

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة سعيدة دكتور مولاي الطاهر

Université de Saida Dr MOULAY Tahar



كلية علوم الطبيعة و الحياة

Faculté des Sciences de la nature et de la vie

قسم الفلاحة و علوم التغذية

Département de agronomie et science de nutrition

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

Biotechnologie végétal

Spécialité : biotechnologie végétal

Thème

Évaluation des activités biologique du produit de la réaction de l'acétone et le glycérol

Présenté par :

Mr : BOUKHECHA Alaa Eddine

Soutenu le : mardi 8 octobre 2024

Devant le jury composé de :

Président

Mr. BELLIL Yahia

Université de Saida Dr
MOULAY Tahar

Examinateur

Mr. KEBIR Nasreddine

Université de Saida Dr
MOULAY Tahar

Rapporteur

Mr. AL ALI Kouider

MCA

Université de Saida Dr
MOULAY Tahar

Année universitaire 2023/2024

Remerciments

Nous remercions Dieu de nous avoir donné la force et la volonté pour accomplir ce mémoire.

Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre Encadreur **Dr. ALALI** pour avoir d'abord proposé ce thème, pour suivi continué tout le long de la réalisation de ce mémoire, et qui n'a pas cessé de nous donner ses conseils.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département

Nous remercions également les membres du jury, **M. BELLIL Yahia** et **M. KEBIR Nasr-Eddine**, pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour leurs remarques constructives.

Nos remerciements s'étendent aussi au personnel technique et administratif du laboratoire et du département, dont le soutien a été essentiel à la bonne conduite de nos expériences.

Enfin, nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à nos familles et amis pour leur soutien moral et matériel durant cette période.

DÉDICACES

À LA MÈMOIRE DE MON GRAND-PÈRE

C est à la personne le plus idéal dans ce monde. Ce travail es dédié a mon grand père, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études

J'espère que, du monde qui est sien maintenant.il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'un fils qui a toujours prié pour le salut de son âme.

Puisse dieu. Le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde.

À MES CHÈRS PARENTS

A mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

À MES FRÈRES BENAISSA NABIL , ISSAM ET MA PETITE SŒUR de cœur que j'aime beaucoup.

Je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

À MA GRAND-MÈRE

J'implore le tout-puissant pour qu'elle t'accorde une bonne santé et une vie longue et heureuse.

Liste des abréviations

(EC) :	Escherichia coli
(KP) :	Klebsiella pneumoniae
(BS) :	Bacillus subtilis
(PA) :	Pseudomonas aeruginosa
(SA) :	Staphylococcus aureus
(CA) :	Candida albicans
(BN) :	Bouillon nutritif
(GN) :	Gélose nutritive
ATP :	Adénosine triphosphate
ADN :	Acide désoxyribonucléique
ARN :	Acide ribonucléique
ARNm :	ARN messager
ARNr :	ARN ribosomal

ARNt : ARN de transfert

GH : Hormone de croissance .

Liste des figures

Figure 1 : la structure chimique de solketal	2
Figure 2 : Acetalisation de la propanone avec propan-1,2,3-ol.....	3
Figure 3 : Un schéma du processus de transcription et traduction de l'ADN en ARN puis en protéine.....	9
Figure 4 : Un schéma du processus de transcription et traduction de l'ADN en ARN puis en protéine.	11
Figure 5 : Un diagramme du cycle de Krebs ou une illustration des étapes de la glycolyse.	13
Figure6 : Une représentation graphique de la mitose et de la méiose montrant les différences entre ces deux processus de division cellulaire.	15
Figure 7 : Un schéma du cycle de vie des plantes à fleurs (angiospermes)	17
Figure 8 : Réaction chimique impliquée.....	31
Figure 9 :solketal	33
Figure 10 : Spectres RMN 1H et 13C des réactifs,du produit et du brute de de l'acétalisation	34
Figure 11 : souche bactériennes de SA	39
Figure 12 : souche bactériennes de EC	39
Figure 13 : souche bactériennes de CA	39
Figure 14 : souche bactériennes De BS	40
Figure 15 : souche bactériennes de KP	40
Figure 16 : souche bactériennes de PA	40

Résumé

Le solketal, un dérivé non toxique et respectueux de l'environnement du glycérol, a été synthétisé par réaction avec l'acétone en utilisant un catalyseur à base d'argile activée. L'efficacité antimicrobienne du solketal a été évaluée sur plusieurs souches bactériennes (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*) ainsi que sur le champignon *Candida albicans*. Les résultats montrent une activité antimicrobienne remarquable, surpassant celle de l'acétone, en particulier contre *Bacillus subtilis* et *Pseudomonas aeruginosa*. Ces résultats prometteurs ouvrent la voie à des applications potentielles du solketal dans le développement de produits pharmaceutiques, cosmétiques et industriels, offrant une alternative sûre et écologique aux composés chimiques traditionnels.

ملخص

تم تحضير مركب السولكetal عن طريق تفاعل الجليسول مع الأسيتون باستخدام محفز من الطين المنشط. هذا المركب، الذي يعتبر غير سام وصديق للبيئة، تم تقييمه لاختبار فعاليته المضادة للميكروبات ضد عدة سلالات بكتيرية منها *Pseudomonas* و *Staphylococcus aureus* و *Escherichia coli* و *Candida albicans*. أظهرت النتائج أن السولكetal يمتلك فعالية عالية، تتفوق على الأسيتون خاصةً ضد *Bacillus subtilis* و *Pseudomonas aeruginosa*. هذه النتائج تشير إلى أن السولكetal يمكن أن يكون مرشحًا واعداً للاستخدام في المجالات الطبية والتجميلية والصناعية، مما يجعله خياراً بديلاً آمناً وفعالاً لتطوير المطهرات والمضادات الميكروبية الصديقة للبيئة..

Abstract

Solketal, a non-toxic and environmentally friendly derivative of glycerol, was synthesized by reacting with acetone using an activated clay catalyst. Its antimicrobial activity was evaluated against several bacterial strains (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*) and the fungus *Candida albicans*. The results revealed significant antimicrobial efficacy, surpassing acetone, especially against *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa*. These findings highlight solketal's potential as a promising candidate for use in pharmaceutical, cosmetic, and industrial applications, providing a safe and eco-friendly alternative for developing disinfectants and antimicrobial agents.

Table des matières

Introduction : 1

Partie Bibliographie

Chapitre 1

I.1-Introduction:.....	2
I.2 propriété du solketal :.....	2
I.2.1 : Propriétés chimiques et physiques	2
I.2.2 : Compatibilité :	3
I.2.3-Fabrication du solkétal.....	3
I.3- Catalyseurs Utilisés	4
I.3.1- Définition de la Catalyse	4
I.3.1- Les Argiles	5
I.3.3 - Modification des Argiles par Activation Acide	6
I.4- Domaines d'intérêt du Solkétal	7
I.4.1- Chimie Organique.....	7
I.4.2- Synthèse de Biodiesel	8
I.4.3- Applications pharmaceutiques et cosmétiques	8
I.4.4- Matériaux Polymères	8
I.4.6- Avantages écologiques	8

Chapitre 2

II.1. Introduction.....	9
II.1- Les Fondements des Activités Biologiques.....	10
II.1.1. Définition et Concepts Clés	10
II.1.1.1 Définition de l'Activité Biologique	10
II.1.1.2 Importance dans les Sciences Biologiques	11

II.1.2. Bases Moléculaires des Activités Biologiques	11
II.1.2.1 Rôle de l'ADN, ARN, et Protéines	11
II.1.2.2 Énergie et Métabolisme Cellulaire	12
II.2.1. Activités Métaboliques	13
II.2.1.1. Catabolisme	13
Exemples : Respiration Cellulaire, Glycolyse	14
Exemples : Photosynthèse, Synthèse Protéique	14
II.2.2. Activités de Croissance et de Développement.....	15
II.2.2.1 Processus de Mitose et Méiose.....	15
Exemples : Croissance des Plantes, Développement Embryonnaire	16
II.2.3. Activités Reproductives	17
II.2.3.2 Cycle de Vie des Organismes	17
Exemple : Cycle de Vie de Plantes et Animaux	17
II.2.4. Activités de Réponse aux Stimuli	18
II.2.4.1 Mécanismes de Réponse aux Stimuli Externes (Lumière, Gravité, Température)	18
Exemples : Phototropisme, Réponse Immunitaire	19
II.2.5. Activités de Communication Cellulaire.....	19
II.2.5.1 Communication via les Signaux Chimiques (Hormones, Neurotransmetteurs)	19
II.2.5.2 Communication Électrique dans le Système Nerveux	19
Exemples : Système Nerveux Humain, Réseaux Hormonaux	20
II.3- Importance des Activités Biologiques.....	20
II.3.1. Rôle dans le Maintien de l'Homéostasie.....	20
II.3.1.1 Mécanismes de Régulation Interne.....	20
Exemples de Mécanismes d'Homéostasie	20
II.3.1.2 Importance pour la Survie de l'Organisme	21
II.3.2. Contribution à l'Adaptation et à l'Évolution	21
II.3.3. Impact sur la Biodiversité et les Écosystèmes.....	22

Table des matières

II.4- Applications Pratiques des Connaissances sur les Activités Biologiques...	23
II.4.1. En Médecine et Biotechnologie.....	23
Thérapies Géniques).....	23
II.4.1.2 Biotechnologie et Ingénierie Biologique	24
II.4.2. En Agriculture et Environnement	24
II.4.2.1 Applications dans l'Agriculture Durable	24
II.4.2.2 Bioremédiation et Conservation de l'Environnement.....	24
II.4.3. En Recherche Fondamentale	25
II.4.3.1. Études sur les Modèles Biologiques	25
II.4.3.2. Implications pour la Compréhension de la Vie et de l'Évolution	25

Partie Expérimentale

Chapitre 3

III.1.Préparation de l'Argile Activée.....	26
III.1.1.Matériaux Necessaires.....	26
III.1.2. Procédure Détaillée	26
III.1.2.1. Pré-traitement de l'argile avec NaCl.....	26
III.1.2.2. Séchage et Broyage de l'argile traitée	27
III.2. Activation de l'Argile par Traitement Acide.....	27
III.2.1. Matériaux Necessaires.....	27
III.2.2. Procédure Détaillée	28
III.2.2.1. Préparation de la solution acide	28
III.2.2.2. Traitement acide de l'argile	28
III.2.2.3. Filtration et Lavage	28
III.2.2.4. Séchage et Broyage final.....	29
III.3. Synthèse du Solketal	29
III.3.1. Matériaux Necessaires.....	29
III.3.2. Calcul des Quantités Requises	30

Table des matières

III.3.3. Procédure Détaillée	30
III.3.3.1. Préparation des Réactifs	30
III.3.3.2. Préparation du Catalyseur	30
III.3.3.3. Mise en Réaction	31
III.3.3.4. Post-traitement du Mélange Réactionnel	32
III.3.3.5. Séparation et Purification du Solketal	32
III.4. Évaluation de l'Activité Biologique du Solketal	35
III.4.1. Matériaux et Équipements Nécessaires	35
III.4.2. Préparation des Cultures Bactériennes	35
III.4.2.1. Préparation des Pré-cultures	35
III.4.2.2. Préparation de la Gélose Nutritive (GN)	35
III.4.2.3. Préparation des Suspensions Bactériennes Ajustées	36
III.4.2.4. Ensemencement et Application des Échantillons	36
III.4.2.5. Incubation et Observation	37
III.4.2.6. Interprétation des Résultats	37
III.5. Notes de Sécurité et de Bonnes Pratiques de Laboratoire	37
Conclusion	38
III.6. Résultats et Discussion	38
III.6.1. Résultats :	38
III.6.2. Discussion :	41

Introduction

Introduction :

L'argile activée est un matériau largement utilisé pour ses propriétés adsorbantes et catalytiques dans divers domaines scientifiques et industriels. Sa capacité à interagir avec différents composés en fait un choix idéal pour la synthèse de nouveaux produits chimiques et la purification de substances. L'un des composés intéressants issus de ces processus est le Solketal, un dérivé de l'acétone et du glycérol, dont les propriétés antimicrobiennes suscitent un intérêt croissant.

La synthèse du Solketal à partir d'acétone et de glycérol en utilisant l'argile activée comme catalyseur représente une approche innovante pour obtenir ce composé avec des caractéristiques améliorées. Le Solketal est connu pour ses applications potentielles dans le domaine médical et industriel, notamment pour ses propriétés antimicrobiennes qui peuvent offrir des solutions efficaces pour le contrôle de la croissance bactérienne et fongique [1].

Cette recherche explore le processus de préparation de l'argile activée, la synthèse du Solketal, et l'évaluation de son activité antimicrobienne. En utilisant l'argile activée comme catalyseur, la synthèse du Solketal est optimisée pour obtenir un produit pur et efficace. Les tests biologiques réalisés mettent en évidence la capacité du Solketal à inhiber la croissance de diverses souches bactériennes, offrant ainsi une alternative prometteuse aux agents antimicrobiens traditionnels.

Chapitre I :

Solketal

I.1-Introduction:

Le solkétal, ou 2,2-diméthyl-1,3-dioxolane-4-méthanol, est un dérivé de la glycérine obtenu par condensation de la glycérine et de l'acétone en présence d'un catalyseur acide. Il est largement utilisé dans divers secteurs industriels et scientifiques en raison de ses propriétés uniques.

Le solkétal est une forme protégée de glycérol avec un groupe acétal isopropylidène joignant deux groupes hydroxyle voisins. Solketal contient un centre chiral sur le carbone central du squelette du glycérol et peut donc être acheté sous forme de racémate ou de l'un des deux énantiomères. Solketal a été largement utilisé dans la synthèse de mono-, di- et triglycérides par formation de liaisons ester. Le groupe hydroxyle libre du solkétal peut être estérifié avec un acide carboxylique pour former le monoglycéride protégé. Le groupe isopropylène peut ensuite être éliminé à l'aide d'un catalyseur acide en milieu aqueux ou alcoolique. Le diol non protégé peut ensuite être estérifié davantage pour former soit le di-, soit le triglycéride.[2]

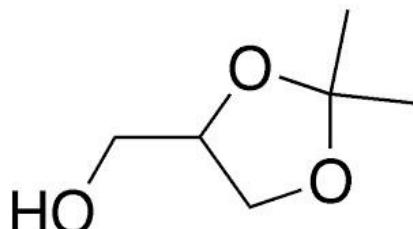


Figure 1 : la structure chimique de solketal

I.2 propriété du solketal :

I.2.1 : Propriétés chimiques et physiques

- **Formule chimique :** C₆H₁₂O₃
- **Poids moléculaire :** 132,16 g/mol
- **Apparence :** liquide incolore et inodore
- **Solubilité :** entièrement miscible dans l'eau et la plupart des solvants organiques

- **Densité** : 1,06 g/cm³
- **Point d'éclair** : 80 °C
- **Point d'ébullition** : environ 190 °C
- **Viscosité** : faible (environ 11 cP à température ambiante)
- **Toxicité** : faible, légèrement irritant pour les yeux, la peau et les voies respiratoires

I.2.2 : Compatibilité :

Le Solketal est une substance très polyvalente et hautement compatible. Il est entièrement miscible avec les composés cycloaliphatiques et aromatiques, et se dissout également en grande partie dans les huiles végétales. Il présente une miscibilité satisfaisante, même avec des substances non polaires telles que les composés aliphatiques. De plus, les éthers et les hydrocarbures se mélagent bien avec le Solketal. Toutefois, sa caractéristique la plus remarquable reste sa miscibilité totale avec l'eau [3].

I.2.3-Fabrication du solkétal

La production de solkétal se fait généralement par réaction de condensation entre la glycérine et l'acétone en présence d'un catalyseur acide, à des températures comprises entre 298 K et 313 K. Cette réaction est réversible, ce qui nécessite une gestion soignée des conditions de réaction pour maximiser le rendement.

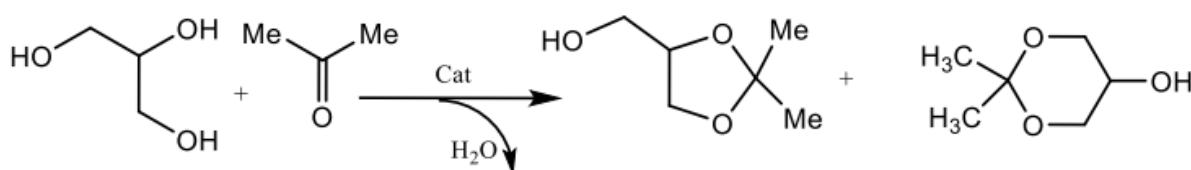


Figure 2 : Acetalisation de la propanone avec propan-1,2,3-ol

I.3- Catalyseurs Utilisés

I.3.1- Définition de la Catalyse

La catalyse est définie comme la production ou l'accélération d'une réaction chimique par une substance qui ne subit pas de modification permanente au cours du processus. Cette substance, appelée catalyseur, peut être sous forme solide, liquide, ou gazeuse, et peut être un composé simple ou complexe, moléculaire, ionique ou métallique. La catalyse représente l'art et la science de contrôler les réactions chimiques, en orientant et en accélérant ces réactions. Bien qu'elle permette de choisir et de favoriser certaines voies réactionnelles tout en fermant d'autres, il n'existe pas de miracles en chimie : certaines transformations demeurent impossibles. La catalyse est un domaine de recherche extrêmement actif, permettant d'approfondir notre compréhension des mécanismes moléculaires sous-jacents à ces transformations. De nombreuses recherches en catalyse ont été récompensées par des prix Nobel ces dernières années [4]

Le terme "catalyser" se décline en deux définitions spécifiques en fonction de la nature des substances impliquées : la catalyse homogène et la catalyse hétérogène. En général, le catalyseur est présent en quantité beaucoup plus faible que les réactifs et n'est pas consommé au cours de la réaction, étant restitué en fin de processus. Dans le cas fréquent où la réaction se déroule en présence d'un catalyseur solide, ce dernier pourrait théoriquement être utilisé indéfiniment s'il n'était pas contaminé par des impuretés présentes parmi les réactifs.

Les catalyseurs agissent de différentes façons : ils accélèrent la vitesse des réactions chimiques ou réduisent l'énergie d'activation nécessaire, ce qui permet de diminuer la température de réaction et, plus généralement, les coûts de production. On distingue plusieurs types de catalyse : la catalyse acido-basique, très répandue, la catalyse homogène, qui se déroule en phase liquide avec des catalyseurs souvent constitués de complexes organométalliques dissous, et la catalyse hétérogène, où les réactions se produisent à l'interface entre deux phases, typiquement entre un solide et un liquide ou un gaz.

Parmi les catalyseurs cités dans la littérature, nous citons ;

- **a)** les acides protoniques liquides puissants tels que HCl, H₂ SO₄, HF, H₃PO₄ et l'acide p-toluènesulfonique [5].
- **b)** Les composés organiques tels que le 1,4-diazabicyclo[2.2.2]octane (DABCO) [6], l'acide polystyrene sulfonique (PSSA) [7] et les sels de pyrilium [8].
- **c)** Les dérivés du Bore comme le dodecaborane B₁₀H₁₄ [111], l'iode I₂ [9].
- **d)** Les acides de Lewis [10] et les catalyseurs à base de carbone [11], Oger a décrit l'utilisation du graphène et le graphène-sulfaté (GR-SO 3 H) [12].
- **e)** Les liquides ioniques [13].
- **f)** Les résines échangeuses d'ions tels que Amberlyst-47, Indion-130, Amberlyst-15, Ambertlyst-36, Dowex 50Wx2, Dowex 50Wx8, Amberlyst-46 [14].
- **g)** Les résines organiques [15], les zéolites [16], les nanotubes métalliques contenant des oxydes vanadium (MeVO_x -NT dont, Me = Ni, Co, or Pt) et les dérivés distannoxyde [17,18].
- **h)** Les catalyseurs à base de métaux de transition (cobaloxime) [19], i) Les argiles activées à l'acide ou pontées tels que la montmorillonite, smectite, illite , [20-21],
- **j)** Les hétéropolyacides comme exemple H₃ PW₁₂O₄₀ [22].
- **k)** Les minéraux hydroxydes à double couche HDL [23,24].
- **l)** Les gaz comme le dioxyde de carbone à l'état gaz CO₂ [25]. La combinaison entre les oxydes des métaux WO_x /TiO₂ -ZrO₂ [26]. Matériaux Mésoporeux Gasilicate [130]. Les hydrotalcite à base Ni-Al [27].

I.3.1- Les Argiles

Le mot "argile" provient du grec "argilos", dérivé de "Argos", signifiant "blanc", ou du latin "argilla". Les argiles résultent de la décomposition de roches siliceuses sous l'effet de désagrégations physiques, mécaniques et de modifications chimiques. Elles sont principalement composées de particules élémentaires dont la taille est inférieure à deux micromètres (< 2 µm), formant des entités cristallines avec une phase minérale pure et fine, connue sous le nom de minéraux argileux.

L'argile est une roche sédimentaire composée de minéraux spécifiques, principalement des aluminosilicates plus ou moins hydratés, qui présentent une structure feuilletée (phyllosilicates) expliquant leur plasticité, ou une structure fibreuse (comme la sépiolite et la palygorskite). Ces matériaux naturels sont regroupés en familles selon leur composition chimique et leur structure cristalline, les plus importantes étant la kaolinite, l'illite et la smectite. Parmi ces groupes, les smectites possèdent la plus grande capacité d'adsorption [28]

Dans la nature, les nanoparticules argileuses sont généralement liées entre elles par des ciments de nature diverse (carbonates, composés organiques, composés minéraux amorphes, ou oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium, quartz, feldspaths) au sein d'agrégats de tailles beaucoup plus grandes [29].

Parmi les différents types d'argiles, les smectites ont été largement utilisées comme catalyseurs dans une vaste gamme de transformations organiques, en raison de leurs propriétés uniques telles qu'une bonne capacité d'expansion, une excellente capacité d'échange cationique, une grande surface d'acidité, une importante variété de propriétés physico-chimiques et une recyclabilité récurrente [30].

I.3.3 - Modification des Argiles par Activation Acide

L'activation acide des argiles consiste en un traitement avec un acide, sous agitation constante à une température déterminée pendant une durée spécifique [31]. Les acides couramment utilisés pour cette activation incluent l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique, l'acide nitrique et l'acide phosphorique. Ce traitement permet d'éliminer les impuretés minérales présentes dans l'argile et de remplacer les cations intercalaires par des protons [32]. Cependant, il est important de noter que le traitement des argiles avec des acides plus forts et à des températures élevées peut entraîner la destruction de la structure argileuse [33].

L'activation acide des argiles améliore la surface spécifique, l'acidité, et la porosité des argiles, les rendant ainsi des catalyseurs acides solides efficaces dans diverses transformations chimiques. L'utilisation des argiles activées à l'acide ne se limite pas à la catalyse; en raison de leur capacité d'adsorption, elles sont également

appliquées dans la décoloration des huiles (comme le colza, l'olive, et les huiles de palme) par adsorption des pigments responsables de la coloration, ainsi que dans l'adsorption des surfactants [34]. De plus, elles sont utilisées dans le traitement des eaux usées des teintureries et des rejets des tanneries [35].

Les argiles les plus couramment disponibles dans le commerce sont la montmorillonite K10 et KSF. La K10 est le produit de la montmorillonite traitée avec de l'acide chlorhydrique à la température d'ébullition pendant une durée définie [36], tandis que la KSF est la montmorillonite traitée à l'acide sulfurique [37]. Des études comparatives ont montré que l'acide chlorhydrique est l'agent activant le plus efficace pour les argiles bentonitiques [38].

I.4- Domaines d'intérêt du Solkétal

Le solkétal est un composé chimique dérivé du glycérol et de l'acétone, utilisé principalement comme solvant ou comme composant dans la synthèse de produits chimiques. Ses applications principales incluent son rôle comme agent de protection et de stabilisation dans divers processus chimiques, notamment en synthèse organique et en catalyse.

- Catalyse Homogène et Hétérogène

Le solkétal est couramment utilisé comme ligand dans la catalyse homogène et hétérogène, grâce à ses propriétés chélatantes. Il forme des complexes métalliques stables capables de catalyser diverses réactions chimiques [39].

I.4.1- Chimie Organique

En chimie organique, le solkétal est utilisé comme solvant pour de nombreuses réactions en raison de sa faible toxicité et de ses excellentes propriétés de solubilisation. Il sert également d'agent de protection pour les groupes fonctionnels sensibles [40].

I.4.2- Synthèse de Biodiesel

Le solkétal joue un rôle crucial dans la synthèse du biodiesel à partir d'huiles végétales ou animales. Il agit comme co-solvant dans le processus de transestérification, augmentant ainsi le rendement et la pureté du biodiesel produit [41].

I.4.3- Applications pharmaceutiques et cosmétiques

Le solkétal est étudié pour ses applications potentielles dans la formulation de médicaments. Il a la capacité d'améliorer la solubilité de certains composés pharmaceutiques peu solubles dans l'eau, ce qui en fait un ingrédient précieux pour la pharmacologie [42].

- a) Groupe protecteur: utilisé pour protéger les groupes carbonyles dans la synthèse organique
- b) Composant chiral: sert de point de départ pour la synthèse de composés pharmaceutiques actifs
- c) Solvant: dans les formulations de médicaments et des produits cosmétiques
- d) Hydratant: utilisé comme humectant dans les crèmes et les lotions

I.4.4- Matériaux Polymères

Le solkétal est exploré comme monomère pour la synthèse de polymères biodégradables et biocompatibles. Ces polymères offrent des applications potentielles dans les matériaux biomédicaux et dans le domaine de l'emballage écologique [43].

I.4.6- Avantages écologiques

En tant que dérivé de la glycérine, le solkétal est considéré comme une substance « verte » :

- issu d'une ressource renouvelable
- faible toxicité
- biocompatible
- Remplaçant potentiel des solvants pétroliers dans de nombreuses applications

Chapitre II :

les Activités

Biologiques

II.1. Introduction

Les activités biologiques sont fondamentales pour la vie, englobant une multitude de processus physiologiques, biochimiques, et physiques qui permettent aux organismes de fonctionner, de se développer, de se reproduire et de s'adapter à leur environnement. Ces processus se déroulent à divers niveaux d'organisation, allant du cellulaire au systémique, et sont essentiels pour maintenir l'homéostasie, c'est-à-dire l'équilibre interne vital pour la survie de l'organisme.

La compréhension de ces activités biologiques est cruciale pour plusieurs disciplines scientifiques, notamment la biologie, la médecine, l'écologie, et la biotechnologie. Par exemple, l'étude des mécanismes de la photosynthèse a mené à des améliorations significatives dans les rendements agricoles, tandis que l'exploration des processus cellulaires a donné lieu à des avancées majeures en thérapie génique et en biotechnologie. Ces connaissances permettent non seulement de répondre à des questions fondamentales sur le fonctionnement des organismes vivants, mais aussi de développer des applications pratiques qui améliorent la santé humaine, la production alimentaire, et la gestion des ressources naturelles.

Au-delà de leur importance pour la survie des individus, les activités biologiques jouent également un rôle crucial dans le maintien des écosystèmes et de la biodiversité. Chaque organisme interagit avec son environnement et avec d'autres organismes, contribuant aux dynamiques écologiques et aux cycles biogéochimiques. Par exemple, les bactéries fixatrices d'azote sont essentielles au cycle de l'azote, un élément indispensable pour la croissance des plantes, démontrant ainsi l'interconnexion entre les activités biologiques et la santé des écosystèmes.

II.1- Les Fondements des Activités Biologiques

II.1.1. Définition et Concepts Clés

II.1.1.1 Définition de l'Activité Biologique

L'activité biologique se réfère à l'ensemble des processus et réactions chimiques qui permettent aux organismes vivants de maintenir leurs fonctions vitales. Ces activités incluent la respiration, la reproduction, la digestion, la croissance, le mouvement, la réponse aux stimuli, et la régulation des processus internes [44]. Elles sont pilotées par des mécanismes moléculaires complexes et sont observables à différents niveaux d'organisation biologique, allant de la cellule aux systèmes d'organes.

Les activités biologiques sont essentielles à la survie de tous les organismes, des bactéries aux mammifères. Elles sont souvent régulées par des systèmes de rétroaction qui permettent aux organismes de s'adapter à leur environnement en modifiant leur métabolisme, leur développement, ou leur comportement en réponse à des changements internes ou externes [45].

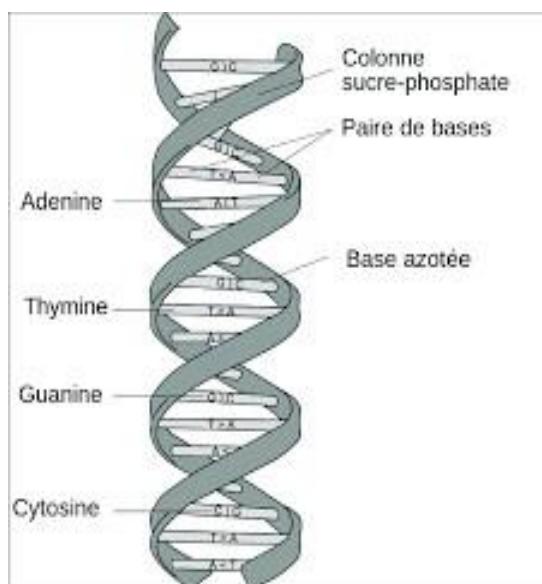


Figure 3 : Un schéma du processus de transcription et traduction de l'ADN en ARN puis en protéine.

II.1.1.2 Importance dans les Sciences Biologiques

La compréhension des activités biologiques est cruciale dans de nombreux domaines des sciences biologiques. Par exemple, en biologie cellulaire, l'étude des activités métaboliques fournit des informations essentielles sur la manière dont les cellules obtiennent et utilisent l'énergie [44]. En biotechnologie, les activités biologiques sont manipulées pour développer des traitements médicaux, créer des organismes génétiquement modifiés, ou produire des biomolécules utiles [45].

Dans le domaine médical, la connaissance des activités biologiques permet de comprendre les mécanismes sous-jacents aux maladies et de développer des stratégies pour les prévenir, les diagnostiquer, et les traiter. En écologie, l'étude des interactions biologiques entre les organismes et leur environnement est cruciale pour comprendre les dynamiques des écosystèmes et les effets du changement climatique sur la biodiversité [44].

II.1.2. Bases Moléculaires des Activités Biologiques

II.1.2.1 Rôle de l'ADN, ARN, et Protéines

L'ADN (acide désoxyribonucléique) contient l'information génétique nécessaire à la synthèse des protéines, qui sont responsables de la plupart des activités biologiques. Cette molécule est constituée de deux brins enroulés en double hélice et composés de nucléotides, codant pour les gènes [46]. Ces gènes contiennent les instructions pour la synthèse des protéines essentielles à la vie.

L'ARN (acide ribonucléique) joue un rôle intermédiaire dans la synthèse des protéines. Les principaux types d'ARN incluent l'ARN messager (ARNm), qui transcrit l'information génétique de l'ADN pour la traduire en protéines, l'ARN ribosomal (ARNr), qui fait partie de la structure des ribosomes, et l'ARN de transfert (ARNt), qui transporte les acides aminés vers les ribosomes pour l'assemblage des protéines [47].

Les protéines, en tant que molécules effectrices, remplissent diverses fonctions essentielles dans les activités biologiques. Par exemple, les enzymes, qui sont des

protéines, catalysent les réactions chimiques nécessaires au métabolisme, tandis que les protéines structurales et régulatrices assurent le maintien de l'intégrité des cellules et des tissus, ainsi que la régulation de l'expression des gènes [46].

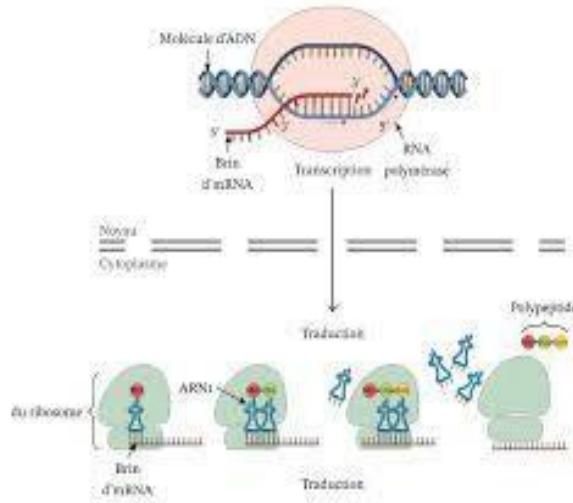


Figure4 : Un schéma du processus de transcription et traduction de l'ADN en ARN puis en protéine.

II.1.2.2 Énergie et Métabolisme Cellulaire

Le métabolisme désigne l'ensemble des réactions biochimiques dans un organisme pour maintenir la vie. Il comprend le catabolisme, processus de dégradation des molécules pour libérer de l'énergie, et l'anabolisme, processus de synthèse de nouvelles molécules à partir de précurseurs simples en utilisant cette énergie [47]. L'ATP (adénosine triphosphate) est la principale molécule énergétique utilisée par les cellules. Elle stocke l'énergie libérée lors des réactions cataboliques et la fournit pour les processus anaboliques et autres activités biologiques nécessitant de l'énergie. Par exemple, lors de la respiration cellulaire, le glucose est dégradé dans les mitochondries pour produire de l'ATP, qui alimente ensuite les activités cellulaires [46].

II.2- Types d'Activités Biologiques

II.2.1. Activités Métaboliques

Les activités métaboliques sont les processus biochimiques par lesquels les organismes convertissent les substances chimiques en énergie et en composants nécessaires pour maintenir la vie. Le métabolisme comprend deux grandes catégories : le catabolisme, qui est la dégradation des molécules pour libérer de l'énergie, et l'anabolisme, qui est la synthèse de nouvelles molécules, nécessitant souvent de l'énergie.

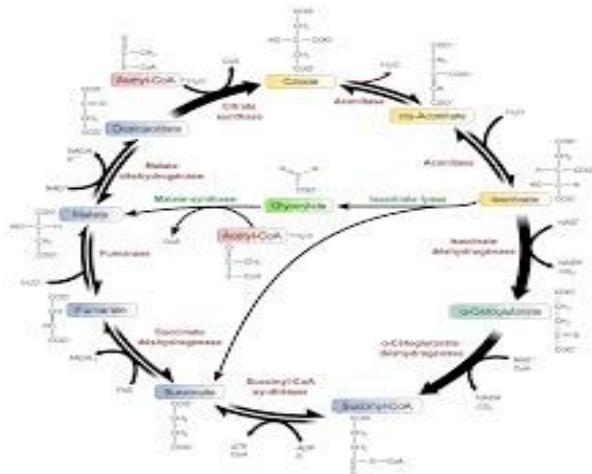


Figure5 : Un diagramme du cycle de Krebs ou une illustration des étapes de la glycolyse.

II.2.1.1. Catabolisme

Processus de Dégradation des Biomolécules

Le catabolisme consiste en la dégradation des grandes biomolécules en molécules plus petites, un processus qui libère de l'énergie stockée dans les liaisons chimiques. Cette énergie est généralement captée sous forme d'ATP (adénosine triphosphate), la principale monnaie énergétique des cellules. Le catabolisme est essentiel pour fournir l'énergie nécessaire à toutes les activités cellulaires, telles que la contraction musculaire, le transport actif à travers les membranes, et la synthèse des biomolécules [47].

Exemples : Respiration Cellulaire, Glycolyse

- **Respiration cellulaire** : C'est le processus par lequel les cellules oxydent les nutriments (principalement le glucose) pour produire de l'ATP, de l'eau, et du dioxyde de carbone. Ce processus se déroule en trois étapes principales : la glycolyse, le cycle de Krebs (ou cycle de l'acide citrique), et la chaîne de transport des électrons. Au cours de la respiration aérobie, une molécule de glucose peut produire jusqu'à 38 molécules d'ATP [48].
- **Glycolyse** : Première étape de la respiration cellulaire, elle se déroule dans le cytoplasme des cellules et convertit une molécule de glucose en deux molécules de pyruvate, en produisant une petite quantité d'ATP et de NADH (une molécule de transport d'électrons). La glycolyse est une voie métabolique ancienne, présente dans presque tous les organismes vivants [47].

II.2.1.2. Anabolisme (Processus de Synthèse de Biomolécules)

L'anabolisme est l'ensemble des processus qui construisent des molécules complexes à partir de précurseurs plus simples, souvent en utilisant l'énergie sous forme d'ATP. Ces processus sont essentiels pour la croissance, la réparation, et le maintien des structures cellulaires, ainsi que pour la production de molécules bioactives comme les hormones et les enzymes [46].

Exemples : Photosynthèse, Synthèse Protéique

- **Photosynthèse** : C'est le processus par lequel les plantes, les algues et certaines bactéries convertissent l'énergie lumineuse en énergie chimique sous forme de glucose. La photosynthèse se déroule en deux étapes principales : les réactions photochimiques, qui captent l'énergie solaire pour produire de l'ATP et du NADPH, et le cycle de Calvin, qui utilise ces molécules pour fixer le carbone et produire du glucose [49].
- **Synthèse protéique** : C'est le processus par lequel les cellules construisent des protéines en assemblant des acides aminés selon l'information

génétique contenue dans l'ARN messager. Ce processus se déroule en deux étapes principales : la transcription de l'ADN en ARN messager dans le noyau, suivie de la traduction de cet ARN messager en chaîne polypeptidique par les ribosomes dans le cytoplasme [46].

II.2.2. Activités de Croissance et de Développement

La croissance et le développement sont des processus biologiques essentiels qui permettent aux organismes de se développer de l'état unicellulaire (comme un zygote) à un organisme multicellulaire complexe, capable de reproduction et d'interaction avec son environnement.

II.2.2.1 Processus de Mitose et Méiose

- **Mitose** : C'est le processus de division cellulaire qui produit deux cellules filles génétiquement identiques à la cellule mère. La mitose est essentielle pour la croissance, la réparation des tissus, et le remplacement des cellules mortes [50].
- **Méiose** : C'est un type de division cellulaire qui réduit de moitié le nombre de chromosomes pour produire des gamètes (spermatozoïdes et ovules) dans les organismes sexués. La méiose introduit également la variation génétique grâce au brassage génétique et à l'échange de matériel génétique entre chromosomes homologues [50].

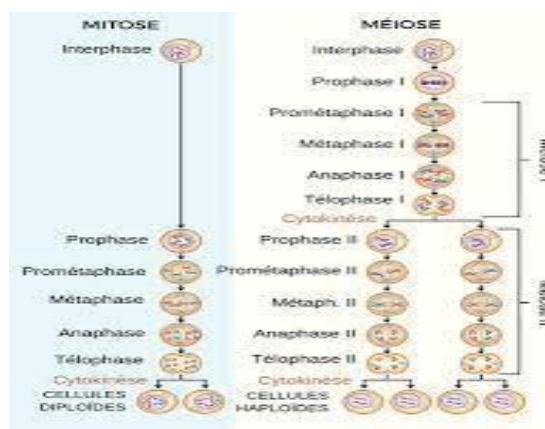


Figure6 : Une représentation graphique de la mitose et de la méiose montrant les différences entre ces deux processus de division cellulaire.

II.2.2.2 Rôle des Hormones et des Facteurs de Croissance

Les hormones et les facteurs de croissance régulent les processus de croissance et de développement. Par exemple, l'hormone de croissance (GH) stimule la croissance osseuse et musculaire chez les mammifères, tandis que les auxines sont des hormones végétales qui régulent l'elongation cellulaire et la différenciation des tissus [49].

Exemples : Croissance des Plantes, Développement Embryonnaire

- **Croissance des plantes** : Les plantes croissent par un processus appelé méristème, où des cellules indifférenciées se divisent activement. Les hormones végétales comme les auxines, les cytokinines et les gibberellines jouent un rôle clé dans la régulation de la croissance et du développement des plantes [49].
- **Développement embryonnaire** : Chez les animaux, le développement embryonnaire commence par la fécondation, suivie de la segmentation, la gastrulation, et l'organogenèse, où les tissus et les organes se forment à partir de cellules embryonnaires différencierées [50].

II.2.3. Activités Reproductives

Les activités reproductives assurent la continuité des espèces en permettant la production de nouvelles générations. La reproduction peut être sexuée, impliquant la fusion de gamètes, ou asexuée, où un seul parent produit des descendants génétiquement identiques.

II.2.3.1 Mécanismes de la Reproduction Sexuée et Asexuée

- **Reproduction sexuée** : Elle implique la fusion de deux gamètes provenant de deux parents distincts, ce qui permet le mélange génétique et produit des descendants génétiquement diversifiés. Ce processus favorise l'adaptabilité et la survie des espèces dans des environnements changeants [51].
- **Reproduction asexuée** : Ce mode de reproduction implique un seul parent et produit des clones génétiques, c'est-à-dire des descendants identiques au parent. Les mécanismes incluent la fission binaire chez les bactéries, le

bourgeonnement chez les levures, et la parthénogénèse chez certains animaux [51].

II.2.3.2 Cycle de Vie des Organismes

Les organismes passent par un cycle de vie qui comprend plusieurs étapes distinctes, de la naissance à la reproduction, en passant par la croissance et le développement, jusqu'à la mort. Chez les plantes, le cycle de vie comprend des phases diploïdes et haploïdes alternantes, tandis que chez les animaux, il est généralement dominé par la phase diploïde [52].

Exemple : Cycle de Vie de Plantes et Animaux

- **Cycle de vie des plantes** : Les plantes à fleurs (angiospermes) passent par un cycle de vie appelé alternance des générations, où une phase sporophyte diploïde alterne avec une phase gamétophyte haploïde [52] .
- **Cycle de vie des animaux** : Chez les animaux, le cycle de vie comprend des étapes de développement embryonnaire, de maturation, de reproduction, et de vieillissement. Par exemple, le cycle de vie des grenouilles inclut les étapes de l'œuf, du têtard, et de la grenouille adulte [51].

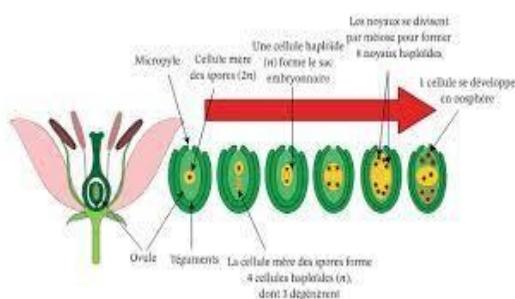


Figure7 : Un schéma du cycle de vie des plantes à fleurs (angiospermes)

II.2.4. Activités de Réponse aux Stimuli

Les organismes vivants sont capables de détecter et de répondre aux changements de leur environnement pour assurer leur survie. Ces réponses peuvent être physiologiques, comportementales, ou moléculaires.

II.2.4.1 Mécanismes de Réponse aux Stimuli Externes (Lumière, Gravité, Température)

Les stimuli externes tels que la lumière, la gravité, et la température peuvent déclencher des réponses spécifiques chez les organismes. Par exemple, les plantes utilisent des récepteurs de la lumière pour diriger leur croissance vers la source lumineuse (phototropisme), tandis que certains animaux régulent leur activité en fonction de la température environnante (thermorégulation) [53].

2.4.2 Homéostasie : Régulation de la Température, Pression Sanguine, Glucose Sanguin

L'homéostasie est le processus par lequel les organismes maintiennent un équilibre interne stable malgré les fluctuations de l'environnement externe. Cela inclut la régulation de la température corporelle, de la pression sanguine, et des niveaux de glucose sanguin, souvent grâce à des systèmes de rétroaction [54].

Exemples : Phototropisme, Réponse Immunitaire

- **Phototropisme** : Les plantes orientent leur croissance vers la lumière grâce à l'action des auxines, des hormones végétales qui régulent l'elongation des cellules [49].
- **Réponse immunitaire** : Chez les animaux, le système immunitaire détecte et répond aux agents pathogènes (comme les virus et les bactéries) par une série de réactions coordonnées qui incluent la production d'anticorps et l'activation des cellules immunitaires [54].

II.2.5. Activités de Communication Cellulaire

La communication cellulaire est essentielle pour coordonner les activités biologiques à l'intérieur des cellules et entre les cellules au sein des tissus et des organes. Elle permet aux cellules de répondre aux signaux externes et de réguler les processus internes.

II.2.5.1 Communication via les Signaux Chimiques (Hormones, Neurotransmetteurs)

Les cellules communiquent souvent via des signaux chimiques comme les hormones et les neurotransmetteurs. Les hormones sont des messagers chimiques produits par les glandes endocrines et transportés par le sang pour réguler diverses fonctions corporelles. Les neurotransmetteurs, quant à eux, sont des messagers chimiques qui transmettent les signaux entre les neurones et d'autres cellules cibles dans le système nerveux [44].

II.2.5.2 Communication Électrique dans le Système Nerveux

La communication électrique est cruciale pour le fonctionnement du système nerveux. Les neurones transmettent des signaux électriques (impulsions nerveuses) le long de leur membrane grâce à des changements dans le potentiel de membrane. Cette transmission est rapide et permet une coordination efficace des réponses de l'organisme aux stimuli [55].

Exemples : Système Nerveux Humain, Réseaux Hormonaux

- **Système nerveux humain** : Il est composé du système nerveux central (cerveau et moelle épinière) et du système nerveux périphérique (nerfs), et il contrôle la majorité des activités volontaires et involontaires du corps humain [55].
- **Réseaux hormonaux** : Les hormones comme l'insuline, le cortisol, et la thyroxine régulent des fonctions vitales telles que le métabolisme, la réponse au stress, et la croissance [44].

II.3- Importance des Activités Biologiques

II.3.1. Rôle dans le Maintien de l'Homéostasie

L'homéostasie est le processus par lequel un organisme maintient un équilibre interne stable malgré les variations externes. Ce mécanisme est crucial pour la survie et le bon fonctionnement des organismes vivants.

II.3.1.1 Mécanismes de Régulation Interne

Les organismes possèdent divers mécanismes pour réguler leur milieu intérieur, tels que la température, le pH, l'équilibre hydrique, et les niveaux de nutriments. Ces mécanismes incluent des boucles de rétroaction négative, où toute déviation par rapport à une norme déclenche des processus qui ramènent les conditions à leur état optimal [42].

Exemples de Mécanismes d'Homéostasie

- **Osmorégulation** : Ce processus permet aux organismes de réguler la concentration de solutés et d'eau dans leurs cellules et fluides corporels. Par exemple, les reins des mammifères filtrent le sang pour éliminer les déchets tout en réabsorbant l'eau et les électrolytes nécessaires pour maintenir l'équilibre hydrique [54].
- **Thermorégulation** : Chez les mammifères, la thermorégulation est régulée par l'hypothalamus, qui déclenche des réponses comme la transpiration pour dissiper la chaleur, ou les frissons pour produire de la chaleur. Ces mécanismes permettent de maintenir une température corporelle constante, essentielle au bon fonctionnement des enzymes et des processus métaboliques [54].

II.3.1.2 Importance pour la Survie de l'Organisme

L'homéostasie est essentielle pour la survie car elle maintient des conditions internes stables, nécessaires à la vie. Une perturbation de l'homéostasie peut entraîner des dysfonctionnements physiologiques graves, voire mortels, comme

l'hyperthermie, l'hypothermie, le déséquilibre électrolytique, ou l'acidose métabolique [56].

II.3.2. Contribution à l'Adaptation et à l'Évolution

Les activités biologiques sont cruciales pour l'adaptation des organismes à leur environnement et jouent un rôle clé dans l'évolution des espèces.

II.3.2.1 Adaptation Physiologique et Comportementale

Les adaptations sont des caractéristiques héritées qui augmentent les chances de survie et de reproduction dans un environnement donné. Elles peuvent être physiologiques, comme la capacité des poissons antarctiques à produire des protéines antigel pour survivre dans des eaux glacées, ou comportementales, comme les migrations saisonnières des oiseaux pour éviter les conditions climatiques extrêmes [57].

II.3.2.2 Rôle des Activités Biologiques dans l'Évolution des Espèces

Les activités biologiques influencent l'évolution en permettant aux organismes de répondre aux pressions sélectives de l'environnement. Par exemple, les modifications du métabolisme énergétique ont permis à certains mammifères de s'adapter à des environnements froids en augmentant leur masse de graisse ou en développant des comportements d'hibernation. De même, les adaptations au niveau de la photosynthèse ont permis aux plantes de coloniser une variété d'habitats, des forêts tropicales aux déserts arides [52].

Exemples :

- **Adaptations chez les plantes en milieux arides :** Les plantes succulentes, comme les cactus, ont développé des adaptations telles que la réduction des feuilles à des épines et la capacité à stocker l'eau dans leurs tissus charnus. De plus, certaines plantes utilisent un mécanisme de photosynthèse spécifique, appelé CAM (Crassulacean Acid Metabolism), pour minimiser la perte d'eau pendant la photosynthèse [52].

- **Évolution des mammifères** : Les mammifères ont évolué pour occuper une variété de niches écologiques grâce à des adaptations telles que le pelage pour l'isolation thermique, le développement du placenta pour une reproduction efficace, et la diversification des stratégies alimentaires, ce qui a conduit à l'évolution des carnivores, herbivores, et omnivores [57].

II.3.3. Impact sur la Biodiversité et les Écosystèmes

Les activités biologiques des organismes influencent la biodiversité et la structure des écosystèmes, jouant un rôle essentiel dans le maintien de l'équilibre écologique.

II.3.3.1 Relation entre les Activités Biologiques et les Dynamiques des Écosystèmes

Les activités biologiques, telles que la prédation, la pollinisation, la décomposition, et la compétition, déterminent la structure des communautés écologiques et les interactions entre les espèces. Par exemple, les plantes à fleurs dépendent des pollinisateurs pour leur reproduction, tandis que les décomposeurs recyclent les nutriments essentiels dans les sols, soutenant ainsi la productivité primaire [58].

II.3.3.2 Importance de la Diversité des Activités Biologiques pour la Santé des Écosystèmes

La diversité des activités biologiques est cruciale pour la résilience des écosystèmes. Les écosystèmes riches en espèces et en interactions biologiques sont plus résilients face aux perturbations, telles que les changements climatiques ou les invasions d'espèces exotiques. Par exemple, la diversité des espèces végétales dans une forêt tropicale soutient une grande diversité d'animaux et de micro-organismes, ce qui permet à l'écosystème de se régénérer rapidement après des perturbations [59].

Exemples :

- **Rôle des prédateurs dans le contrôle des populations** : Les grands carnivores, comme les loups, régulent les populations d'herbivores dans les écosystèmes, ce qui empêche la surconsommation de la végétation et maintient l'équilibre entre les différentes espèces [59].
- **Pollinisation et maintien de la diversité des plantes** : Les interactions entre les plantes et leurs polliniseurs, comme les abeilles, sont essentielles pour la reproduction des plantes à fleurs, ce qui contribue à la diversité végétale et, par extension, à la diversité des écosystèmes [58].

II.4- Applications Pratiques des Connaissances sur les Activités Biologiques**II.4.1. En Médecine et Biotechnologie**

Les avancées en biologie ont transformé la médecine et la biotechnologie, ouvrant la voie à de nouvelles thérapies et techniques novatrices.

II.4.1.1 Rôle dans le Développement de Nouveaux Traitements (ex.**Thérapies Géniques)**

Les thérapies géniques utilisent des connaissances avancées en biologie pour corriger des anomalies génétiques responsables de maladies. Ces thérapies impliquent l'introduction de gènes correctifs dans les cellules du patient, soit pour remplacer un gène défectueux, soit pour introduire un nouveau gène qui aide à combattre la maladie. Par exemple, des thérapies géniques sont en cours de développement pour traiter des maladies génétiques telles que la dystrophie musculaire de Duchenne et la mucoviscidose [60].

II.4.1.2 Biotechnologie et Ingénierie Biologique

La biotechnologie exploite les processus biologiques pour créer des produits et technologies utiles dans divers domaines, notamment la médecine, l'agriculture, et l'industrie. Par exemple, l'ingénierie biologique permet de concevoir des microorganismes génétiquement modifiés pour produire des médicaments, comme l'insuline recombinante, ou pour dégrader des polluants environnementaux. L'édition génomique avec CRISPR-Cas9 est un autre exemple

de biotechnologie révolutionnaire, permettant des modifications précises du génome pour corriger des mutations ou ajouter de nouvelles fonctions génétiques [61].

II.4.2. En Agriculture et Environnement

Les connaissances en biologie sont appliquées pour promouvoir des pratiques agricoles durables et protéger l'environnement.

II.4.2.1 Applications dans l'Agriculture Durable

Les avancées biologiques permettent de développer des méthodes agricoles augmentant la productivité tout en minimisant l'impact environnemental. Par exemple, les biotechnologies végétales ont conduit à la création de cultures génétiquement modifiées (OGM) résistantes aux insectes et aux maladies, réduisant ainsi l'utilisation de pesticides. De plus, des pratiques telles que la rotation des cultures et la culture de couverture exploitent la compréhension des interactions biologiques pour améliorer la santé des sols et la biodiversité [62].

II.4.2.2 Bioremédiation et Conservation de l'Environnement

La bioremédiation utilise des micro-organismes pour nettoyer les sites pollués en dégradant les contaminants en composés moins nocifs. Par exemple, certaines bactéries sont employées pour traiter les déversements de pétrole en mer, en décomposant le pétrole en dioxyde de carbone et en eau. De plus, les efforts de conservation environnementale s'appuient sur la compréhension des interactions biologiques pour restaurer les habitats dégradés et protéger les espèces menacées [63].

II.4.3. En Recherche Fondamentale

Les études sur les activités biologiques approfondissent notre compréhension des mécanismes de la vie et de l'évolution.

II.4.3.1. Études sur les Modèles Biologiques

Les modèles biologiques, tels que la mouche du vinaigre (*Drosophila melanogaster*), le nématode (*Caenorhabditis elegans*), et la souris, sont essentiels pour étudier les processus biologiques fondamentaux. Ces organismes modèles permettent aux chercheurs de comprendre les bases génétiques, moléculaires, et cellulaires des activités biologiques, et leurs résultats peuvent souvent être extrapolés aux êtres humains et à d'autres espèces [64].

II.4.3.2. Implications pour la Compréhension de la Vie et de l'Évolution

La recherche fondamentale en biologie aide à élucider les mécanismes de l'évolution, notamment comment les activités biologiques, telles que la reproduction et la mutation génétique, conduisent à la diversité des espèces et à l'adaptation aux environnements changeants. Les découvertes en biologie moléculaire et en génomique ont aussi permis de retracer les relations évolutives entre les espèces, offrant une meilleure compréhension de l'arbre de la vie [65].

Chapitre III :

Partie

Pratique

III.1.Préparation de l'Argile Activée

III.1.1.Matériaux Nécessaires

Argile naturelle : 200 grammes

Solution de chlorure de sodium (NaCl) : 1 litre à 0,5 mol/L

Agitateur mécanique

Étuve : réglable jusqu'à 100°C

Matériel de filtration : papier filtre, entonnoir

III.1.2. Procédure Détailnée

III.1.2.1. Pré-traitement de l'argile avec NaCl

Pesée de l'argile : o Peser précisément 20 grammes d'argile naturelle à l'aide d'une balance analytique pour assurer la reproductibilité des résultats.

Préparation de la solution de NaCl : o Dissoudre 29,22 grammes de NaCl dans 1 litre d'eau distillée pour obtenir une solution à 0,5 mol/L.

Calcul : La masse molaire de NaCl est de 58,44 g/mol. Donc, $0,5 \text{ mol/L} \times 58,44 \text{ g/mol} = 29,22 \text{ g/L}$.

Mélange de l'argile et de la solution de NaCl :

Dans un bêcher de 2 litres, ajouter les 200 g d'argile puis verser lentement les 1 L de solution de NaCl à 0,5 mol/L en remuant doucement pour éviter la formation de grumeaux.

Agitation du mélange : o Placer le bêcher sur un agitateur mécanique et agiter continuellement pendant **6heures** à une vitesse modérée (environ 300 tours par minute).

But : Cette étape permet l'échange ionique entre les cations présents dans l'argile et les ions sodium de la solution, améliorant ainsi les propriétés adsorbantes et catalytiques de l'argile.

III.1.2.2. Séchage et Broyage de l'argile traitée

Filtration du mélange :

Après agitation, filtrer le mélange à l'aide d'un papier filtre adéquat pour séparer l'argile de la solution saline.

- Rincer l'argile résiduelle sur le filtre avec de l'eau distillée pour éliminer les ions chlorure résiduels.

But : La filtration et le rinçage éliminent l'excès de sel et les impuretés, préparant l'argile pour les étapes suivantes.

Séchage initial :

Transférer l'argile humide dans des plateaux en acier inoxydable ou en verre résistant à la chaleur.

Placer les plateaux dans une étuve préchauffée à **100°C** et laisser sécher pendant **24 heures**.

But : Cette étape élimine l'eau interstitielle présente dans l'argile, conduisant à une structure plus poreuse et active.

Broyage de l'argile sèche :

Une fois sèche, retirer l'argile de l'étuve et laisser refroidir à température ambiante.

- Broyer l'argile à l'aide d'un mortier et d'un pilon ou d'un broyeur mécanique jusqu'à obtenir une poudre fine et homogène.

But : Le broyage augmente la surface spécifique de l'argile, améliorant ainsi son activité catalytique.

III.2. Activation de l'Argile par Traitement Acide

III.2.1. Matériaux Nécessaires

Poudre d'argile prétraitée : 5G

Acide chlorhydrique (HCl) : solution à 0,5 mol/L, 300 mL

Ballon à fond rond de 500 mL

Réchauffeur (chauffe-ballon) avec agitation magnétique

Matériel de filtration : papier filtre, entonnoir Büchner, pompe à vide

Eau distillée

Centrifugeuse

pH-mètre ou papier pH

III.2.2. Procédure Détailée

III.2.2.1. Préparation de la solution acide

Préparation de la solution de HCl :

Diluer l'acide chlorhydrique concentré pour obtenir **300 mL de solution à 0,5 mol/L**.

Précaution de sécurité : Porter des équipements de protection individuelle (gants, lunettes de sécurité, blouse de laboratoire) lors de la manipulation de l'acide.

III.2.2.2. Traitement acide de l'argile

Mélange de l'argile et de la solution acide :

Peser **5 gramme** de la poudre d'argile prétraitée. ○ Introduire cette poudre dans un ballon à fond rond de 500 mL.

Ajouter les **300 mL de solution de HCl à 0,5 mol/L** dans le ballon contenant l'argile.

Chauffage et agitation :

Connecter le ballon à un système de chauffage avec agitation magnétique.

Chauffer le mélange à **80°C** pendant **2 heures** sous agitation constante.

But : Le traitement acide prolonge l'activation de l'argile en éliminant les impuretés minérales et en augmentant la surface spécifique et l'acidité des sites actifs de l'argile.

Refroidissement :

Après le chauffage, laisser le mélange refroidir à température ambiante.

III.2.2.3. Filtration et Lavage

Filtration du mélange

Filtrer le mélange à l'aide d'un entonnoir Büchner et d'une pompe à vide pour accélérer le processus.

Rincer le résidu sur le filtre avec de l'eau distillée jusqu'à ce que le filtrat soit exempt d'ions chlorure.

Lavage répété et neutralisation du pH :

Placer l'argile filtrée dans des tubes de centrifugation. ○ Ajouter de l'eau distillée et centrifuger à **5000 tours par minute** pendant **3 minutes**.

Répéter ce processus de lavage **6 à 7 fois** en vérifiant le pH de la suspension après chaque cycle.

But : Les lavages répétés éliminent les résidus acides et neutralisent le pH de l'argile activée entre **6 et 7**, garantissant ainsi que le catalyseur n'introduira pas d'acidité excessive dans les réactions ultérieures.

III.2.2.4. Séchage et Broyage final**Séchage final :**

Après le dernier lavage, recueillir l'argile et la transférer dans des plateaux appropriés. ○ Placer les plateaux dans une étuve à **100°C** pendant **24 heures** pour sécher complètement l'argile.

But : Le séchage final assure l'élimination totale de l'eau, prévenant ainsi toute interférence lors de la synthèse du solketal.

Broyage final :

Une fois sèche, broyer l'argile pour obtenir une poudre fine et homogène. ○ Stocker le catalyseur obtenu dans un flacon hermétique pour éviter l'absorption d'humidité.

III.3. Synthèse du Solketal**III.3.1. Matériaux Nécessaires**

Acétone : 25 mmol

Glycérol : 25 mmol

Catalyseur d'argile activée : 0,5 gramme

Flacon hermétique : capacité appropriée

Étuve : réglable à 50°C

Sulfate de sodium anhydre (Na_2SO_4) : 0,5 gramme

Centrifugeuse

Balance analytique

III.3.2. Calcul des Quantités Requises

Acétone

Masse molaire de l'acétone (C_3H_6O) : 58,08 g/mol □ **Quantité requise :**

$25 \text{ mmol} \times 58,08 \text{ g/mol} = 1,452 \text{ g}$ d'acétone ◦ Volume correspondant (densité de l'acétone = 0,791 g/mL) :

$$1,452 \text{ g} / 0,791 \text{ g/mL} = 1,836 \text{ mL}$$

Glycérol

Masse molaire du glycérol ($C_3H_8O_3$) : 92,09 g/mol □ **Quantité requise :**

$25 \text{ mmol} \times 92,09 \text{ g/mol} = 2,302 \text{ g}$ de glycérol ◦ Volume correspondant (densité du glycérol = 1,261 g/mL) :

$$2,302 \text{ g} / 1,261 \text{ g/mL} = 1,826 \text{ mL}$$

III.3.3. Procédure Détailée

III.3.3.1. Préparation des Réactifs

Préparation de l'acétone :

Mesurer **1,836 mL** ou **1,452 g** d'acétone à l'aide d'une pipette graduée ou d'une balance analytique. ◦ Précaution de sécurité : L'acétone est un solvant inflammable et volatile ; manipuler dans une hotte avec les équipements de protection appropriés.

Préparation du glycérol :

Mesurer **1,826 mL** ou **2,302 g** de glycérol à l'aide d'une pipette graduée ou d'une balance analytique. ◦ Note : Le glycérol est visqueux ; il peut être réchauffé légèrement (à environ 40°C) pour faciliter la manipulation.

III.3.3.2. Préparation du Catalyseur

Pré-séchage du catalyseur

Peser **0,5 gramme** du catalyseur d'argile activée. ◦ Chauffer légèrement le catalyseur à **50°C** pendant **30 minutes** pour éliminer toute trace d'humidité.

But : L'humidité résiduelle peut affecter le rendement et la sélectivité de la réaction ; cette étape assure la pureté du catalyseur.

III.3.3.3. Mise en Réaction

Mélange des réactifs et du catalyseur :

Dans un flacon hermétique propre et sec, ajouter l'acétone et le glycérol préparés précédemment.

Ajouter le catalyseur séché au mélange. ○ Fermer hermétiquement le flacon pour éviter l'évaporation de l'acétone et l'entrée d'humidité atmosphérique.

Agitation et chauffage de la réaction :

Placer le flacon dans une étuve préchauffée à **50°C**. Laisser la réaction se dérouler pendant **6 heures** en maintenant une agitation constante si possible.

But : La température modérée favorise la formation du solketal tout en minimisant les réactions secondaires. L'agitation assure un mélange homogène et un contact optimal entre les réactifs et le catalyseur.

Réaction Chimique Impliquée

La réaction entre l'acétone et le glycérol en présence d'un catalyseur acide conduit à la formation de solketal et d'eau :

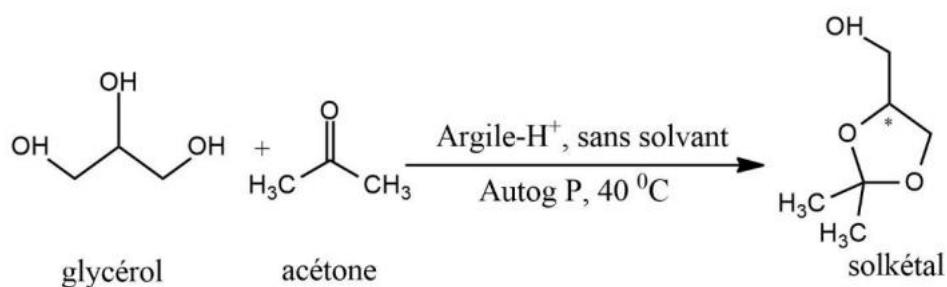


Figure8 :Réaction chimique impliquée

III.3.3.4. Post-traitement du Mélange Réactionnel

Refroidissement :

Après 6 heures, retirer le flacon de l'étuve et laisser refroidir à température ambiante.

Ajout de desséchant :

Ajouter **0,5 gramme de sulfate de sodium anhydre (Na_2SO_4)** au mélange réactionnel.

But : Le sulfate de sodium anhydre absorbe l'eau formée pendant la réaction, déplaçant l'équilibre vers la formation de plus de produit (solketal) selon le principe de Le Chatelier.

Agitation postérieure :

Agiter le mélange pendant **30 minutes** à température ambiante pour assurer une absorption complète de l'eau par le desséchant.

III.3.3.5. Séparation et Purification du Solketal

Centrifugation :

Transférer le mélange dans des tubes de centrifugation. ○ Centrifuger à **4000 tours par minute** pendant **10 minutes**.

But : La centrifugation sépare le catalyseur solide et le sulfate de sodium du solketal liquide.

Récupération du solketal :

Décanter soigneusement la phase liquide (solketal) dans un flacon propre. ○ Si nécessaire, filtrer à travers un filtre à membrane pour éliminer les particules fines résiduelles.

Séchage final :

Si le solketal présente encore des traces d'humidité, le sécher en le passant sur une colonne de desséchant (comme du gel de silice activé). ○ Stocker le solketal purifié dans un flacon en verre ambré hermétique pour le protéger de la lumière et de l'humidité.



Figure 9 : solketal

III.3.4. Identification du produit d'acétalisation de l'acétone par le glycérol

La comparaissant des spectres RMN ^{13}C ; (a) du mélange réactionnel avec les spectres (b) du solketal (c) glycérol et (d) de l'actétone indique la Présence sélective d'un seul produit le solketal avec les déplacements chimiques suivants:

- $\delta = 108,43 \text{ ppm} (\text{OCO})$ un seul carbone acétal
- $\delta = 75,6 \text{ ppm} (\text{O-CH-CH}_2\text{-OH})$ $\delta = 65,4 \text{ ppm} (\text{CH-CH}_2\text{-O})$, $\delta = 63,175 \text{ ppm} (\text{HO-CH}_2\text{-CH})$
- $\delta = 25,91 \text{ ppm} (\text{C-CtransH}_3)$ et $\delta = 24,5 \text{ ppm} (\text{C-CcisH}_3)$

La comparaissant des spectres RMN ^1H ; (e) du mélange réactionnel avec les spectres (f) du solketal (g) glycérol et (h) de l'actétone indique la Présence sélective d'un seul produit le solketal avec les déplacement chimiques suivants:

- $\delta = 4 \text{ ppm} (\text{O-CH-CH}_2\text{-OH})$, $\delta = 2,47 \text{ ppm} (\text{O-CH-CH}_2\text{-OH})$ - $\delta = 3,82 \text{ ppm} (\text{O-CHcis-CH-})$, $\delta = 3,56 \text{ ppm} (\text{O-CHtrans-CH-})$ $\delta = 3,42 \text{ ppm} (\text{O-CH-CH}_2\text{-OH})$
- $\delta = 1,17 \text{ ppm} (\text{CH}_3)_2$

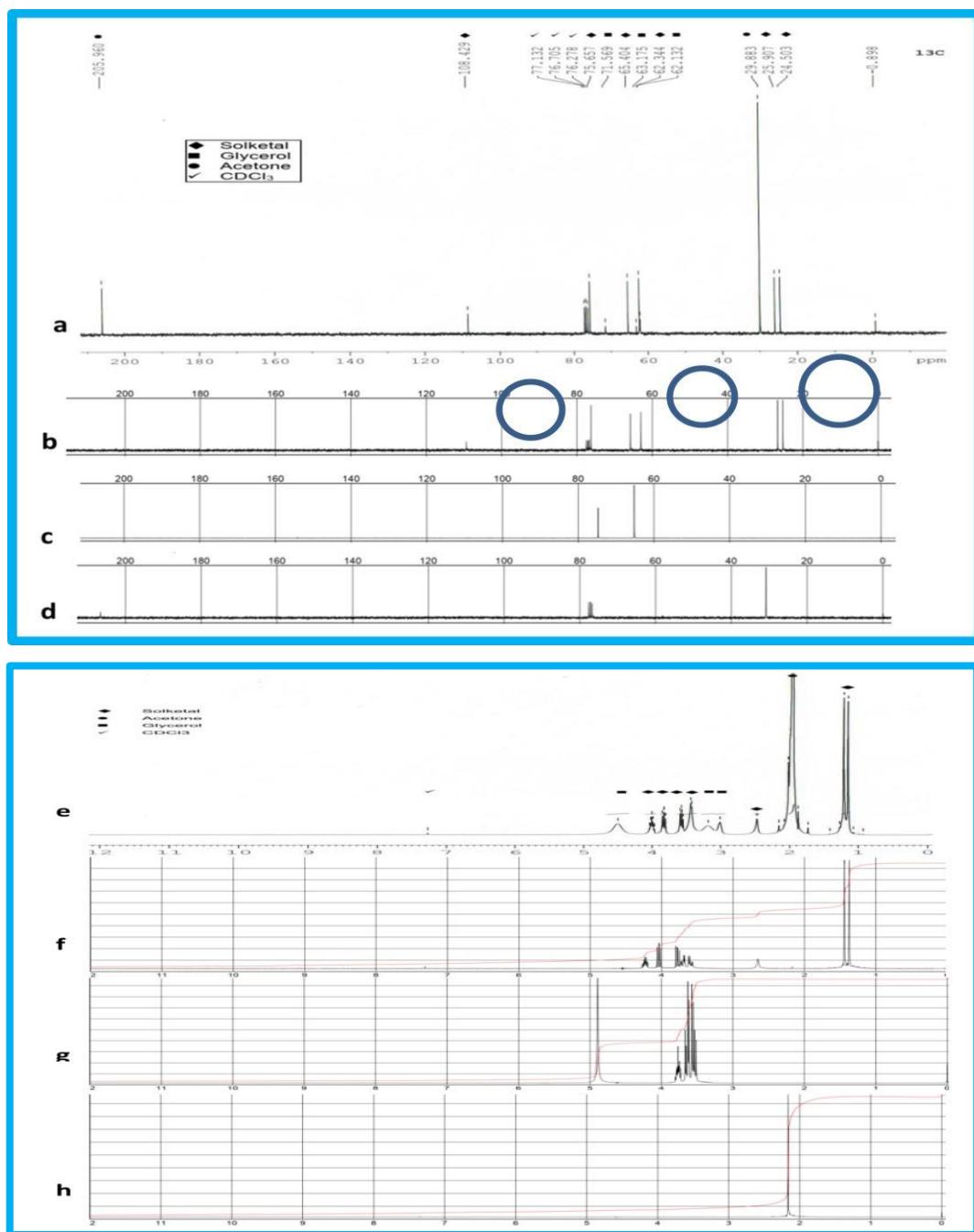


Figure 10: Spectres RMN 1H et 13C des réactifs, du produit et du brûlé de l'acétalisation

III.4. Évaluation de l'Activité Biologique du Solketal

III.4.1. Matériaux et Équipements Nécessaires

Souches bactériennes : ○ **Escherichia coli (EC)** ○ **Klebsiella pneumoniae (KP)**
Bacillus subtilis (BS) ○ **Pseudomonas aeruginosa (PA)** ○ **Staphylococcus aureus (SA)**

Candida albicans (CA) (bien que ce soit une levure, elle est souvent incluse dans les tests microbiens)

Bouillon nutritif (BN) : milieu de culture liquide

Gélose nutritive (GN) : milieu de culture solide en boîtes de Pétri

Solketal synthétisé

Acétone (contrôle positif ou négatif selon le contexte)

Eau physiologique stérile : solution saline isotoniques (0,9% NaCl)

Centrifugeuse

Inoculateurs stériles (anses ou pipettes)

Incubateur : réglable à 37°C

Perforateur stérile ou pipette Pasteur : pour créer des puits dans la gélose

Matériel de stérilisation : autoclave, bec Bunsen, alcool

III.4.2. Préparation des Cultures Bactériennes

III.4.2.1. Préparation des Pré-cultures

Inoculation dans le bouillon nutritif (BN) :

Préparer des tubes contenant **5 mL de BN stérile** pour chaque souche bactérienne.

Aseptiquement, inoculer chaque tube avec une petite quantité (boucle) de la souche bactérienne correspondante.

Incuber les tubes à **37°C pendant 24 heures** pour permettre la croissance bactérienne et obtenir des cultures fraîches et actives.

But : Obtenir une concentration bactérienne suffisante pour les tests de sensibilité.

III.4.2.2. Préparation de la Gélose Nutritive (GN)

Préparation et coulage des boîtes de Pétri :

Préparer la GN selon les instructions du fabricant et stériliser par autoclave.

Une fois refroidie à environ 45-50°C, verser la GN dans des boîtes de Pétri stériles en couches uniformes de **15-20 mL**. ○ Laisser solidifier à température ambiante dans des conditions stériles.

But : La GN servira de milieu solide pour l'évaluation de l'activité antimicrobienne.

III.4.3. Préparation des Suspensions Bactériennes Ajustées

Récupération des cultures bactériennes :

Après incubation, centrifuger chaque tube de BN inoculé à **3000 tours par minute** pendant **5 minutes** pour précipiter les cellules bactériennes.

Décanter le surnageant et resuspendre le culot bactérien dans **1 mL d'eau physiologique stérile**.

But : Obtenir une suspension bactérienne concentrée et standardisée pour une application uniforme sur la GN.

Ajustement de la densité bactérienne :

Ajuster la densité de chaque suspension bactérienne à environ **0,5 sur l'échelle de McFarland** ($\sim 1,5 \times 10^8$ UFC/mL).

Méthode : Comparer visuellement la turbidité de la suspension à un standard McFarland ou utiliser un spectrophotomètre.

III.4.4. Ensemencement et Application des Échantillons

Ensemencement de la GN :

À l'aide d'un écouvillon stérile, étaler uniformément la suspension bactérienne sur la surface de la GN en effectuant des mouvements en zigzag pour assurer une couverture complète. ○ Répéter cette opération pour chaque souche bactérienne sur des boîtes séparées.

Création des puits dans la GN :

À l'aide d'un perforateur stérile ou d'une pipette Pasteur, créer **deux puits de 1 cm de diamètre** et d'environ **5 mm de profondeur** dans chaque boîte ensemencée.

Veiller à espacer suffisamment les puits pour éviter le chevauchement des zones d'inhibition.

Application des échantillons :

Puits 1 : Ajouter **50 µL** de solketal synthétisé.

Puits 2 : Ajouter **50 µL** d'acétone pure (servant de contrôle).

But : Comparer l'effet antimicrobien du solketal avec celui de l'acétone, permettant d'évaluer l'efficacité spécifique du solketal.

III.4.5. Incubation et Observation

Incubation des boîtes de Pétri :

Placer les boîtes inversées (couvercle en bas) dans un incubateur à 37°C pendant **24 heures.**

But : Favoriser la croissance bactérienne et permettre l'expression de l'activité antimicrobienne des échantillons appliqués.

Observation des résultats :

Après incubation, examiner chaque boîte pour détecter la présence de zones d'inhibition autour des puits.

Mesure des zones d'inhibition :

À l'aide d'une règle ou d'un pied à coulisse stérile, mesurer le diamètre de la zone claire (sans croissance bactérienne) autour de chaque puits.

Noter les mesures pour chaque souche bactérienne et chaque échantillon (solketal et acétone).

III.4.6. Interprétation des Résultats

Analyse comparative :

Comparer les diamètres des zones d'inhibition entre le solketal et l'acétone pour chaque souche bactérienne. ○ Une zone d'inhibition significativement plus grande autour du puits contenant le solketal indique une activité antimicrobienne efficace du composé synthétisé.

Rapport des résultats :

Présenter les données sous forme de tableau récapitulatif indiquant les diamètres des zones d'inhibition pour chaque souche et chaque échantillon.

Discuter des résultats en termes d'efficacité antimicrobienne potentielle du solketal et de ses applications possibles.

III.5. Notes de Sécurité et de Bonnes Pratiques de Laboratoire

Toujours porter des équipements de protection individuelle appropriés (blouse, gants, lunettes de sécurité).

Manipuler les solvants inflammables (comme l'acétone) dans une hotte ventilée et loin de sources d'ignition.

Éliminer les déchets chimiques et biologiques conformément aux réglementations en vigueur.

Stériliser tout le matériel réutilisable avant et après utilisation pour éviter la contamination croisée.

Documenter soigneusement toutes les étapes et observations pour assurer la traçabilité et la validité scientifique des résultats.

Conclusion

Ce protocole détaillé fournit une méthode complète pour la préparation d'un catalyseur d'argile activée, la synthèse efficace du solketal et l'évaluation systématique de son activité biologique contre diverses souches bactériennes. Les explications fournies à chaque étape permettent une compréhension approfondie des processus chimiques et biologiques impliqués, facilitant ainsi la reproduction et l'adaptation de cette méthodologie à d'autres contextes de recherche.

III.6. Résultats et Discussion

III.6.1. Résultats :

Les résultats obtenus pour l'activité antimicrobienne du Solketal et de l'acétone contre différentes souches bactériennes sont les suivants :

- **Solketal :**

EC (Escherichia coli) : 1.2cm

KP (Klebsiella pneumoniae) : 1.2 cm

BS (Bacillus subtilis) : 2.5 + 1.6 cm

PA (Pseudomonas aeruginosa) : 2.9 + 1.9 cm

SA (Staphylococcus aureus) : 1.2 cm

CA (Candida albicans) : 1.2 cm

- **Acétone :**

EC (Escherichia coli) : 0.4 cm

KP (Klebsiella pneumoniae) : 0.4 cm

BS (Bacillus subtilis) : 0.6 cm

PA (Pseudomonas aeruginosa) : 0.5 cm

SA (Staphylococcus aureus) : 0.2 cm

CA (Candida albicans) : 0.2 cm



Figure 11 : souche bactériennes de SA

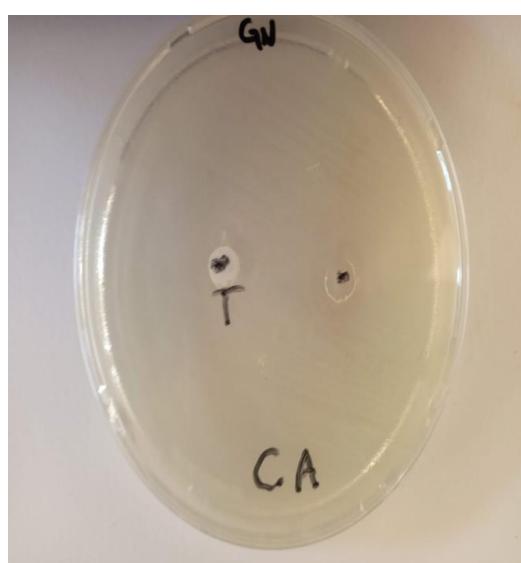


Figure 13 : souche bactériennes de CA



Figure 12 : souche bactériennes de EC

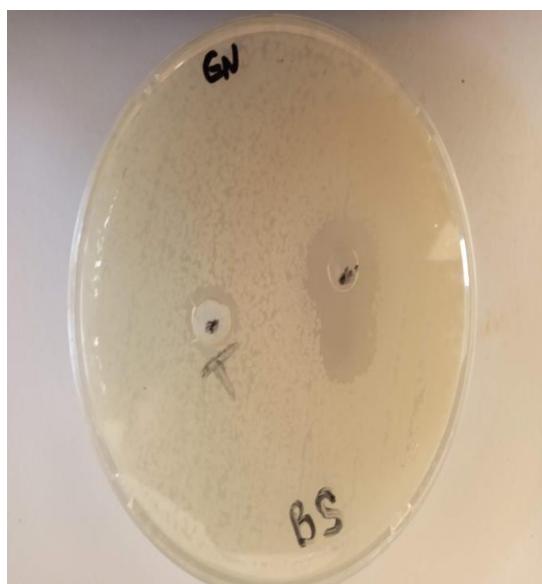


Figure 14 : souche bactériennes De BS



Figure 15 : souche bactériennes de KP

o



Figure 16: souche bactériennes de PA

III.6.2. Discussion :

Activité Antimicrobienne du Solketal :

Les données montrent que le Solketal possède une activité antimicrobienne significative contre plusieurs souches bactériennes, avec des zones d'inhibition plus grandes que celles observées avec l'acétone. En particulier, les souches **Bacillus subtilis** et

Pseudomonas aeruginosa montrent les zones d'inhibition les plus larges, avec des valeurs respectivement de 2.5 + 1.6 et 2.9 + 1.9.

Cela indique une forte efficacité du Solketal contre ces bactéries.

Pour les autres souches (**EC, KP, SA, CA**), les zones d'inhibition sont de 1.2, ce qui suggère que le Solketal est modérément efficace contre ces souches, mais reste bien plus efficace que l'acétone.

Comparaison avec l'Acétone :

L'acétone, utilisée comme contrôle, montre une activité antimicrobienne nettement inférieure par rapport au Solketal. Les zones d'inhibition pour toutes les souches sont comprises entre 0.2 et 0.6. Cela confirme que l'activité antimicrobienne observée avec le Solketal est principalement due à la nature de ce composé, plutôt qu'à l'acétone elle-même. Les résultats indiquent que le Solketal, en tant que produit de réaction entre l'acétone et le glycérol avec le catalyseur à base d'argile activée, a des propriétés antimicrobiennes accrues, probablement dues à sa structure chimique unique qui interfère plus efficacement avec les membranes bactériennes.

Implications :

Ces résultats sont prometteurs pour l'utilisation du Solketal comme agent antimicrobien dans des applications où une large gamme d'activité est souhaitée. En particulier, son efficacité contre des souches résistantes comme **Pseudomonas aeruginosa** est notable, car cette bactérie est souvent associée à des infections difficiles à traiter.

Les faibles performances de l'acétone seule démontrent que la transformation chimique pour obtenir le Solketal a considérablement amélioré l'efficacité antimicrobienne, ce qui justifie l'intérêt de poursuivre les recherches sur ce composé.

En conclusion, le Solketal, synthétisé avec un catalyseur à base d'argile activée, a montré une activité antimicrobienne substantielle, supérieure à celle de l'acétone, ouvrant la voie à de nouvelles applications dans le domaine des agents antimicrobiens.

Conclusion

Conclusion :

La recherche sur la synthèse du Solketal à l'aide d'argile activée comme catalyseur met en évidence des résultats significatifs et prometteurs dans le domaine des composés antimicrobiens. La préparation minutieuse de l'argile activée et la méthode de synthèse du Solketal ont permis d'obtenir un produit de haute pureté, dont les propriétés antimicrobiennes ont été démontrées de manière efficace.

Les tests biologiques ont révélé que le Solketal possède une activité antimicrobienne supérieure à celle de l'acétone, particulièrement contre certaines souches bactériennes telles que *Bacillus subtilis* et *Pseudomonas aeruginosa*. Cette efficacité accrue est attribuée à la structure chimique spécifique du Solketal, qui semble lui conférer des propriétés supérieures en matière de contrôle de la croissance microbienne.

Les résultats de cette étude ouvrent la voie à des applications potentielles du Solketal dans divers domaines, y compris la médecine et l'industrie, où son efficacité antimicrobienne pourrait offrir des avantages substantiels. La poursuite des recherches sur le Solketal et l'optimisation de ses propriétés pourraient contribuer au développement de nouveaux agents antimicrobiens, apportant ainsi des solutions innovantes aux défis liés aux infections et à la résistance aux antibiotiques.

En somme, cette recherche souligne l'importance de l'argile activée comme catalyseur efficace pour la synthèse de composés antimicrobiens et confirme le potentiel du Solketal comme alternative prometteuse dans le domaine des traitements antimicrobiens.

Référence bibliographie

Référence bibliographie

1. Smith, J., & Brown, P. (2020). "Applications of Activated Clay in Catalysis and Adsorption Processes." *Journal of Industrial Chemistry*, 45(3), 234-246
2. Lok, C. M., Ward, J. P., & Van Dorp, D. A. (1976). The synthesis of chiral glycerides starting from D-and L-serine. *Chemistry and Physics of Lipids*, 16(2), 115-122.
3. IMPAG. (n.d.). *Solketal flyer*. Retrieved from https://www.impag.de/fileadmin/user_upload/AT/Files/Performance_Chemicals/Flyer/Flyer_Solketal_en.pdf
4. BCREC Group. (2019). Copyright © 2019 BCREC Group. All rights reserved.
5. G. Cherkaev, S. A. Timonin, G. F. Yakovleva, L. Shutikova, A. S. Mikhailova, L. D. Shapiro, SU., 1987, 1, 337-342.
6. Perlmutter, P.; Puniani, E. *Tetrahderon Lett.* 1996, 37, 3755
7. V. Polshettiwar, R. S. Varma, *J. Org. Chem.*, 2007, 72, 7420-7422
8. Lyons, D. J. M., Crocker, R. D., Enders, D., & Nguyen, T. V. (2017). *Green Chemistry*, 19(17), 3993-3996.
9. Karplus, M. *J. Am. Chem. Soc.* 1963, 85, 2870–2871.
10. Lee, S. H., Lee, J. H., & Yoon, C. M. (2002). *Tetrahedron letters*, 43(15), 2699-2703.
11. a) J.S. Yadav, B.V.S. Reddy, R. Srinivas, T. Ramalingam, *Syn lett* 5 (2000) 701–703; b) Q.X. Bao, K. Qiao, D. Tomida, C. Yokoyama, *Catal. Commun.* 10 (2009) 1625–1628.
12. a) Rodrigues, R., Gonçalves, M., Mandelli, D., Pescarmona, P. P., & Carvalho, W. A. (2014). *Catalysis Science & Technology*, 4(8), 2293-2301. b) Gonçalves, M., Rodrigues, R., Galhardo, T.S., & Carvalho, W. A. (2016). *Fuel*, 181, 46–54. ; c) Stawicka, K., Diaz-Alvarez, A. E., Calvino-Casilda, V., Trejda, M., Banares, M. A., & Ziolek, M. (2016). *The Journal of Physical Chemistry C*, 120(30), 16699-16711.
13. Oger, N., Lin, Y. F., Le Grogne, E., Rataboul, F., & Felpin, F. X. (2016). *Green Chemistry*, 18(6), 1531-1537.

14. a) N. Gupta, Sonu, G.L. Kad, J. Singh, Catal. Commun. 8 (2007) 1323–1328; b) Y. Wang, X. Gong, Z. Wang, L. Dai, J. Mol. Catal., A: Chem. 322 (2010) 7–16; c) Gui, Q., Ba, D., Li, L., Liu, W., Li, Y., & Liu, J. (2022). Science China Materials, 65(1), 10-31.
15. a) Rahaman, M., Graça, N. S., Pereira, C. S., & Rodrigues, A. E. (2015). The Canadian Journal of Chemical Engineering, 93(11), 1990-1998.; b) Dosuna, R, I.; Gaigneaux, E.M. Catal. Today 2012, 195, 14–21.
16. a) Shiran, M., Ghaziaskar, H.S., Xu, C., 2014. Fuel Process. Technol. 124, 206–211. b) Esteban, J., Ladero, M., Garcia-Ochoa, F., 2015. Chem. Eng. J. 269, 194–202.
17. a) Thomas, B.; Sugunan, S. J. Porous Mater. 2006, 13, 99-106. b) Li, L., Cani, D., Pescarmona, P.P., 2015. Inorg. Chim. Acta 431, 289–296. c) Manjunathan, P., Maradur, S.P., Halgeri, A.B., Shanbhag, G.V., 2015. J. Mol. Catal. A Chem. 396, 47–54. d) Kowalska-Kus, J., Held, A., Frankowski, M., Nowinska, K., 2017. J. Mol. Catal. A Chem. 426, 205–212. e) Venkatesha, N.J., Bhat, Y.S., Prakash, B.S.J., 2016. RSC Adv. 6, 18824–18833.
18. Pinheiro, A. L. G., do Carmo, J. V. C., Carvalho, D. C., Oliveira, A. C., Rodríguez-Castellón, E., Tehuacanero-Cuapa, S., ... & Lang, R. (2019). Fuel Processing Technology, 184, 45-56.
19. Otera, J., Dan-oh, N., & Nozaki, H. (1992). Tetrahedron, 48(8), 1449-1456.
20. a) da Silva, M.J., Julio, A.A., Dorigetto, F.C.S., 2015. R.S.C Adv. 5, 44499–44506; b) R. Esposito, Fuel Processing Technol. 2017, 167, 670-673.
21. Young, S. L. (2011). Craving earth: understanding pica—the urge to eat clay, starch, ice, and chalk. Columbia University Press.
22. H. Serafim, I.M. Fonseca, A.M. Ramos, J. Vital, J.E. Castanheiro, Chem. Eng. J. 178(2011) 291–296.
23. Ribeiro, N. M., da Cunha Pinto, A., da Silva, B. V., de Almeida Violante, F., & Dias, M. O. (2007). Catalysis Communications, 8(12), 2130-2136.
24. Chen, L., Nohair, B., Zhao, D., Kaliaguine, S., 2018. Chem. Cat. Chem 10, 1918–1925.

25. Li, X., Zheng, L., & Hou, Z. (2018). *Fuel*, 233, 565-571.
26. Li, X., Jiang, Y., Zhou, R., & Hou, Z. (2019). *Applied Clay Science*, 174, 120-126.
27. Nascimento JAC, Pinto BP, Calado VMA and Mota CJA (2019). *Front. Energy Res.* 7:58.
28. Baithy, M., Mukherjee, D., Rangaswamy, A., & Reddy, B. M. (2021). *Catalysis Letters*, 1-13.
29. Vivian, A., Soumoy, L., Fusaro, L., Fiorilli, S., Debecker, D. P., & Aprile, C. (2021). *Green Chemistry*, 23(1), 354-366.
30. Shu-Yan Cheng,Jia-Wei Kou and Kai Sund.,*New J. Chem.*, 2021, 45, 11086–11092
31. Komadel, P. (2016). *Applied Clay Science*, 131, 84.
32. Mering, J. (1978). *Bulletin du Groupe Français des Argiles*, 14, 115-119.
Ruellan, A., & Deletang, J. (1997). *Orstrom, Paris*, 56, 302-312. Srasra, E., & Trabelsi-Ayedi, M. (2000). *Applied Clay Science*, 17, 71-84.
33. Mills, G., Holmes, J., & Cornelius, E. (1950). *Journal of Physical Chemistry*, 54, 1170.
Heyding, R., Ironside, R., & Norris, A. (1960). *Canadian Journal of Chemistry*, 38, 1003.
34. Sabah, E., Turan, M., & Çelik, M. (2002). *Water Research*, 36(16), 3957-3964.
35. Espantaleón, A. G., Nieto, J. A., Fernández, M., & Marsal, A. (2003). *Applied Clay Science*, 24, 105-110.
36. Özcan, A. S., & Özcan, A. (2004). *Journal of Colloid and Interface Science*, 276(1), 39-46.
37. Bigi, F., Conforti, M. L., Maggi, R., Mazzacani, A., & Sartori, G. (2001). *Tetrahedron Letters*, 42, 6543.
38. Valenzuela Díaz, F. R., & Santos, P. de S. (2001). *Química Nova*, 24(3).
39. Oger, C., Balas, L., Durand, T., & Galano, J. M. (2010). Solketal as an efficient and recyclable solvent for the Ru(II)-catalyzed hydrogenation of unsaturated compounds. *Tetrahedron Letters*, 51(27), 3458-3461.
40. Yan, M., Lee, C., & Suh, S. (2013). Application of solketal as a solvent and protecting group in the synthesis of bis(hydroxymethyl)furan. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 6(3), 177-181.

41. Girardon, P., Manoli, J. M., Duprez, D., & Maugé, F. (2011). Use of solketal as a co-solvent for biodiesel production from low quality vegetable oil. *Bioresource Technology*, 102(7), 4887-4889.
42. Khoo, E., Ghandi, K., & Boluk, Y. (2012). Solketal-based solubilizing agents for poorly water-soluble drugs. *Molecular Pharmaceutics*, 9(4), 1067-1077.
43. Rizzo, F., Scialla, S., Petrella, A., Celi, M., & Meneghetti, M. C. (2020). Biodegradable polymers from renewable sources: Investigations on solketal methacrylates for dental material applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(20), 7651.
44. Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2008). *Biologie moléculaire de la cellule* (5th ed.). Garland Science.
45. Campbell, N. A., Reece, J. B., & Mitchell, L. G. (2001). *Biologie*. De Boeck Supérieur.
46. Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C. A., Krieger, M., Bretscher, A., Ploegh, H., & Amon, A. (2016). *Molecular Cell Biology* (8th ed.). W.H. Freeman.
47. Berg, J. M., Tymoczko, J. L., & Stryer, L. (2015). *Biochemistry* (8th ed.). W.H. Freeman.
48. Gilbert, S. F. (2013). *Developmental Biology* (10th ed.). Sinauer Associates.
49. Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2013). *Principles of Neural Science* (5th ed.). McGraw-Hill.
50. Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2017). *Lehninger Principles of Biochemistry* (7th ed.). W.H. Freeman.
51. Purves, W. K., Sadava, D., Orians, G. H., & Heller, H. C. (2004). *Life: The Science of Biology* (7th ed.). Sinauer Associates.
52. Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2012). *Biology of Plants* (8th ed.). W.H. Freeman.
53. Sadava, D., Hillis, D. M., Heller, H. C., & Berenbaum, M. R. (2014). *Life: The Science of Biology* (10th ed.). Sinauer Associates.
54. Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sinauer Associates.
55. Tortora, G. J., & Derrickson, B. H. (2011). *Principles of Anatomy and Physiology* (13th ed.). Wiley.

Référence bibliographie

56. Campbell, N. A., Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Jackson, R. B. (2011). *Biology* (9th ed.). Pearson.
57. Chapin, F. S., Matson, P. A., & Vitousek, P. M. (2011). *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology* (2nd ed.). Springer.
58. Futuyma, D. J. (2013). *Evolution* (3rd ed.). Sinauer Associates.
59. Levin, S. A. (2009). *The Princeton Guide to Ecology*. Princeton University Press.
60. Kuehn, B. M. (2019). Gene therapy arrives. *Journal of the American Medical Association*, 321(15), 1459-1460.
61. Glick, B. R., & Patten, C. L. (2017). *Molecular Biotechnology* (5th ed.). ASM Press.
62. Altieri, M. A. (2018). *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture* (3rd ed.). CRC Press.
63. Singh, A., Kaushik, M., & Biswas, R. (2018). *Advances in Bioremediation of Wastewater and Polluted Soil*. Springer.
64. Gilbert, S. F. (2016). *Developmental Biology* (11th ed.). Sinauer Associates.
65. Carroll, S. B. (2005). *Endless Forms Most Beautiful: The New Science of Evo Devo*. W. W. Norton & Company.