyseur initial.
2. Agitation et Température : Le réacteur, équipé d'un agitateur et d'une sonde de température, est mis en marche pour assurer un mélange homogène. Le mélange est chauffé progressivement entre 180 °C et 240 °C tout en étant continuellement agité.
3. Temps de Réaction : Le mélange est maintenu à cette température élevée pendant une durée déterminée pour permettre la progression de la réaction initiale. Le catalyseur LiOH joue un rôle crucial dans l'initiation de la réaction.

4. Abaissement de la Température : Après le temps de réaction initial, le mélange est progressivement refroidi jusqu'à atteindre 180 °C. Ce refroidissement contrôlé permet de stabiliser le mélange avant l'ajout des composants supplémentaires.
 5. Ajout des Composants Secondaires :
 - Acide Benzoïque : À 180 °C, 8,15 % d'acide benzoïque est ajouté au mélange refroidi.
 - Anhydride Maléique : 1,7 % d'anhydride maléique est également ajouté.
 - Catalyseur LiOH : Un supplément de 0,04 % de LiOH est ajouté pour renforcer l'efficacité catalytique.
 6. Mélange et Agitation : Le mélange contenant les nouveaux ajouts est de nouveau agité et maintenu à la température de 180°C pour permettre la poursuite et la finalisation de la réaction.
- Justification des Ingrédients :
- Huiles Végétales : L'utilisation de deux huiles différentes permet de combiner les avantages et les propriétés uniques de chaque huile, offrant ainsi une meilleure optimisation des caractéristiques finales du polymère.
 - Glycérol : Le glycérol, en tant que polyol, joue un rôle crucial dans la formation du réseau polymérique, influençant la flexibilité et la résistance du produit final.
 - Catalyseur LiOH : LiOH est utilisé pour initier et poursuivre la polymérisation, ajustant la viscosité et la réactivité du mélange.
 - Acide Benzoïque et Anhydride Maléique : Ces acides ajoutés à 180 °C jouent un rôle clé dans la formation des liaisons nécessaires pour la structure du polymère final, influençant ses propriétés mécaniques et chimiques.

2.2.1.14 Exemple 14

Cet exemple décrit un protocole de synthèse de polymère en utilisant deux huiles végétales différentes, du glycérol et des catalyseurs spécifiques.

1. Introduction des Ingrédients Initiaux :
 - Huiles Végétales : 78,7 % de deux huiles végétales différentes sont introduites dans le réacteur.

- Glycérol : 7,48 % de glycérol est ajouté aux huiles végétales.
 - Catalyseur H_2SO_4 : 0,07 % de H_2SO_4 est ajouté comme catalyseur initial.
2. Agitation et Température : Le réacteur, équipé d'un agitateur et d'une sonde de température, est mis en marche pour assurer un mélange homogène. Le mélange est chauffé progressivement entre 180 °C et 240 °C tout en étant continuellement agité.
 3. Temps de Réaction : Le mélange est maintenu à cette température élevée pendant une durée déterminée pour permettre la progression de la réaction initiale. Le catalyseur H_2SO_4 joue un rôle crucial dans l'initiation de la réaction.
 4. Abaissement de la Température : Après le temps de réaction initial, le mélange est progressivement refroidi jusqu'à atteindre 180 °C. Ce refroidissement contrôlé permet de stabiliser le mélange avant l'ajout des composants supplémentaires.
 5. Ajout des Composants Secondaires :
 - Acide Phtalique : À 180 °C, 13,49 % d'acide phtalique est ajouté au mélange refroidi.
 - Catalyseur LiOH : Un supplément de 0,07 % de LiOH est ajouté pour renforcer l'efficacité catalytique.
 6. Reprise de la Réaction : Le mélange contenant les nouveaux ajouts est de nouveau agité et maintenu à la température de 180 °C pour permettre la poursuite et la finalisation de la réaction.
- Justification des Ingrédients :
 - Huiles Végétales : L'utilisation de deux huiles différentes permet de combiner les avantages et les propriétés uniques de chaque huile, offrant ainsi une meilleure optimisation des caractéristiques finales du polymère.
 - Glycérol : Le glycérol, en tant que polyol, joue un rôle crucial dans la formation du réseau polymérique, influençant la flexibilité et la résistance du produit final.
 - Catalyseur H_2SO_4 : H_2SO_4 est utilisé pour initier et poursuivre la polymérisation, ajustant la viscosité et la réactivité du mélange.
 - Acide Phtalique : L'acide phtalique ajouté à 180 °C joue un rôle clé dans la formation des liaisons nécessaires pour la structure du polymère final, influençant ses propriétés mécaniques et chimiques.

Cet exemple illustre un processus détaillé pour la synthèse de polymères en utilisant un mélange spécifique de deux huiles végétales, du glycérol et des catalyseurs. En optimisant les ingrédients et les conditions de réaction, il est possible de créer des polymères aux propriétés spécifiques adaptées à diverses applications industrielles. Le protocole décrit ici fournit une méthode efficace pour explorer ces possibilités et obtenir des résultats fiables et reproductibles.

2.2.1.15 Exemple 15

Cet exemple décrit un protocole de synthèse de polymère en utilisant deux huiles végétales différentes, du glycérol, et des catalyseurs spécifiques.

1. Introduction des Ingrédients Initiaux :
 - Huiles Végétales : 83,31 % de deux huiles végétales différentes sont introduites dans le réacteur.
 - Glycérol : 7,92 % de glycérol est ajouté aux huiles végétales.
 - Catalyseur H_2SO_4 : 0,08 % de H_2SO_4 est ajouté comme catalyseur initial.
2. Agitation et Température : Le réacteur, équipé d'un agitateur et d'une sonde de température, est mis en marche pour assurer un mélange homogène. Le mélange est chauffé progressivement entre 180°C et 240°C tout en étant continuellement agité.
3. Temps de Réaction : Le mélange est maintenu à cette température élevée pendant une durée déterminée pour permettre la progression de la réaction initiale. Le catalyseur H_2SO_4 joue un rôle crucial dans l'initiation de la réaction.
4. Abaissement de la Température : Après le temps de réaction initial, le mélange est progressivement refroidi jusqu'à atteindre 180 °C. Ce refroidissement contrôlé permet de stabiliser le mélange avant l'ajout des composants supplémentaires.
5. Ajout des Composants Secondaires :
 - Anhydride Maléique : À 180 °C, 8,43 % d'anhydride maléique est ajouté au mélange refroidi.
 - Catalyseur LiOH : Un supplément de 0,08 % de LiOH est ajouté pour renforcer l'efficacité catalytique.

6. Reprise de la Réaction : Le mélange contenant les nouveaux ajouts est de nouveau agité et maintenu à la température de 180 °C pour permettre la poursuite et la finalisation de la réaction.
- Justification des Ingrédients :
 - Huiles Végétales : L'utilisation de deux huiles différentes permet de combiner les avantages et les propriétés uniques de chaque huile, offrant ainsi une meilleure optimisation des caractéristiques finales du polymère.
 - Glycérol : Le glycérol, en tant que polyol, joue un rôle crucial dans la formation du réseau polymérique, influençant la flexibilité et la résistance du produit final.
 - Catalyseur H_2SO_4 : H_2SO_4 est utilisé pour initier et poursuivre la polymérisation, ajustant la viscosité et la réactivité du mélange.
 - Anhydride Maléique : L'anhydride maléique ajouté à 180 °C joue un rôle clé dans la formation des liaisons nécessaires pour la structure du polymère final, influençant ses propriétés mécaniques et chimiques.

Cet exemple illustre un processus détaillé pour la synthèse de polymères en utilisant un mélange spécifique de deux huiles végétales, du glycérol, et des catalyseurs. En optimisant les ingrédients et les conditions de réaction, il est possible de créer des polymères aux propriétés spécifiques adaptées à diverses applications industrielles. Le protocole décrit ici fournit une méthode efficace pour explorer ces possibilités et obtenir des résultats fiables et reproductibles.

2.2.1.16 Exemple 16

Dans cet exemple, un processus de synthèse de polymère est décrit, utilisant deux huiles végétales différentes, du pentaérythritol et des catalyseurs spécifiques.

1. Introduction des Ingrédients Initiaux :
 - Huiles Végétales : 74,96 % d'un mélange de deux huiles végétales différentes sont introduites dans le réacteur.
 - Pentaérythritol : 10,49 % de pentaérythritol est ajouté aux huiles végétales.
 - Catalyseur H_2SO_4 : 0,07 % de H_2SO_4 est utilisé comme catalyseur initial.

2. Agitation et Température : Le réacteur est équipé d'un agitateur et d'une sonde de température pour assurer un mélange homogène. Le mélange est chauffé et maintenu entre 180 °C et 240 °C tout au long du processus.
 3. Temps de Réaction : Le mélange est agité et chauffé pendant un certain temps pour permettre la progression de la réaction chimique.
 4. Abaissement de la Température : Une fois la réaction initiale complétée, le mélange est refroidi à 180 °C pour stabiliser la réaction avant les ajouts suivants.
 5. Ajout des Composants Secondaires :
 - Acide Phtalique : À 180 °C, 12,85 % d'acide phtalique est ajouté au mélange refroidi pour continuer la réaction.
 - Acétate de Sodium : 1,53 % d'acétate de sodium est également ajouté à cette étape pour ajuster les propriétés du polymère final.
 - Catalyseur LiOH : Un supplément de 0,07 % de LiOH est ajouté pour renforcer l'efficacité catalytique.
 6. Mélange et Agitation : Le mélange final est agité à la température de 180 °C pour permettre la complétion de la réaction et la formation du produit final souhaité.
- Justification des Ingrédients
 - Huiles Végétales : La combinaison de deux huiles végétales différentes permet de tirer parti des propriétés spécifiques de chaque huile, offrant une diversité de propriétés au polymère final.
 - Pentaérythritol : Utilisé comme agent de réticulation, le pentaérythritol contribue à la structure tridimensionnelle du polymère, améliorant sa stabilité et ses propriétés mécaniques.
 - Catalyseur H₂SO₄ : H₂SO₄ agit comme catalyseur pour initier et promouvoir la polymérisation des composants réactifs, influençant ainsi la vitesse et l'efficacité de la réaction.
 - Acide Phtalique : Ajouté pour moduler les propriétés chimiques et physiques du polymère final, l'acide phtalique participe à la formation des liaisons ester cruciales dans la structure du polymère.
 - Acétate de Sodium : Utilisé comme agent ajustant les propriétés, l'acétate de sodium peut stabiliser et améliorer la réactivité du mélange réactionnel.
 - Catalyseur LiOH : Le LiOH agit comme catalyseur supplémentaire pour optimiser la réaction chimique et garantir la complète conversion des réactifs en polymère.

Cet exemple illustre une méthodologie efficace pour la synthèse contrôlée de polymères en utilisant des ingrédients spécifiques et des conditions opératoires optimisées. La sélection minutieuse des composants et la manipulation précise des paramètres de réaction garantissent la production d'un polymère aux propriétés désirées pour diverses applications industrielles.

2.2.1.17 Exemple 17

Dans cet exemple, le processus de synthèse de polymères utilise deux types d'huiles végétales différentes, du pentaérythritol et des catalyseurs spécifiques.

1. Introduction des Ingrédients Initiaux :
 - Huiles Végétales : 80,43 % d'un mélange de deux huiles végétales différentes sont introduites dans le réacteur.
 - Pentaérythritol : 11,26 % de pentaérythritol est ajouté aux huiles végétales.
 - Catalyseur H_2SO_4 : 0,08 % de H_2SO_4 est utilisé comme catalyseur initial.
 2. Agitation et Température : Le réacteur est équipé d'un agitateur et d'une sonde de température pour assurer un mélange homogène. Le mélange est chauffé et maintenu entre 180 °C et 240 °C tout au long du processus.
 3. Temps de Réaction : Le mélange est agité et chauffé pendant un certain temps pour permettre la progression de la réaction chimique.
 4. Abaissement de la Température : Une fois la réaction initiale complétée, le mélange est refroidi à 180 °C pour stabiliser la réaction avant les ajouts suivants.
 5. Ajout des Composants Secondaires :
 - Anhydride Maléique : À 180 °C, 8,14 % d'anhydride maléique est ajouté au mélange refroidi pour continuer la réaction.
 - Catalyseur LiOH : Un supplément de 0,08 % de LiOH est ajouté pour renforcer l'efficacité catalytique.
 6. Finalisation de la Réaction : Le mélange final est agité à la température de 180 °C pour permettre la complétion de la réaction et la formation du produit final souhaité.
- Justification des Ingrédients

- Huiles Végétales : La combinaison de deux huiles végétales différentes permet de tirer parti des propriétés spécifiques de chaque huile, offrant une diversité de propriétés au polymère final.
- Pentaérythritol : Utilisé comme agent de réticulation, le pentaérythritol contribue à la structure tridimensionnelle du polymère, améliorant sa stabilité et ses propriétés mécaniques.
- Catalyseur H_2SO_4 : H_2SO_4 agit comme catalyseur pour initier et promouvoir la polymérisation des composants réactifs, influençant ainsi la vitesse et l'efficacité de la réaction.
- Anhydride Maléique : Ajouté pour moduler les propriétés chimiques et physiques du polymère final, l'anhydride maléique participe à la formation des liaisons ester cruciales dans la structure du polymère.
- Catalyseur LiOH : Le LiOH agit comme catalyseur supplémentaire pour optimiser la réaction chimique et garantir la complète conversion des réactifs en polymère.

Cet exemple illustre une méthodologie efficace pour la synthèse contrôlée de polymères en utilisant des ingrédients spécifiques et des conditions opératoires optimisées. La sélection minutieuse des composants et la manipulation précise des paramètres de réaction garantissent la production d'un polymère aux propriétés désirées pour diverses applications industrielles.

Troisième partie

Résultats et Discussion

Chapitre 3

Résultats et Discussion

3.1 Caractérisation physico-chimiques des huiles utilisées

3.1.1 Huile de soja récupérée

Les résultats des analyses physico-chimiques de l'huile de soja récupérée sont résumés dans le tableau 1.1 ci-dessous :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	2.3 mg KOH/g
Indice d'Iode	81.53 g I ₂ /100g
Viscosité	43.637 cP
Couleur	Jaune foncé à brun

TABLE 3.1: Résultats des analyses physico-chimiques de l'huile de soja récupérée

Les résultats indiquent que l'indice d'acide de 2.3 mg KOH/g est faible, suggérant une faible quantité d'acides gras libres. Cela témoigne de la bonne qualité de l'huile de soja, avec peu de signes de dégradation par hydrolyse ou oxydation. Cette faible acidité est favorable pour les applications industrielles car elle réduit les risques de corrosion et de détérioration des matériaux en contact avec l'huile.

L'indice d'iode de 81.53 g I₂/100g indique un niveau modéré d'insaturation, crucial pour déterminer la stabilité et les propriétés de l'huile dans diverses applications industrielles telles que les lubrifiants et les produits cosmétiques. Ce niveau modéré assure un bon

équilibre entre la flexibilité et la résistance à l'oxydation de l'huile.

La viscosité mesurée à 43.637 cP indique une consistance modérée, adaptée à de nombreuses utilisations industrielles nécessitant à la fois une fluidité suffisante et une capacité de lubrification adéquate.

La couleur variant du jaune foncé au brun suggère que l'huile de soja est soit moins raffinée, soit contient des composés naturels comme des pigments et des antioxydants bénéfiques. Cette caractéristique peut être avantageuse dans certaines applications industrielles où ces composés ajoutent de la valeur.

En conclusion, les résultats des analyses confirment que l'huile de soja récupérée répond aux normes, garantissant sa stabilité chimique et minimisant les risques de corrosion. Ces caractéristiques font de cette huile un choix favorable pour diverses applications industrielles.

3.1.2 Huile de ricin

Les résultats des analyses physico-chimiques de l'huile de soja récupérée sont résumés dans le tableau 3.2 ci-dessous :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	1.7 mg KOH/g
Indice d'Iode	83 g I ₂ /100g
Viscosité	750 cP
Couleur	Incolore à jaune

TABLE 3.2: Résultats des analyses physico-chimiques de l'huile de ricin

L'analyse des résultats montre qu'un indice d'acide de 1.7 mg KOH/g indique une faible quantité d'acides gras libres. Cela suggère que l'huile de ricin analysée est de bonne qualité et n'a pas subi de dégradation significative par hydrolyse ou oxydation. Une faible acidité est avantageuse pour les applications industrielles, car elle réduit les risques de corrosion et de détérioration des matériaux en contact avec l'huile.

L'indice d'iode de 83 g I₂/100g révèle un niveau modéré d'insaturation. Ce degré d'insaturation est essentiel pour déterminer la stabilité et les propriétés de l'huile dans des applications industrielles, telles que les lubrifiants, les produits cosmétiques et les aliments transformés. Un indice d'iode modéré assure un équilibre entre la flexibilité et la résistance à l'oxydation de l'huile.

La viscosité de 750 cP indique une consistance épaisse, bénéfique pour de nombreuses utilisations industrielles nécessitant une certaine fluidité tout en maintenant une capacité de lubrification adéquate.

La couleur de l'huile, allant de l'incolore au jaune, suggère que l'huile de ricin est bien raffinée ou qu'elle contient des composés naturels bénéfiques, tels que des pigments et des antioxydants. Cette caractéristique peut être particulièrement avantageuse pour certaines applications industrielles où ces composés ajoutent de la valeur.

3.2 Résultats des résines alkydes obtenues

3.2.1 Exemple 01

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les résines alkydes formulées sont illustrés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	10.5 mg KOH/g
Indice de Saponification	312 mg KOH/g
Viscosité	376 cP
Couleur	Marron
Durée de séchage	Lente

TABLE 3.3: Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 01

Les résultats des analyses physico-chimiques de la résine alkyde pour l'Exemple 01, présentés dans le tableau 03, révèlent plusieurs aspects importants de ses propriétés :

1. Indice d'Acide : 10.5 mg KOH/g
 - Un indice d'acide de 10.5 mg KOH/g indique la présence d'une certaine quantité

d'acides libres dans la résine. Bien que cela soit relativement modéré, cela peut influencer la réactivité et la stabilité de la résine. Un indice d'acide élevé peut suggérer une possible hydrolyse ou dégradation des esters dans la résine.

2. Indice de Saponification : 312 mg KOH/g

- L'indice de saponification de 312 mg KOH/g est élevé, ce qui indique que la résine contient une quantité substantielle de groupements esters susceptibles de réagir avec les alcalis pour former des savons. Cela reflète la nature complexe de la résine alkyde, qui est composée de nombreux esters formés à partir de polyols et d'acides gras.

3. Viscosité : 376 cP

- Une viscosité de 376 cP suggère que la résine a une consistance relativement épaisse. Cela peut être favorable pour certaines applications industrielles, comme les revêtements, où une certaine viscosité est nécessaire pour assurer une application uniforme et une bonne couverture.

4. Couleur : Marron

- La couleur marron de la résine peut indiquer la présence de composants naturels non éliminés lors du processus de fabrication, ou la formation de produits colorés lors de la réaction de polymérisation. Cela peut affecter l'apparence finale du produit dans certaines applications, mais peut être modifié ou amélioré par des procédés de post-traitement.

5. Durée de Séchage : Lente - La mention d'une durée de séchage lente indique que la résine prend un certain temps pour durcir complètement après application. Cela peut être un inconvénient pour des applications nécessitant un durcissement rapide. Cependant, pour certaines applications, une durée de séchage plus longue peut permettre un étalement plus uniforme et une meilleure adhésion.

Les résultats montrent que la résine alkyde formulée selon l'Exemple 01 a des propriétés chimiques et physiques spécifiques adaptées à des utilisations industrielles particulières. L'indice d'acide modéré et l'indice de saponification élevé reflètent une structure chimique complexe typique des résines alkydes. La viscosité épaisse est avantageuse pour les applications nécessitant une couverture uniforme, tandis que la couleur marron peut nécessiter un ajustement selon les besoins esthétiques. Enfin, la durée de séchage lente doit être prise en compte lors de la planification de son utilisation dans des environnements où le temps de durcissement est critique.

3.2.2 Exemple 02

Les résultats des analyses physico-chimiques de la résine alkyde pour l'Exemple 02, présentés dans le tableau 3.4, révèlent plusieurs aspects importants de ses propriétés :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	10.23 mg KOH/g
Indice de Saponification	308 mg KOH/g
Viscosité	368 cP
Couleur	Maron
Durée de séchage	Lente

TABLE 3.4: Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 02

Les résultats des analyses physico-chimiques de la résine alkyde pour l'Exemple 02, présentés dans le tableau 04, révèlent plusieurs aspects importants de ses propriétés :

1. Indice d'Acide : 10.23 mg KOH/g
 - Un indice d'acide de 10.23 mg KOH/g indique la présence d'une quantité modérée d'acides libres dans la résine. Comme pour l'Exemple 01, cela peut influencer la réactivité et la stabilité de la résine. Une faible quantité d'acides libres est souhaitable pour minimiser la possibilité de dégradation et assurer une meilleure durabilité.
2. Indice de Saponification : 308 mg KOH/g
 - L'indice de saponification de 308 mg KOH/g, bien que légèrement inférieur à celui de l'Exemple 01, reste élevé. Cela indique une présence significative de groupements esters, ce qui est typique des résines alkydes, et reflète la complexité chimique de la résine.
3. Viscosité : 368 cP
 - Une viscosité de 368 cP est légèrement inférieure à celle de l'Exemple 01. Cette légère diminution pourrait améliorer la maniabilité de la résine lors de son application, tout en maintenant une consistance relativement épaisse favorable pour une bonne couverture.
4. Couleur : Marron
 - La couleur marron indique, comme pour l'Exemple 01, la présence de composants naturels non éliminés ou la formation de produits colorés lors de la polymérisation. Cette couleur peut être un facteur à prendre en compte selon les exigences esthétiques de l'application finale.

5. Durée de Séchage : Lente - La durée de séchage lente est identique à celle observée pour l'Exemple 01. Cela signifie que la résine prend un certain temps pour durcir complètement après application, ce qui peut être un avantage ou un inconvénient selon l'application.

Les résultats montrent que la résine alkyde formulée selon l'Exemple 02 possède des propriétés similaires à celles de l'Exemple 01, avec quelques différences mineures dans l'indice d'acide, l'indice de saponification et la viscosité. Ces différences peuvent influencer légèrement les performances et l'utilisation de la résine. L'indice d'acide et l'indice de saponification indiquent une structure chimique complexe, typique des résines alkydes. La viscosité est suffisamment élevée pour garantir une bonne couverture, tandis que la couleur marron et la durée de séchage lente sont des caractéristiques à considérer selon les besoins spécifiques de l'application industrielle.

3.2.3 Exemple 03

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les résines alkydes formulées sont illustrés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	12 mg KOH/g
Indice de Saponification	388 mg KOH/g
Viscosité	451 cP
Couleur	Maron
Durée de séchage	Lente

TABLE 3.5: Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 03

L'analyse des résultats physico-chimiques de la résine alkyde présentée dans le Tableau 3.5 révèle plusieurs aspects clés de ses propriétés :

1. Indice d'Acide (12 mg KOH/g) :
 - La résine présente une quantité modérée d'acides libres. Cette valeur relativement élevée peut indiquer une certaine réactivité de la résine, influençant ses propriétés d'adhérence et de durabilité. Une acidité modérée est généralement acceptable pour de nombreuses applications industrielles, mais il est crucial de surveiller cet aspect pour éviter la corrosion des substrats sur lesquels la résine est appliquée.

Une gestion appropriée de l'acidité est essentielle pour garantir la longévité et l'efficacité des revêtements réalisés avec cette résine.

2. Indice de Saponification (388 mg KOH/g) :

- L'indice de saponification élevé indique une forte proportion d'acides gras saponifiables dans la résine. Cette caractéristique est cruciale pour la réactivité chimique de la résine, notamment dans les formulations de peintures et vernis. Une haute capacité à former des savons améliore considérablement la résistance et la cohésion du film formé, assurant une meilleure performance du produit fini. Les acides gras saponifiables réagissent avec les bases pour créer des savons, renforçant ainsi la solidité et la durabilité du revêtement.

3. Viscosité (451 cP) :

- La résine a une viscosité relativement élevée, ce qui signifie qu'elle est assez épaisse. Une viscosité élevée est bénéfique pour les applications nécessitant une bonne couverture et adhérence, car elle permet une application plus épaisse et uniforme. Cependant, une viscosité trop élevée peut rendre l'application plus difficile, nécessitant des ajustements dans le processus de fabrication ou l'utilisation de solvants pour ajuster la fluidité. Il est donc essentiel de trouver un équilibre pour maintenir une application efficace tout en garantissant les propriétés souhaitées de la résine.

4. Couleur (Marron) :

- La couleur marron de la résine suggère la présence de pigments naturels ou d'impuretés, ce qui peut influencer l'aspect esthétique du produit final. Cette teinte peut également résulter de la méthode de fabrication ou des matières premières utilisées. Bien que la couleur ne soit pas un indicateur direct de performance technique, elle peut être importante dans les applications où l'apparence visuelle est cruciale. Des ajustements de couleur ou des traitements supplémentaires peuvent être nécessaires pour atteindre l'esthétique désirée, notamment dans les domaines où l'aspect visuel joue un rôle essentiel.

5. Durée de séchage (Lente) :

- La durée de séchage lente de la résine signifie qu'elle met un certain temps à durcir

complètement. Cela peut être avantageux pour obtenir un film plus lisse et uniforme, car il permet à la résine de s'étaler et de se niveler correctement avant de se solidifier. Cependant, un séchage lent peut poser des défis dans des environnements de production rapide ou des processus nécessitant des temps de traitement courts. Il est donc important de gérer correctement le temps de séchage pour optimiser l'utilisation de cette résine, en équilibrant les besoins de qualité et d'efficacité. Des ajustements dans les formulations ou l'utilisation d'agents de séchage peuvent être nécessaires pour répondre aux exigences spécifiques des différentes applications.

3.2.4 Example 04

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les résines alkydes formulées sont illustrés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	11.5 mg KOH/g
Indice de Saponification	334 mg KOH/g
Viscosité	348 cP
Couleur	Maron
Durée de séchage	Lente

TABLE 3.6: Analyse physico-chimique de la résine alkyde Example 04

L'analyse des résultats physico-chimiques de la résine alkyde présentée dans le [Tableau 3.6](#) révèle plusieurs aspects clés de ses propriétés :

1. Indice d'Acide (11.5 mg KOH/g) : Cet indice indique une quantité modérée d'acides libres dans la résine. Une teneur en acides modérée peut influencer les propriétés d'adhérence et de durabilité de la résine. Il est important de contrôler cette acidité pour éviter la corrosion des substrats et assurer la longévité des revêtements.

2. Indice de Saponification (334 mg KOH/g) : Ce niveau élevé d'indice de saponification signifie qu'il y a une proportion significative d'acides gras saponifiables dans la résine. Cela favorise la formation de savons lorsqu'ils sont exposés à des bases, renforçant ainsi la cohésion et la résistance du film de résine dans les applications de peintures et vernis.

3. Viscosité (348 cP) : Une viscosité modérée comme celle-ci indique une résine suffisamment fluide pour être appliquée avec une certaine facilité, tout en permettant une bonne couverture et adhérence. Cela est bénéfique pour assurer une application uniforme du revêtement.
4. Couleur (Maron) : La couleur marron peut indiquer la présence de pigments ou d'impuretés naturelles dans la résine, ce qui peut influencer l'aspect esthétique du produit final. Cette caractéristique peut être importante dans les applications où l'apparence visuelle joue un rôle crucial.
5. Durée de séchage (Lente) : Une durée de séchage lente signifie que la résine nécessite plus de temps pour durcir complètement. Cela peut être favorable pour obtenir un film plus lisse et uniforme, mais cela peut aussi être un défi dans les processus nécessitant des temps de traitement rapides.

En résumé, ces caractéristiques de la résine Exemple 04 la rendent adaptée à des applications spécifiques nécessitant une bonne adhérence, résistance et une certaine flexibilité dans le temps de séchage.

3.2.5 Exemple 05

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les résines alkydes formulées sont illustrés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	11.2 mg KOH/g
Indice de Saponification	382 mg KOH/g
Viscosité	343 cP
Couleur	Maron
Durée de séchage	Lente

TABLE 3.7: Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 05

Ce tableau résume les caractéristiques suivantes de la résine alkyde Exemple 05 :

1. Indice d'Acide (11.2 mg KOH/g) : Indique une quantité modérée d'acides libres dans la résine, influençant les propriétés d'adhérence et de durabilité.

2. Indice de Saponification (382 mg KOH/g) : Témoigne d'une proportion élevée d'acides gras saponifiables, renforçant la cohésion du film de résine.
3. Viscosité (343 cP) : Montre une résine modérément fluide, permettant une application efficace.
4. Couleur (Maron) : Indique la présence probable de pigments ou d'impuretés naturelles.
5. Durée de séchage (Lente) : Signifie que la résine nécessite plus de temps pour durcir complètement, offrant ainsi un film plus lisse et uniforme.

Ces caractéristiques font de cette résine un choix approprié pour des applications nécessitant une bonne résistance, adhérence et une certaine flexibilité dans le temps de séchage.

3.2.6 Example 06

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les résines alkydes formulées sont illustrés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	10.82 mg KOH/g
Indice de Saponification	391 mg KOH/g
Viscosité	688 cP
Couleur	Maron
Durée de séchage	Lente

TABLE 3.8: Analyse physico-chimique de la résine alkyde Example 06

Ce tableau synthétise les caractéristiques suivantes de la résine alkyde Example 06 :

1. Indice d'Acide (10.82 mg KOH/g) : Indique une quantité modérée d'acides libres dans la résine.
2. Indice de Saponification (391 mg KOH/g) : Témoigne d'une proportion élevée d'acides gras saponifiables, favorisant la solidité du film formé.

3. Viscosité (688 cP) : Indique une résine relativement épaisse, bénéfique pour des applications nécessitant une bonne couverture et adhérence.
4. Couleur (Maron) : Suggère la présence de pigments ou d'impuretés naturelles.
5. Durée de séchage (Lente) : Indique que la résine prend du temps pour durcir complètement, ce qui peut être avantageux pour obtenir un revêtement uniforme et résistant.

Ces propriétés font de cette résine un choix approprié pour des applications nécessitant une bonne performance en termes d'adhérence, de résistance et de qualité esthétique du film formé.

3.2.7 Exemple 07

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les résines alkydes formulées sont illustrés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	11.22 mg KOH/g
Indice de Saponification	382 mg KOH/g
Viscosité	498 cP
Couleur	Maron foncé
Durée de séchage	Lente

TABLE 3.9: Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 07

Ce tableau synthétise les caractéristiques suivantes de la résine alkyde Exemple 07 :

1. Indice d'Acide (11.22 mg KOH/g) : Indique une quantité modérée d'acides libres dans la résine.
2. Indice de Saponification (382 mg KOH/g) : Témoigne d'une proportion élevée d'acides gras saponifiables, favorisant la solidité du film formé.
3. Viscosité (498 cP) : Indique une résine relativement épaisse, bénéfique pour des applications nécessitant une bonne couverture et adhérence.

4. Couleur (Maron foncé) : Suggère une teinte plus intense de la résine, probablement due à une concentration plus élevée de pigments ou d'impuretés naturelles.
5. Durée de séchage (Lente) : Indique que la résine prend du temps pour durcir complètement, ce qui peut être avantageux pour obtenir un revêtement uniforme et résistant.

Ces propriétés font de cette résine un choix approprié pour des applications nécessitant une bonne performance en termes d'adhérence, de résistance et de qualité esthétique du film formé, notamment dans des environnements où une couleur plus prononcée est souhaitée.

3.2.8 Example 08

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les résines alkydes formulées sont illustrés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	14.7 mg KOH/g
Indice de Saponification	359 mg KOH/g
Viscosité	512 cP
Couleur	Maron foncé
Durée de séchage	Lente

TABLE 3.10: Analyse physico-chimique de la résine alkyde Example 08

Ce tableau synthétise les caractéristiques suivantes de la résine alkyde Example 08 :

1. Indice d'Acide (14.7 mg KOH/g) : Indique une quantité relativement élevée d'acides libres dans la résine. Cette acidité plus élevée peut influencer négativement l'adhérence et la durabilité du revêtement, nécessitant une gestion rigoureuse pour éviter la corrosion et assurer la qualité du film formé.
2. Indice de Saponification (359 mg KOH/g) : Témoigne d'une proportion significative d'acides gras saponifiables. Cette caractéristique favorise la réactivité chimique de la résine, ce qui est bénéfique pour la formation d'un film solide et durable.
3. Viscosité (512 cP) : Indique une résine assez épaisse, adaptée pour des applications nécessitant une bonne couverture et une application uniforme. Cependant, une viscosité élevée peut nécessiter des ajustements dans les processus d'application pour maintenir l'efficacité et la qualité du revêtement.

4. Couleur (Maron foncé) : Indique une teinte plus intense de la résine, probablement due à une concentration plus élevée de pigments ou d'impuretés naturelles. Cette caractéristique peut être avantageuse pour des applications où une couleur plus prononcée est recherchée.
5. Durée de séchage (Lente) : Indique que la résine met du temps à durcir complètement. Cela peut être bénéfique pour obtenir un film plus lisse et uniforme, mais peut poser des défis dans des environnements nécessitant des temps de production rapides.

La résine alkyde Exemple 08 présente des caractéristiques qui la rendent adaptée pour des applications nécessitant une bonne résistance chimique et une teinte intense, tout en nécessitant une gestion appropriée de son acidité et de sa viscosité pour optimiser ses performances dans diverses applications industrielles.

3.2.9 Exemple 09

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les résines alkydes formulées sont illustrés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	13 mg KOH/g
Indice de Saponification	387 mg KOH/g
Viscosité	503 cP
Couleur	Maron
Durée de séchage	Lente

TABLE 3.11: Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 09

Ce tableau synthétise les caractéristiques suivantes de la résine alkyde Exemple 09 :

1. Indice d'Acide (13 mg KOH/g) : Indique une quantité modérée d'acides libres dans la résine. Cette acidité pourrait influencer l'adhérence et la réactivité de la résine, nécessitant une attention particulière pour garantir la qualité du revêtement final et minimiser les risques de corrosion.
2. Indice de Saponification (387 mg KOH/g) : Témoinne d'une proportion élevée d'acides gras saponifiables. Cette caractéristique est favorable pour la formation d'un film robuste et durable, offrant une bonne résistance et cohésion du revêtement.

3. Viscosité (503 cP) : Indique une résine relativement épaisse, adaptée pour des applications nécessitant une bonne couverture et une application uniforme. La viscosité élevée peut nécessiter des ajustements dans les processus d'application pour assurer une répartition homogène tout en maintenant l'efficacité du revêtement.
4. Couleur (Maron) : Indique une teinte standard de la résine, probablement due à des composants naturels ou des pigments utilisés. La couleur peut influencer l'aspect esthétique du produit final et peut nécessiter des ajustements pour répondre aux exigences spécifiques des applications.
5. Durée de séchage (Lente) : Signifie que la résine nécessite un temps prolongé pour durcir complètement. Cela peut être bénéfique pour obtenir un film lisse et uniforme, mais peut être un défi dans des environnements de production nécessitant des cycles de production rapides.

La résine alkyde de l'exemple 09 présente des caractéristiques adaptées pour des applications nécessitant une bonne résistance chimique et une formation de film durable, bien que sa viscosité et sa durée de séchage nécessitent une gestion appropriée pour optimiser ses performances dans différents contextes industriels.

3.2.10 Exemple 10

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les résines alkydes formulées sont illustrés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	21.5 mg KOH/g
Indice de Saponification	349 mg KOH/g
Viscosité	562 cP
Couleur	Maron
Durée de séchage	Lente

TABLE 3.12: Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 10

Ce tableau synthétise les caractéristiques suivantes de la résine alkyde Exemple 10 :

1. Indice d'Acide (21.5 mg KOH/g) : Révèle une quantité élevée d'acides libres dans la résine. Cette acidité accrue peut affecter négativement l'adhérence et la durabilité du revêtement, nécessitant une gestion stricte pour éviter la corrosion des

substrats et assurer la qualité du produit fini.

2. Indice de Saponification (349 mg KOH/g) : Indique une proportion notable d'acides gras saponifiables dans la résine. Ce niveau élevé peut contribuer à améliorer la résistance et la solidité du film formé, essentiel pour assurer une performance durable dans diverses applications industrielles.
3. Viscosité (562 cP) : Montre une résine assez épaisse, adaptée pour des applications nécessitant une bonne couverture et une résistance accrue. Cependant, une viscosité élevée peut poser des défis dans les processus d'application, nécessitant souvent des ajustements pour garantir une répartition uniforme et efficace du revêtement.
4. Couleur (Maron) : Indique une teinte standard pour la résine, probablement due à des composants naturels ou des pigments utilisés. La couleur peut influencer l'aspect esthétique du produit final et nécessiter des ajustements pour répondre aux exigences spécifiques des applications finales.
5. Durée de séchage (Lente) : Signifie que la résine nécessite un temps prolongé pour durcir complètement. Bien que cela puisse permettre d'obtenir un film plus lisse et plus uniforme, cela peut également ralentir les processus de production nécessitant une rapide mise en service des produits finis.

La résine alkyde de l'exemple 10 présente des caractéristiques qui peuvent être bénéfiques pour certaines applications nécessitant une bonne résistance chimique et mécanique, mais elle nécessite une gestion attentive de son acidité et de sa viscosité pour optimiser ses performances dans divers contextes industriels.

3.2.11 Exemple 11

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les résines alkydes formulées sont illustrés dans le tableau suivant :

Ce tableau synthétise les caractéristiques suivantes de la résine alkyde Exemple 11 :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	17 mg KOH/g
Indice de Saponification	391 mg KOH/g
Viscosité	557 cP
Couleur	Maron
Durée de séchage	Lente

TABLE 3.13: Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 11

1. Indice d'Acide (17 mg KOH/g) : Révèle une quantité modérée d'acides libres dans la résine. Cette acidité peut influencer les propriétés d'adhérence et de réactivité de la résine, nécessitant une gestion appropriée pour maintenir la qualité du revêtement appliqué et prévenir la corrosion des substrats.

2. Indice de Saponification (391 mg KOH/g) : Indique une forte proportion d'acides gras saponifiables dans la résine. Ce niveau élevé contribue à renforcer la cohésion et la durabilité du film formé, améliorant ainsi la performance globale de la résine dans diverses applications industrielles.

3. Viscosité (557 cP) : Montre que la résine est relativement épaisse, adaptée aux applications nécessitant une bonne couverture et une résistance mécanique élevée. Cependant, une viscosité élevée peut nécessiter des ajustements dans les processus d'application pour garantir une répartition uniforme du revêtement.

4. Couleur (Maron) : Indique une teinte standard pour la résine, probablement due à des pigments ou composants naturels. La couleur peut influencer l'aspect esthétique du produit final et nécessiter des ajustements pour répondre aux exigences esthétiques spécifiques des applications finales.

5. Durée de séchage (Lente) : Signifie que la résine met un temps prolongé à durcir complètement. Ce temps de séchage plus long peut être bénéfique pour obtenir un film lisse et uniforme, mais nécessite une planification appropriée dans les processus de production pour éviter les retards.

Donc, la résine alkyde de l'exemple 11 présente des caractéristiques adaptées à des applications nécessitant une bonne adhérence, résistance mécanique et esthétique, mais

elle nécessite une gestion attentive de son acidité et de sa viscosité pour optimiser ses performances dans divers contextes industriels.

3.2.12 Exemple 12

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les résines alkydes formulées sont illustrés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	13.58 mg KOH/g
Indice de Saponification	452 mg KOH/g
Viscosité	549 cP
Couleur	Maron Foncé
Durée de séchage	Lente

TABLE 3.14: Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 12

Ce tableau synthétise les caractéristiques suivantes de la résine alkyde Exemple 12 :

1. Indice d'Acide (13.58 mg KOH/g) : Indique une quantité modérée d'acides libres dans la résine, ce qui peut influencer ses propriétés d'adhérence et de réactivité. Une gestion appropriée est nécessaire pour maintenir la qualité du revêtement appliqué et éviter la corrosion des substrats.

2. Indice de Saponification (452 mg KOH/g) : Révèle une proportion élevée d'acides gras saponifiables dans la résine. Cette caractéristique renforce la solidité et la durabilité du film formé, améliorant ainsi la performance de la résine dans diverses applications industrielles, notamment les revêtements protecteurs.

3. Viscosité (549 cP) : Indique une résine relativement épaisse, adaptée aux applications nécessitant une bonne couverture et résistance mécanique élevée. Une viscosité élevée peut nécessiter des ajustements dans les processus d'application pour assurer une répartition uniforme du revêtement.

4. Couleur (Maron Foncé) : Suggère une teinte plus intense pour la résine, probablement due à des pigments ou à la nature des matières premières utilisées. La

couleur peut influencer l'aspect esthétique du produit final et nécessiter des adaptations pour répondre aux exigences esthétiques spécifiques des applications finales.

5. Durée de séchage (Lente) : Indique un temps prolongé nécessaire pour que la résine durcisse complètement. Ce temps de séchage plus long peut être bénéfique pour obtenir un film plus lisse et uniforme, mais il nécessite une planification minutieuse dans les processus de production pour éviter les retards et optimiser l'efficacité.

La résine alkyde de l'exemple 12 présente des caractéristiques adaptées aux applications nécessitant une résistance mécanique élevée et une bonne durabilité. Cependant, l'indice d'acide modéré et la viscosité élevée nécessitent une gestion précise lors de l'application pour garantir une performance optimale et une qualité de revêtement uniforme. La haute saponification indique une bonne capacité à former des films solides, ce qui est bénéfique pour les applications nécessitant une protection durable contre les éléments environnementaux. La couleur foncée peut également être avantageuse dans certaines applications où une esthétique robuste est souhaitée.

3.2.13 Exemple 13

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les résines alkydes formulées sont illustrés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	10.18 mg KOH/g
Indice de Saponification	372 mg KOH/g
Viscosité	453 cP
Couleur	Maron Noire
Durée de séchage	Lente

TABLE 3.15: Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 13

Ce tableau synthétise les caractéristiques suivantes de la résine alkyde Exemple 13 :

1. Indice d'Acide (10.18 mg KOH/g) : Indique une faible quantité d'acides libres dans la résine, ce qui est favorable pour réduire les risques de corrosion et améliorer l'adhérence du revêtement appliqué.

2. Indice de Saponification (372 mg KOH/g) : Révèle une proportion modérée d'acides gras saponifiables dans la résine, ce qui contribue à la formation d'un film solide et durable. Cette caractéristique est essentielle pour assurer la résistance mécanique et la stabilité du revêtement.
3. Viscosité (453 cP) : Indique une résine ayant une viscosité modérée, adaptée aux applications nécessitant une bonne couverture et une application uniforme du revêtement. Cela peut faciliter le processus d'application tout en maintenant les propriétés mécaniques souhaitées du film sec.
4. Couleur (Maron Noire) : Suggère une teinte plus foncée pour la résine, probablement due à des pigments ou à des additifs spécifiques. Cette couleur peut influencer l'aspect esthétique du produit final et répondre à des exigences esthétiques particulières dans certaines applications.
5. Durée de séchage (Lente) : Indique un temps de séchage prolongé nécessaire pour que la résine durcisse complètement. Ce temps supplémentaire peut permettre une meilleure adhérence et une finition plus lisse du revêtement, mais nécessite une planification minutieuse dans les processus de production pour optimiser l'efficacité et éviter les retards.

Ces caractéristiques font de la résine alkyde Exemple 13 un choix potentiellement robuste pour des applications nécessitant une résistance mécanique élevée et une durabilité prolongée, tout en offrant des options esthétiques diversifiées grâce à sa couleur spécifique.

3.2.14 Exemple 14

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les résines alkydes formulées sont illustrés dans le tableau suivant :

Ce tableau synthétise les caractéristiques suivantes de la résine alkyde Exemple 14 :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	12.87 mg KOH/g
Indice de Saponification	389 mg KOH/g
Viscosité	554 cP
Couleur	Beige
Durée de séchage	Lente

TABLE 3.16: Analyse physico-chimique de la résine alkyde Example 14

1. Indice d'Acide (12.87 mg KOH/g) : Indique une acidité modérée dans la résine. Une telle valeur peut influencer les propriétés d'adhérence et de réactivité de la résine, essentielles pour son application et sa durabilité.
2. Indice de Saponification (389 mg KOH/g) : Montre une quantité significative d'acides gras saponifiables, favorisant la formation d'un film solide et résistant. Cette caractéristique est cruciale pour assurer la stabilité et la performance du revêtement.
3. Viscosité (554 cP) : Révèle une résine relativement épaisse, adaptée pour les applications nécessitant une bonne couverture et une application uniforme. Cependant, une viscosité élevée peut nécessiter des ajustements dans les processus d'application pour maintenir l'efficacité et la qualité du revêtement.
4. Couleur (Beige) : Indique une teinte beige pour la résine, ce qui peut influencer l'aspect esthétique du produit final. Cette couleur spécifique peut répondre à des exigences esthétiques particulières dans diverses applications industrielles.
5. Durée de séchage (Lente) : Signifie que la résine prend un certain temps pour durcir complètement. Un séchage lent peut permettre une meilleure finition du revêtement, mais nécessite une gestion appropriée du temps pour éviter les retards dans la production.

Ces caractéristiques font de la résine alkyde Example 14 une option potentiellement robuste pour des applications nécessitant une résistance mécanique élevée et une durabilité prolongée, avec une attention particulière à la viscosité et au temps de séchage pour optimiser son utilisation industrielle.

3.2.15 Example 15

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les résines alkydes formulées sont illustrés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	21.5 mg KOH/g
Indice de Saponification	391 mg KOH/g
Viscosité	562 cP
Couleur	Maron
Durée de séchage	Lente

TABLE 3.17: Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 15

Ce tableau synthétise les caractéristiques suivantes de la résine alkyde Exemple 15 :

1. Indice d'Acide (21.5 mg KOH/g) : Indique une acidité relativement élevée dans la résine. Cette valeur peut influencer négativement les propriétés d'adhérence et de réactivité de la résine, nécessitant une gestion attentive pour éviter la détérioration des substrats ou des revêtements appliqués.

2. Indice de Saponification (391 mg KOH/g) : Montre une proportion élevée d'acides gras saponifiables dans la résine. Cette caractéristique renforce la solidité du film formé et améliore la résistance du revêtement aux conditions environnementales et à l'usure.

3. Viscosité (562 cP) : Révèle une résine assez épaisse, adaptée pour des applications nécessitant une bonne couverture et une résistance mécanique élevée. Cependant, une viscosité élevée peut nécessiter des ajustements dans les méthodes d'application pour garantir une application uniforme et efficace.

4. Couleur (Maron) : Indique une couleur marron pour la résine, ce qui peut influencer l'aspect esthétique du produit final. Cette teinte spécifique peut répondre à des exigences esthétiques particulières dans diverses applications industrielles.

5. Durée de séchage (Lente) : Signifie que la résine nécessite un temps prolongé pour durcir complètement. Un séchage lent peut être bénéfique pour obtenir un film plus uniforme et résistant, mais nécessite une gestion appropriée du temps de production pour éviter les retards.

La résine alkyde de l'exemple 15 présente des caractéristiques adaptées pour des applications industrielles nécessitant une résistance mécanique élevée et une bonne durabilité, malgré une acidité relativement élevée qui nécessite une gestion attentive pour optimiser ses performances.

3.2.16 Exemple 16

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les résines alkydes formulées sont illustrés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	14 mg KOH/g
Indice de Saponification	402 mg KOH/g
Viscosité	664 cP
Couleur	Maron
Durée de séchage	Lente

TABLE 3.18: Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 16

Ce tableau synthétise les caractéristiques suivantes de la résine alkyde Exemple 16 :

1. Indice d'Acide (14 mg KOH/g)** : Indique une acidité modérée dans la résine. Cette valeur peut affecter légèrement les propriétés d'adhérence et de réactivité de la résine, mais généralement acceptable pour de nombreuses applications industrielles.
2. Indice de Saponification (402 mg KOH/g) : Montre une proportion élevée d'acides gras saponifiables dans la résine. Cela renforce la résistance et la cohésion du film formé, améliorant ainsi la durabilité du revêtement final.
3. Viscosité (664 cP) : Indique une résine assez épaisse, adaptée pour des applications nécessitant une bonne couverture et une résistance mécanique élevée. Une viscosité élevée peut nécessiter des ajustements dans les méthodes d'application pour garantir une application uniforme et efficace.
4. Couleur (Maron) : Indique une couleur marron pour la résine, qui peut influencer l'aspect esthétique du produit final. Cette teinte spécifique peut répondre à des

exigences esthétiques particulières dans diverses applications industrielles.

5. Durée de séchage (Lente) : Indique que la résine nécessite un temps prolongé pour durcir complètement. Un séchage lent peut être bénéfique pour obtenir un film plus uniforme et résistant, mais nécessite une gestion appropriée du temps de production pour éviter les retards.

la résine alkyde de l'exemple 16 présente des caractéristiques adaptées pour des applications industrielles nécessitant une bonne durabilité et une résistance élevée, malgré une acidité modérée et une viscosité élevée qui nécessitent une attention particulière lors de l'utilisation et de l'application.

3.2.17 Exemple 17

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les résines alkydes formulées sont illustrés dans le tableau suivant :

Paramètre	Valeur
Indice d'Acide	18 mg KOH/g
Indice de Saponification	349 mg KOH/g
Viscosité	279 cP
Couleur	Maron
Durée de séchage	Lente

TABLE 3.19: Analyse physico-chimique de la résine alkyde Exemple 17

Ce tableau synthétise les caractéristiques suivantes de la résine alkyde Exemple 17 :

1. Indice d'Acide (18 mg KOH/g) : Indique une acidité modérée dans la résine, ce qui peut influencer légèrement ses propriétés d'adhérence et de réactivité. Une gestion appropriée de cette acidité est nécessaire pour assurer une bonne performance dans les applications finales.
2. Indice de Saponification (349 mg KOH/g) : Révèle une proportion modérée d'acides gras saponifiables dans la résine. Cela contribue à améliorer la réactivité chimique et la cohésion du film formé, assurant ainsi une meilleure résistance du revêtement final.
3. Viscosité (279 cP) : Indique une résine relativement moins visqueuse, ce qui peut faciliter son application dans certains cas. Une viscosité plus basse peut permettre

une meilleure maniabilité lors de l'application tout en maintenant les propriétés souhaitées du revêtement.

4. Couleur (Maron) : Indique une couleur marron pour la résine, ce qui peut influencer l'aspect esthétique du produit final. Cette teinte peut répondre à des exigences spécifiques en matière d'application et d'esthétique dans diverses industries.
5. Durée de séchage (Lente) : Indique que la résine nécessite un temps prolongé pour durcir complètement. Un séchage lent peut être avantageux pour obtenir un film plus lisse et uniforme, mais nécessite une planification adéquate du processus de production pour éviter tout retard.

La résine alkyde de l'exemple 16 présente des caractéristiques adaptées pour des applications nécessitant une bonne résistance et une réactivité chimique modérée, malgré une acidité légèrement élevée et une viscosité relativement basse qui peuvent nécessiter des ajustements dans les conditions d'utilisation et d'application.

Conclusion

Cette étude de formulation des résines alkydes représente un travail approfondi visant à explorer et à optimiser les propriétés physico-chimiques essentielles des résines utilisées dans diverses applications industrielles. Les résultats obtenus à partir des formulations spécifiques testées ont permis de tirer plusieurs conclusions significatives et d'ouvrir des perspectives pour le développement futur dans ce domaine spécialisé.

1. **Diversité et Contrôle des Propriétés :** L'étude a mis en lumière la diversité des propriétés physico-chimiques des résines alkydes en fonction des formulations spécifiques. Les variations observées dans l'indice d'acide, l'indice de saponification, la viscosité et la couleur démontrent la capacité à ajuster ces paramètres pour répondre aux exigences variées des applications industrielles, telles que les revêtements, les adhésifs et les composites.
2. **Impact sur les Performances Techniques :** Les formulations avec des indices d'acide et de saponification élevés ont montré une meilleure résistance et une durabilité accrue des films de résine. Cette capacité à former des films robustes est cruciale pour assurer la protection et la longévité des surfaces traitées dans des environnements industriels rigoureux.
3. **Considérations Esthétiques et Fonctionnelles :** La couleur des résines, allant du marron clair au marron foncé voire noir, a été évaluée non seulement pour son impact visuel mais aussi comme indicateur de la composition et de la qualité des

matières premières utilisées. Cette caractéristique esthétique est essentielle dans les secteurs où l'aspect final du produit joue un rôle critique.

4. **Perspectives pour l'Innovation et l'Optimisation :** Les résultats de cette étude offrent une base solide pour l'innovation continue et l'optimisation des formulations de résines alkydes. En intégrant les connaissances acquises sur les propriétés chimiques et physiques, il est possible de développer des formulations encore plus performantes, adaptées aux exigences spécifiques des applications modernes et aux défis environnementaux.

Cette étude a non seulement enrichi notre compréhension des résines alkydes mais a également posé les fondations pour des avancées futures dans le domaine de la chimie des matériaux. En continuant à explorer et à perfectionner ces formulations, nous visons à répondre aux besoins croissants de durabilité, de performance et d'innovation dans l'industrie, tout en contribuant à des solutions plus durables et efficaces pour l'avenir.

Bibliographie

- [1] De Espinosa ; L. M. ; & Meier ; M. A. Plant oils : The perfect renewable resource for polymer science. *European Polymer Journal*, 47(5) :837–852, 2011.
- [2] G. Herve ; P. Beurdley ; M. Kurczack. polyester resins based on fatty acids that have a short oil length ; aqueous dispersions and associated coatings.
- [3] G. Herve ; P. Beurdley ; M. Kurczack. Procède de traitement des huiles de lubrification usagées en phase aqueuse dispersée pour leur recyclage.
- [4] Journa ; Baghdad. Synthesis of several urea plast resins using different aldehydes preparation of some alkyde resins and empolyment of the prepared resins as additives for azo dyes. *Baghdad Science Journal*, 6 :505–513, 09 2009.
- [5] J. Bourry ; Dunod. Résines alkydes polyesters. *Journal of Polymer Science*, 10(6) :595, 1953.
- [6] F. Henry ; F. viez. Natural alkyd resin ; and aqueous emulsion of such a resin. 10 2009.
- [7] C. Barquant ; J. Roussel ; C. Buffe ; L. Crowtheralwyn. Biosourced alkyd resin and method for manufacturing such an alkyd resin. 2013.
- [8] A. Lemor ; K. Zitouni ; S. Blond. Alkyd resin in aqueous emulsion ; in particular of vegetable origin. 2012.
- [9] K. Hoyam ; H. Rania. Synthèse d’une résine alkyde court en huile à base acide gras. 2021.

- [10] Roussel; J. Buffe; C. Crowther-Alwyn. Résine alkyde biosourcée et procédé de fabrication d'une telle résine alkyde. 02 2012.
- [11] M. Desroches; S. Caillol; S. Carlotti; R. Auvergne; B. Boutevin. Synthèse de polyuréthanes à partir d'huiles végétales fonctionnalisées par la réaction thiol-ène. *Matériaux & Techniques*, 100(5) :479–492, 08 2012.
- [12] Passet; Quentin. *Synthèse et fonctionnalisation de polymères hyper-ramifiés issus d'acides gras*. PhD thesis, 04 2019.
- [13] S. B. Al Massati. *Synthèse Et Caractérisation de Polymères À Empreintes Moléculaires Pour L'extraction Sélective de Pesticides Organophosphorés Dans Les Huiles Végétales*. 2017.
- [14] F. Dumeignil. Propriétés et utilisation de l'huile de ricin. oléagineux, corps gras, lipides. 19(1) :10–15, 2012.
- [15] Z. Chibane; N. Hideur. Effet de la température de friture sur la stabilité thermo-oxydative de l'huile "elio". 2015.
- [16] J. De Kock; W. De Greyt; V. Gibon; M. Kellens. Développements récents en matières de raffinage et de modifications : élimination des contaminants dans les huiles alimentaires et réduction du taux d'acides gras trans. 12(5-6) :378–384, 2005.
- [17] I. I. YUKEL'SON. Utilisation des résidus de la pyrolyse de l'huile de ricin pour la préparation de peintures alkydes. 1978.
- [18] S. B. RZOZI. Les utilisations alternatives des huiles végétales.
- [19] B. M. ALI; T. KHALED. Attractivité des marchés; externalités négatives et valorisation des déchets; cas des huiles alimentaires usagées dans la région d'Oran en Algérie market attractiveness; negative externalities & waste recovery. use cooking oil business case in the region of Oran in Algeria. *Journal des Etudes Economiques Contemporaines Volume*, 7(02) :523–544, 2022.
- [20] O. Didi; A. Dhahi; Y. Bakache. *Production du biodiesel à partir des huiles végétales usagées*. PhD thesis, 2021.
- [21] W. A. Waldie. Process for making an oil modified alkyd resin. 1940.

- [22] P. P. Chiplunkar ; A. P. Pratap ;. Utilization of sunflower acid oil for synthesis of alkyd resin. *Progress in Organic Coatings*, 93 :61–67, 2016.
- [23] P. Kass ; Z. W. Wicks. New oxygen convertible alkyds and improved drying oils. *United States Patent Office*, 12 1951.
- [24] H. Mutlu ; M. a. R. Meier. Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112(1) :10–30, 2010.
- [25] V. R. Patel ; G. G. Ddumancas ; L. C. K. Viswanath ; R. Maples ; B. J. J. Subong. Castor oil : Properties ; uses ; and optimization of processing parameters in commercial production. *Lipid Insights*, 9, 2016.
- [26] Maylis. Quel est le procédé d’obtention de l’huile de ricin. *Typology Paris*, 05 2022.
- [27] J. Métayer ; P. Lescoat ; D. Bastianelli ; I. Bouvarel ; Y. Fournis ; M. Vilarino. Comparaison entre une méthode de bilan digestif classique et une méthode avec marqueur chez le poulet standard : effet sur la digestibilité des nutriments des aliments : Jra-jrfg 2013-128.
- [28] I. Debruyne. Soja : transformation et aspects industriels. 2001.
- [29] P. P. Nunes ; D. Brodzki ; G. Bugli ; G. Djega-Mariadassou. Hydrocraquage sous pression d’une huile de soja : procédé d’étude et allure générale de la transformation. *Revue De L’Institut Français Du Pétrole*, 41(3) :421–431, 1986.
- [30] J. Régis ; F. Joffre ; F. Fine. Impact de la trituration et du raffinage sur la teneur en micronutriments des huiles végétales de colza ; soja et tournesol. 2016.