



Université Mohamed Khider de Biskra

Faculté des Sciences Exactes

Département des Sciences de la Matière

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine des Sciences de la Matière

Filière de Chimie

Spécialité Chimie des Matériaux

Présenté et soutenu par :

AMINA BEDRA

Le : Lundi 02 Juin 2025

Thème

Les couleurs de la chimie

Jury :

Dr Noura Abdessalam	Pr	Université Med Khider de Biskra	Présidente
Dr Sriti Fatima Zohra	MCA	Université Med Khider de Biskra	Encadreur
Dr Abir Berkouk	MCB	Université Med Khider de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENT

Je tiens tout d'abord à remercier le bon Dieu tout puissant de m'avoir aidé à réaliser ce travail.

Remerciements particuliers à mon encadreur Dr. « Sriti Fatima Zahra », Qui a dirigé ce travail et pour les nombreux encouragements et conseils qu'elle m'a prodigués, et je lui suis très reconnaissante de m'avoir accordé du temps, notamment pour la rédaction de ce manuscrit.

Je tiens également à remercier les membres du jury du cercle d'honneur, Mme « Noura Abdessalam » et Mme « Abir Berkouk » d'avoir accepté d'être parmi le jury.

Je remercie également tous les membres du Laboratoire de chimie, dirigé par Mme « Hayat benmachiche » pour leur aide durant mon travail.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Mme « Asma Fettah » et à « Chaima benbrika » Pour faire avancer la préparation et m'aider à terminer ce travail.

Je tiens à remercier mes honorables parents « ma mère et mon père » car ce travail représente un petit fruit de leur souffrance et de leur labeur sur moi, sans qui ces années ne se seraient pas passées avec succès. Merci à eux Leur soutien, leurs encouragements et surtout leur amour qui a toujours été une ressource inciter.

Je tiens également à remercier ma sœur pour son soutien, me donnant du courage et me soutenant dans ce travail.

Je tiens à remercier tous les camarades et tous ceux qui m'ont gentiment donné des informations qui m'ont aidé pour accomplir ce travail de master.

Merci à tous.

AMINA BEDRA



Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A ma chère maman qui n'a jamais cessé de ménager ses efforts pour que j'atteigne ce niveau.

Ses sacrifices et privations ne l'ont pas empêché d'accomplir son devoir de mère soucieuse de
l'avenir de ses enfants.

A mon cher papa qui a su se montrer patient, compréhensif et encourageant, sa chaleur
paternelle a été et sera toujours pour moi d'un grand réconfort.

A mes frères imade, taki et mes sœurs Rim et marwa qui étaient toujours à mes côtés et qui
n'ont jamais cessé de me soutenir et de m'encourager : Jamais de simples mots ne me
permettront de vous exprimer mes remerciements.

A ma grande famille, grande et petite.

A mes chères copines d'enfance.

A mes chers amis charmes et tassnim

A tous mes ami(e)s de la promotion durant mes années universitaires

De 2020 à maintenant.



الملخص

تسلط هذه المذكرة الضوء على تنوع مجالات الكيمياء من خلال دراسة أربعة محاور رئيسية، مُمثلة بألوان مميزة: الكيمياء السوداء (التلوث)، الكيمياء الحمراء (الحوادث الصناعية)، الكيمياء الوردية (منتجات الصحة، التجميل والصناعات الغذائية)، والكيمياء الخضراء (الحلول المستدامة). سمحت سلسلة من التجارب في المختبر بتصنيع عدّة مركّبات تُمثّل هذه المجالات، مثل البلاستيك الحيوي، الأصباغ، البيوديزل، مواد صيدلانية وتجميلية، بالإضافة إلى أكسيد الزنك المحصل عليه بطريقة خضراء. أظهرت النتائج فعالية وأهمية هذه المركبات، مما أبرز التأثير المزدوج للكيمياء: مفيد أو ضار حسب استخدامها.

الكلمات المفتاحية: الكيمياء الخضراء، الكيمياء الوردية، التلوث، الحوادث الصناعية.

Résumé

Ce mémoire met en évidence la diversité des domaines de la chimie à travers l'étude de quatre axes principaux, représentés par des couleurs distinctes : la chimie noire (pollution), la chimie rouge (accidents industriels), la chimie rose (produits de santé, cosmétiques et agroalimentaires), et la chimie verte (solutions durables). Une série d'expériences en laboratoire a permis la synthèse de plusieurs composés illustrant ces domaines, tels que le bioplastique, des pigments, du biodiesel, des substances pharmaceutiques et cosmétiques, ainsi que l'oxyde de zinc obtenu par voie verte. Les résultats ont montré l'efficacité et la pertinence de ces composés, soulignant le double impact de la chimie : bénéfique ou nocif selon son usage.

Mots clés : chimie verte, chimie rose, pollution, accidents industriels

Abstract

This dissertation highlights the diversity of chemistry fields through the study of four main axes, represented by distinct colors: black chemistry (pollution), red chemistry (industrial accidents), pink chemistry (health, cosmetics, and agri-food products), and green chemistry (sustainable solutions). A series of laboratory experiments enabled the synthesis of several compounds illustrating these fields, such as bioplastic, pigments, biodiesel, pharmaceutical and cosmetic substances, as well as zinc oxide obtained through green methods. The results demonstrated the efficiency and relevance of these compounds, emphasizing the dual impact of chemistry: beneficial or harmful depending on its use.

Keywords: green chemistry, pink chemistry, pollution, industrial accident

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

Introduction générale.....	01
Référence.....	04

Chapitre I : Etat de l'art

I. La chimie et la physique	05
II. Éthymologie : A propos de la chimie.....	05
III. Les étapes de l'histoire de la chimie.....	07
II.1 Période de la préhistoire	07
III.2 Période de l'antiquité.....	09
III.3 Période de l'Alchimie.....	10
III.4 Période de l'iatrochimie	12
III.5 Période de la renaissance et les temps modernes	13
III.6 Les avancées du XXe siècle.....	16
IV. Les premières expériences et observations chimiques	17
V. Les domaines d'application de la chimie	18
V.1 La chimie organique.....	18
V.2 La chimie minérale	19
V.3 La chimie industrielle.....	20
VI. Les découvertes importantes de la chimie : découvertes à prix nobel.....	20
Références	25

CHAPITRE II : Généralités sur les couleurs de la chimie

I. La chimie noire : la pollution.....	27
--	----

I.1 Définition du Polluant.....	27
I.2 Les différents types de polluants.....	27
I.3 Définition de la pollution.....	27
I.4 Les différents types de pollution	28
I.5 Détail des types de pollution : définition, causes, conséquences et solutions.....	28
1. La pollution atmosphérique.....	28
2. La pollution de l'eau.....	30
3. La pollution du sol.....	31
I.6 Situation environnementale dans le monde.....	32
a. 3,4 milliards de tonnes de déchets par an en 2050.....	32
b. 0,74 kg de déchets par jour pour chaque habitant de la planète.....	33
c. 44 % de déchets organiques	33
d. 39 % de déchets collectés dans les pays en développement.....	33
II. La chimie rouge : les accidents industriels.....	34
II.1 Définitions	34
II.2 Les conséquences possibles d'un accident industriel	35
II.3 Quelques accidents industriels.....	35
III. La chimie rose : le cosmétique, la santé et l'agroalimentaire.....	39
III.1 Le domaine du cosmétique.....	39
III.2 Le domaine de la santé.....	40
III.3 Le domaine de l'agroalimentaire.....	41
IV. La chimie verte.....	42
IV.1 Historique de la chimie verte.....	42
IV.2 Définition.....	43
IV.3 Les douze principes de la chimie verte.....	44
IV.4 Matières premières pour la chimie « verte »	46

IV.5 Avantages et Inconvénients de la chimie verte.....	47
IV.6 Exemples d'applications de la chimie verte dans divers domaines.....	48
Références.....	49

CHAPITRE III : CHIMIE NOIRE ET ROUGE

Introduction	53
I. Synthèse et caractérisation du Bleu de cobalt par voie sol-gel.....	54
I.1 Synthèse de $Zn_{0.3}Mg_{0.2}Co_{0.5}Al_2O_4$ par voie sol-gel.....	54
I.2. Caractérisation	56
II. Extraction d'une teinture textile à partir de pelures de grenade.....	59
III. Extraction et caractérisation de la chlorophylle	61
III.1 Extraction de la chlorophylle	61
III.2 Caractérisations de chlorophylle	63
IV. Synthèse du bioplastiques.....	69
V. Synthèse et caractérisation du biodiesel.....	71
V.1 La synthèse du biodiesel.....	71
V.2. Caractérisations du biodiesel.....	74
Références.....	76

CHAPITRE IV : CHIMIE ROSE ET VERTÉ

Introduction.....	78
I. Synthèse et caractérisation de savon.....	79
I.1 Synthèse de savon.....	79
I.2 Analyses effectuées sur le produit final.....	80
II. Synthèse et caractérisation de l'aspirine.....	82
II.1 La Synthèse De l'aspirine.....	82
II.2 Caractérisation de l'aspirine.....	84
III. Extraction et caractérisation de la caféine.....	87
III.1 Extraction de la caféine.....	87

III.2. Analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de fourrier (FTIR) de la caféine.....	92
IV Synthèse et caractérisation des nanoparticules ZnO à partir de l'extrait de l'écorce de grenade.....	93
IV.1 Synthèse des nanoparticules ZnO.....	93
IV.2 Caractérisation des nanoparticules ZnO.....	96
Références.....	99

Conclusion

Conclusion.....	101
-----------------	-----

Liste de figure

<i>N</i>	<i>CHAPITRE I : Etat de l'art</i>	<i>Page</i>
Figure I.1	Quelques exemples des découvertes de la chimie dans la période préhistorique.	09
Figure I.2	Représentation symbolique des éléments naturels dans l'Antiquité.	10
Figure I.3	Les quatre éléments fondamentaux et leurs propriétés.	10
Figure I.4	Tableau « L'alchimiste » par David Teniers le Jeune, vers 1650.	11
Figure I.5	Quelques instruments d'alchimia.	11
Figure I.6	(a) Le laboratoire de Lavoisier (présenté au musée des arts et métiers à paris), (b) Matériel de chimie utilisé par Lavoisier;(c) Représentation du grand gazomètre de Lavoisier.	14
Figure I.7	Le modèle atomique de Dalton.	15
Figure I.8	Tableau périodique de Mendeleïev.	16
Figure I.9	Les travaux de Wöhler.	16
Figure I.10	Domaines d'application de la chimie organique.	19
<i>CHAPITRE II : Généralités sur les couleurs de la chimie</i>		
Figure II.1	Les différents types de pollution.	28
Figure II.2	Exemple de la pollution atmosphérique.	29
Figure II.3	Exemple de la pollution de l'eau.	30
Figure II.4	Exemple de la pollution du sol.	31
Figure II.5	Production de déchets municipaux par région en 2016, 2030 et 2050 d'après la banque mondiale.	32
Figure II.6	Composition des déchets.	33
Figure II.7	Taux de collecte des déchets selon le niveau de revenu.	34
Figure II.8	Conséquences des accidents industriels majeurs.	35
Figure II.9	LES catastrophe des accidents industriels majeurs	38
Figure II.10	Exemples de quelques produits cosmétiques.	40
Figure II.11	La chimie dans la santé.	41
Figure II.12	Les plastiques utilisés dans l'emballage des aliments.	42

Figure II.13	Les douze principes de la chimie verte.	44
Figure II.14	Diverses ressources naturelles utilisées pour la synthèse de nanoparticules vertes.	47
<i>CHAPITRE III : CHIMIE NOIRE ET ROUGE</i>		
Figure III.1	Les Etapes de synthèse du pigment $Zn_{0.3}Mg_{0.2}Co_{0.5}Al_2O_4$.	56
Figure III.2	Diffractogramme de l'échantillon $Zn_{0.3}Mg_{0.2}Co_{0.5}Al_2O_4$.	57
Figure III.3	Comparaison du diffractogrammes de l'échantillon $Zn_{0.3}Mg_{0.2}Co_{0.5}Al_2O_4$ avec celui de la fiche ASTM N° (98-026-0586).	58
Figure III.4	Les étapes de la préparation du colorant textile et de la teinture d'un tissu.	60
Figure III.5	Les étapes de l'extraction de chlorophylle.	62
Figure III.6	Les étapes de l'analyse par CCM.	64
Figure III.7	Résultat du CCM.	65
Figure III.8	Les étapes du protocole CLC.	68
Figure III.9	Schéma descriptive représentant les différentes étapes de la production du bioplastique.	70
Figure III.10	Schéma descriptive représentant les différentes étapes de la synthèse du biodiesel.	74
Figure III.11	Schéma descriptive représentant les différentes étapes de la synthèse du biodiesel.	75
<i>CHAPITRE IV : CHIMIE ROSE ET VERTE</i>		
FigureIV.1	Schéma descriptive représentant les différentes étapes de la synthèse du biodiesel.	79
Figure IV.2	Illustration expérimentale des étapes de la synthèse du savon.	80
Figure IV.3	Détermination du pouvoir moussant du savon avec différentes type de milieu.	81
Figure IV.4	Détermination du pouvoir moussant du savon en (a)présence et (b) absence de l'E.D.T.A.	82

Figure IV.5	Structure développée de l'aspirine (acide acétylsalicylique).	82
Figure IV.6	Réaction de synthèse de l'aspirine.	83
Figure IV.7	Synthèse de l'aspirine.	84
Figure IV.8	Étapes expérimentales de la chromatographie sur couche mince pour le suivi de la synthèse de l'aspirine.	86
Figure IV.9	Spectre infrarouge (FTIR) de l'aspirine synthétisée.	87
Figure IV.10	Les différentes étapes d'extraction du liquide –solide.	90
Figure IV.11	Les différentes étapes d'Extraction liquide-liquide.	91
Figure IV.12	Spectre FTIR de la caféine synthétisée.	92
Figure IV.13	Schéma descriptive représentant les différentes étapes de préparation de l'extrait de l'écorce de grenade.	94
Figure IV.14	Schéma descriptive représentant les différentes étapes de biosynthèse.	95
Figure IV.15	Le spectre FTIR de nanoparticule de ZnO synthétisée.	96
Figure IV.16	Diffractogramme du ZnO.	97
Figure IV.17	Comparaison du diffractogramme du ZnO avec celui de la fiche ASTM.	98

Liste des tableaux

<i>N</i>	<i>Chapitre I : Etat De l'art De La Chimie</i>	<i>Page</i>
Tableau I.1 :	Les premières expériences et observations chimiques.	17
Tableau I.2 :	Quelques découvertes importantes en chimie ayant reçu le prix Nobel.	21
<i>CHAPITRE II : Généralités sur les couleurs de la chimie</i>		
Tableau II.1:	Principaux accidents technologiques majeurs depuis le XXe .siècle	37
Tableau II.2:	La réforme de la chimie.	43
<i>CHAPITRE III : CHIMIE NOIRE ET ROUGE</i>		
Tableau III. 1	Caractéristiques des précurseurs de synthèse.	54
Tableau III.2	La réaction chimique mise en jeu lors de la synthèse de l'oxydes	55
Tableau III.3	Liste des pics de diffraction pour l'échantillon $Zn_{0.3}Mg_{0.2}Co_{0.5}Al_2O_4$	58
Tableau III.4	Paramètres cristallographiques théoriques de composé $Zn_{0.3}Mg_{0.2}Co_{0.5}Al_2O_4$	59
Tableau III.5	Discussion des résultats de CCM.	65
Tableau III.6	Matériels et produits.	72
<i>CHAPITRE IV : CHIMIE ROSE ET VERTE</i>		
Tableau IV.1	Les bandes caractéristiques de l'aspirine synthétisée.	87
Tableau IV.2	La caféine dans les aliments.	88
Tableau IV.3	Les bandes caractéristiques de la caféine synthétisée.	92
Tableau IV.4	Les bandes caractéristiques du ZnO	96
Tableau IV.5	Les paramètres cristallins de ZnO.	98

LISTE D'ABREVIATIONS

ADN : Acide Désoxy ribonucléique

ASTM: American Society for Testing and Materials

BIT : Bureau International du Travail

CCM : Chromatographie sur Couche Mince

CO₂ : Dioxyde de carbone

FTIR : Fourier Transform Infrared (Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier)

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

Mdt : Médicaments

MO : Matière Organique

NaOH : Hydroxyde de sodium

NPs : Nanoparticules

P : Phosphore

PCB : Polychlorobiphényles

PE : Extrait de Pelure (de grenade)

PET : Polyéthylène Téréphtalate

PH : Potentiel Hydrogène

PVC: Polychlorure de vinyle

ZnO : Oxyde de zinc

Introduction générale



Introduction générale

On entend souvent : "Non, ne mange pas cela, c'est chimique, c'est dangereux" ou encore "C'est plein de produits chimiques". Mais qu'est-ce qu'un produit chimique et surtout que ferions-nous sans chimie dans notre vie quotidienne ?

La chimie est la science qui étudie la composition, les réactions et les propriétés de la matière en se penchant sur les atomes qui composent la matière et leurs interactions les uns avec les autres. La taille des composés étudiés en chimie varie de la réaction entre de simples atomes jusqu'à des édifices moléculaires de plusieurs dizaines de milliers d'atomes (ADN, protéines, cristaux...). L'étude du monde à l'échelle moléculaire permet de mieux comprendre le monde à l'échelle de l'homme. En termes de dimensions, le domaine d'application de la chimie se situe entre le femtomètre (10^{-15} m) et le micromètre (10^{-6} m) [1].

La chimie est par nature interdisciplinaire et relie les sciences naturelles. Elle joue un rôle indispensable dans le fonctionnement de notre monde et dans l'existence de la vie » [2].

Lorsque l'on parle de "produits chimiques" dans le langage courant, on désigne souvent des produits fabriqués de façon industrielle par l'industrie chimique. Souvent le terme "produit chimique" est associé à tort aux notions de toxicité ou de dangerosité ! Pourtant, dans notre vie quotidienne, si aucun produit chimique n'existait, nous ne vivrions pas ! En effet, la chimie fait partie de la vie de tous les jours. Les plantes fabriquent grâce à la lumière les substances nutritives dont elles ont besoin en captant les gaz dissous dans l'air (de l'azote en majorité) et puisant dans le sol de l'eau et des sels minéraux. Elles font de la chimie ! Lorsque l'on chauffe un aliment, quand on cuit un œuf, des pâtes, ... Nous faisons également de la chimie ! On modifie à l'aide de chaleur (une source d'énergie) la structure et le goût des aliments [3].

Tous les produits de beauté, parfums, crèmes ont une origine chimique ! Ils sont créés ou synthétisés à partir de briques de constructions (des atomes et des molécules) que l'on fait réagir entre eux. Soit en imitant et reproduisant ce qui se passe dans la nature, soit en créant de nouveaux composés [3]. Les égyptiens utilisaient déjà beaucoup la chimie ! Par exemple, connais-tu l'eau égyptienne ? Non ? Il s'agit d' AgNO_3 , un composé chimique contenant de l'argent, lorsqu'il est dissous dans de l'eau, il est incolore, mais étalé sur les cheveux des égyptiens, il devenait d'un noir très profond au contact de l'air [4] ! Et nous n'avons pas encore parlé de la pharmacie !

La chimie ou un produit chimique, c'est donc utile et pas forcément nocif. Tout dépend l'usage qui en est fait !

Depuis son émergence, la chimie s'est développée pour devenir une discipline essentielle dans de nombreux domaines, tels que la médecine, l'industrie, l'agriculture et l'environnement. Elle permet la conception de nouveaux matériaux, l'amélioration des procédés de fabrication et l'apport de solutions aux défis scientifiques et technologiques contemporains. Cependant, malgré les avancées significatives qu'elle a permises, la chimie a également été à l'origine de problèmes environnementaux et sanitaires liés à la pollution, aux risques industriels et aux effets des substances chimiques sur la santé humaine et les écosystèmes.

Pour répondre à ces enjeux, plusieurs branches de la chimie ont vu le jour, notamment:

La chimie noire : la pollution par les produits chimiques, elle se concentre sur l'étude des sources de pollution chimique et de leurs impacts. En analysant les polluants présents dans l'air, l'eau et les sols, cette branche vise à comprendre leurs effets sur l'environnement et la santé humaine, tout en développant des solutions d'atténuation et des technologies pour limiter leurs émissions.

La chimie rouge : Elle s'intéresse aux accidents industriels liés aux substances chimiques dangereuses. L'analyse des catastrophes majeures, telles que celles de Bhopal et de Seveso, a conduit à l'élaboration de normes de sécurité strictes visant à prévenir les fuites toxiques, les explosions et les incendies dans les installations chimiques.

La chimie rose qui englobe les domaines de la santé, du cosmétique et de l'agroalimentaire.

La chimie verte : Issue d'une prise de conscience environnementale, elle se focalise sur le développement de procédés chimiques plus durables. Ses principes incluent la réduction des déchets, l'utilisation de solvants non toxiques et l'optimisation de la consommation énergétique, dans le but de minimiser l'empreinte écologique de l'industrie chimique.

Ainsi, l'évolution de la chimie et la sensibilisation croissante aux enjeux environnementaux et sanitaires ont entraîné un changement profond dans ses pratiques et ses applications.

Ce travail vise à explorer ces différentes branches, à mettre en lumière leurs principes, leurs applications et leur importance dans le progrès scientifique et technologique.

Ce mémoire comporte 04 chapitres :

- Le premier chapitre présente l'état de l'art de la chimie
- Le deuxième chapitre présente des généralités sur les couleurs de la chimie .
- Le troisième et le quatrième chapitres sont consacrés, respectivement, à la synthèse et à la caractérisation de quelques produits chimiques dans les domaines de la chimie noire et rouge puis la chimie rose et verte .
- Une conclusion générale résume les principaux résultats obtenus.

Référence bibliographique

- [1] Lehn, J.-M. (1997). Concepts et perspectives. P1.
- [2] Arnaud, P. (1990). Cours de chimie physique (4e tirage). Paris : Dunod.
- [3] <https://www.lachimie.net/index.php>.
- [4] Ataman Chemicals. (S.d.). Silver nitrate. Consulté à l'adresse :
<https://www.atamanchemicals.com/silver-nit>



CHAPITRE

01:

*Etat de
l'Art*

I. La chimie et la physique

Si la chimie est en somme une partie de la physique, les histoires de l'une et de l'autre sont intimement liées. Quand l'homme préhistorique casse en deux morceaux une branche d'arbre, il obtient deux morceaux du même bois, et quand il invente la taille de la pierre, il constate qu'un caillou peut être divisé en deux cailloux « de même nature ». Ces transformations qui n'altèrent la matière que dans ses formes et ses dimensions sont appelées aujourd'hui des transformations « physiques ». Quand, bien plus tard, l'homme invente l'art de faire du feu, il invente aussi la cuisine, c'est-à-dire la cuisson des aliments[1], et il découvre que les fruits, les légumes, les viandes sont fortement altérées par la flamme, non seulement dans leur aspect visuel, mais également dans leurs propriétés olfactives. Ces transformations (chauffage, grillage...) qui modifient la matière dans sa nature profonde sont appelées aujourd'hui des transformations « chimiques ».

La physique est l'étude du monde dans tous ses aspects, que les Romains vont appeler *physica* ou *philosophia naturalis* « philosophie naturelle ». La *chymia* ou *chymica* (en latin), deviendra la « chimie » en français, désigne l'étude de la constitution du monde et de la matière dont il est fait. Cette étude de la matière implique des manipulations, en laboratoire, de substances diverses et notamment de liquides, ce qui justifie l'étymologie proposée [2].

À la fin du **XVIII^e siècle**, l'expression « philosophie naturelle » disparaît, remplacée par le mot « physique ». À la même époque, la *chymie* perd son *y* et devient la « chimie ». Celle-ci est maintenant une subdivision de celle-là. La physique est l'étude du monde, de la nature, et de leurs lois (étoiles et planètes, mécanique qui est l'étude des mouvements, optique qui est l'étude de la lumière, etc.), alors que la chimie est l'étude de la composition de la matière, formée de substances extrêmement diverses. Il est clair que la chimie préexiste dans différentes techniques : la cuisine, qui reconnaît par exemple l'acidité du vinaigre et du jus de citron, la pharmacie, qui classe les médicaments extraits des plantes, la teinturerie, qui connaît de nombreuses substances colorantes (minérales, végétales ou animales), la parfumerie, qui produit des parfums, etc [2].

II. Éthymologie : A propos de la chimie

➤ L'alchimie d'abord

L'élément *al-* d'alchimie provient de l'article arabe *al* « le », tout comme celui d'alcool ou d'alcalin. En effet, le mot *al-chimie* est un emprunt au latin médiéval *alchimia*,

attesté au XII^e siècle, provenant de l'arabe *al-kīmiyā*, désignant l'alchimie elle-même, ou bien son but ultime, la *Pierre philosophale* [3]. Quant à l'origine de l'arabe *kīmiyā*, elle est incertaine : soit des mots égyptiens, *kemi* « magie », *kem* « (terre) noire », références à la « magie noire », l'alchimie de l'Égypte ancienne, soit le grec tardif *khēm(e)ia* « art de la transmutation des métaux, magie », venant peut-être de l'égyptien, soit encore le grec *khumeia* « mélange de sucs », qui a pu se confondre avec *khêmeia*. On retrouve dans ces hypothèses arabo-grecques les grands traits alchimiques : l'ésotérisme, la science des métaux et l'art des mélanges. On voit cependant que dans *alchimie*, seul l'élément *al-* a une origine certaine.

➤ La chimie

Le mot *chimie*, d'origine controversée également, est attesté sous la forme *chymie* en 1554 dans le sens de « science qui étudie la constitution des divers corps », et remonte au latin médiéval *chimia* « art de transformer les métaux », attesté au XIII^e siècle, peut-être un emprunt au grec tardif *khēm(e)ia*, une origine possible d'alchimie. On voit que le mot *chymie*, *chimie* s'emploie déjà dans la période alchimique, mais il prend toute sa dimension moderne, sous l'orthographe *chimie*, à partir du XIX^e siècle [3].

➤ Épilogue

Peut-on poser en définitive : *alchimie* = *al* + *chimie* ? C'est possible via le grec *khēmia*, mais pas certain. Au minimum, ces mots ont dû s'influencer réciproquement, dès le latin, pour la forme.

➤ Quelle différence y a-t-il entre un chimiste et un alchimiste ?

Avant le XVIII^e siècle aucune, car ces deux termes désignent en fait la même activité jusqu'aux années 1730. La chimie se développe ensuite parallèlement à l'alchimie : elle abandonne la recherche de la « pierre philosophale » et se tourne vers la matière et ses composants, en utilisant une démarche scientifique basée sur l'expérimentation et la logique [4].

➤ La chimie, qu'est-ce que c'est ?

Tout dictionnaire contient une réponse simple à la question posée : Qu'est-ce que la chimie ? La définition est la suivante : c'est la science de la structure et des propriétés de diverses substances et de la transformation d'une substance en une autre [5]. La chimie

appartient au groupe des sciences dites naturelles, qui comprend également la biologie, la physique et l'astronomie. La chimie est divisée en deux grands domaines : la chimie organique et la chimie inorganique . La première de ces sciences comprend la recherche sur les composés contenant du carbone. La chimie inorganique, en revanche, s'applique à tous les autres composés dans lesquels il n'y a pas de liaisons carbonées [6].

III. Les étapes de l'histoire de la chimie

Les histoires classiques de la chimie se partagent en deux périodes bien tranchées : un âge préscientifique, celui des alchimistes aux pratiques occultes et des artisans obscurs, puis un âge scientifique « sérieux », qui voit la multiplication des lois et des découvertes, à la source d'immenses progrès techniques.

III.1 Période de la préhistoire

De l'antiquité jusqu'au **IV^{ème} siècle** après J.C. l'homme a de tout temps eu quelques notions sur la matière s'apparentant à la chimie. Ses connaissances sur les métaux (cuivre, or, argent, fer) ont tellement d'importance que la division de la préhistoire en âges est fondée sur les techniques qu'il a acquises pour utiliser ou fabriquer des métaux. Les premières teintures, les premiers médicaments, les premières poteries, les premiers parfums remontent à cette époque. Ces substances tirées de la nature, constituaient des découvertes importantes. Mais ces découvertes n'étaient reliées entre elles par aucune démarche scientifique.

→ Les principaux écrits fournissant des renseignements sur les connaissances de l'époque [7]

- Le Papyrus d'Ebers (1600 avant J.C.) et le Papyrus de Brugsch (fin du XIV^{ème} siècle avant J.C.) qui nous livrent les connaissances des égyptiens en pharmacie et en médecine.
- L'Ancien testament : connaissances des juifs en sciences physiques.
- L'Illiade et l'Odyssée d'Homère (X^{ème} siècle avant J.C.) : connaissances des grecs et des romains.
- "Historia naturalis" en 37 volumes de Gaius Plinius Secundus dit Pline l'Ancien (23-79 après J.C.).
- "Materia medica" de Dioscuride ou Dioscoride (40-90 après J.C.).
- Les écrits de Galien de Pergame (fin du II^{ème} siècle après J.C.).

→ Les principales découvertes [7] : (Fig. I.1)

- L'extraction des métaux à partir des minerais naturels et leur affinage constitue la première étape d'une civilisation supérieure (or, argent, cuivre, étain, plomb, mercure, fer). De même pour les alliages :
 - ✓ **Cuivre-étain** : déjà connu en Egypte 3000 ans avant J.C. qui entraîna en Occident l'avènement de l'âge du bronze succédant à l'âge de la pierre.
 - ✓ **Cuivre-zinc** : le laiton ; le zinc en tant que métal libre n'est connu que fort tard (XVI^{ème} siècle après J.C.).
- A côté des métaux, le soufre et le carbone ont été les seuls éléments connus en tant que tels durant l'Antiquité et le Moyen-Âge.
- La poterie a été la plus ancienne industrie exercée : les chinois fabriquent la porcelaine 3000 ans avant J.C.
- La préparation du verre est connue très tôt par les chinois et les égyptiens (XV^{ème} siècle avant J.C.).
- La teinturerie est aussi une industrie très ancienne : garance, indigo, tournesol, pastel constituent les colorants organiques, mais on emploie aussi des colorants minéraux : céruse (sel de plomb), minium (oxyde de plomb), lazulite (silicate d'aluminium et de sodium), smalt (silicate de cobalt), vert de gris (carbonate de cuivre), ocre de fer, cinabre (sulfure de mercure), orpiment et réalgar (sulfures d'arsenic).
- Les onguents et huiles parfumées étaient extraits des graisses végétales et animales ; on connaissait l'amidon mais pas le savon (introduit par les gaulois et les germains chez les romains).
- Les médicaments de l'époque étaient essentiellement des substances végétales et animales, mais les égyptiens utilisaient déjà des préparations chimiques : carbonate de sodium, salpêtre, alun, Plus tard, les préparations galéniques (du nom du médecin gréco-romain Galien) prirent une importance particulière.

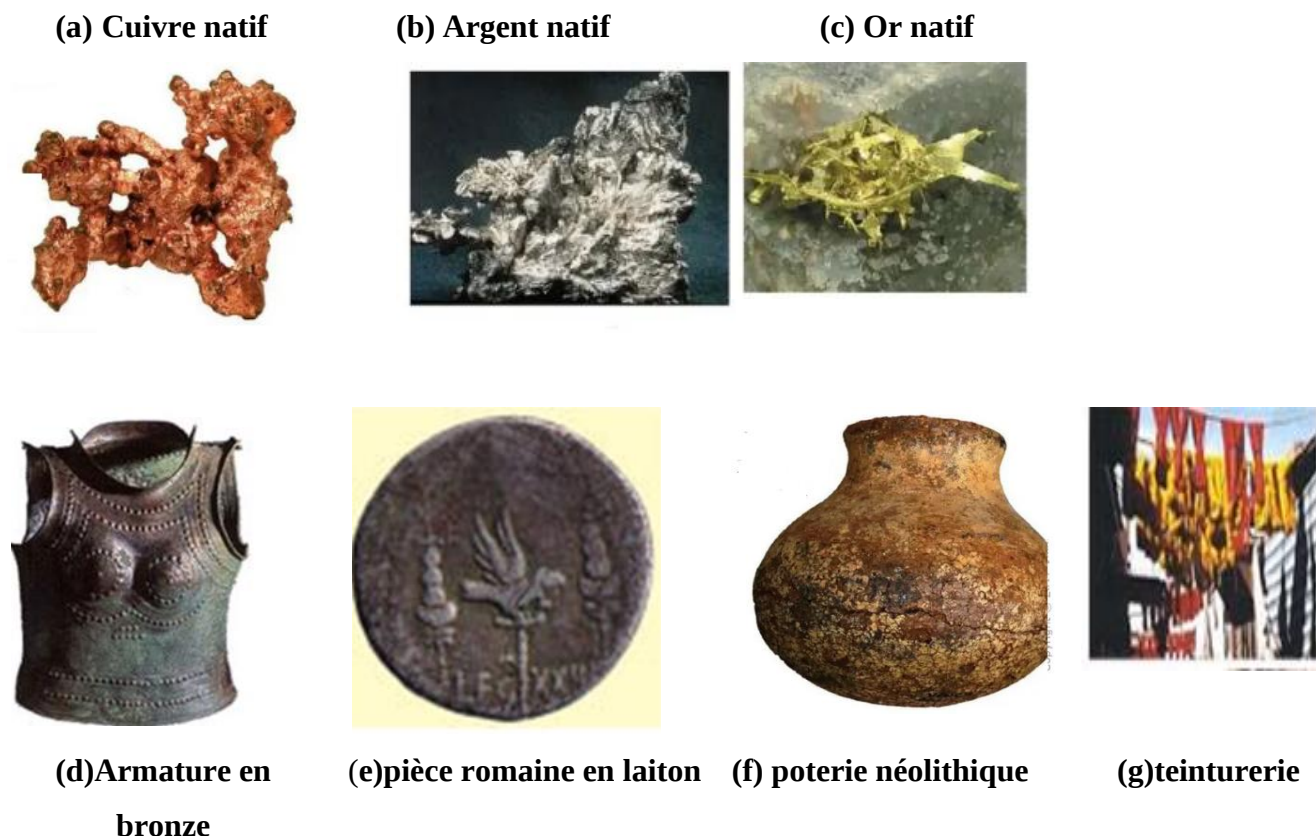


Figure I.1: Quelques exemple des découvertes de la chimie dans la période préhistorique [8]
[9].

(c) Période de l'antiquité

Les grandes civilisations de l'antiquité firent des progrès considérables dans la connaissance de la matière ; elles découvrirent que certaines substances pouvaient se transformer en d'autres substances aux propriétés différentes. Les Egyptiens développèrent l'art de la teinture et de l'émail, les Phéniciens fabriquèrent du verre à partir du sable siliceux. Ce sont les philosophes grecs qui les premiers cherchèrent à comprendre la nature de la matière :

-Selon Démocrite (460-370 av. J-C), toute matière est constituée de particules très petites, indivisibles et constamment en mouvements. Ces particules ne diffèrent l'une de l'autre que par leur forme et sont appelées « atomes », ce qui en grec, signifie « indivisible » [10].

-Selon Empédocle (490-430 av. J-C), toute matière est formée par combinaison de quatre éléments fondamentaux : l'eau, l'air, le feu et la terre (Fig. I.2) qui possèdent des qualités fondamentales : humide, sec, chaud et froid [10] (Fig. I.3).

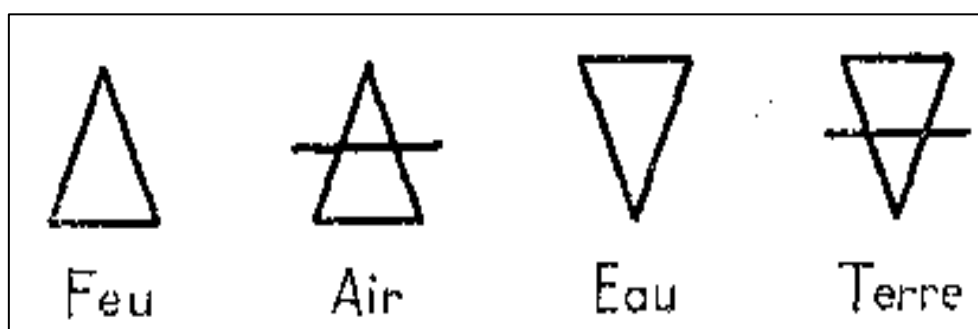


Figure I.2: Représentation symbolique des éléments naturels dans l'Antiquité.

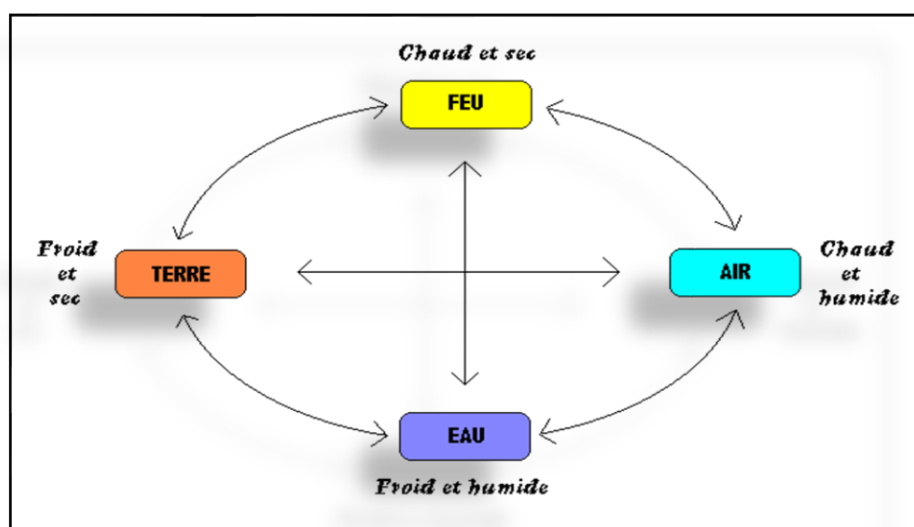


Figure I.3: Les quatre éléments fondamentaux et leurs propriétés.

L'hypothèse d'Empédocle était reprise par Aristote (384-322 av. J-C) et soutenue par l'église pendant plus de 20 siècle et constitua la base philosophique des recherches sur la matière [11].

III.3 Période de l'Alchimie

Elle s'étend du IV^{ème} siècle environ jusqu'au début du XVI^{ème} siècle, donc en gros pendant tout le Moyen-âge et le Moyen-âge tardif. Elle a son origine en Egypte dans la zone d'influence hellénistique puis elle se propage à l'Espagne et à l'Italie par les conquérants arabes avec une large extension à l'occident chrétien au début du XIII^{ème} siècle [12].

→ **Son objet :** C'est une science occulte qui en se fondant sur un symbolisme minéral et planétaire issu d'une tradition ésotérique, cherche à établir des correspondances entre le monde matériel et le monde spirituel.

→ Buts poursuivis :

- Fabrication de l'or" (*chrysopoia*) : il s'agit essentiellement d'obtenir de l'or ou de l'argent à partir de métaux "vils" ; on recherche à cet effet la pierre philosophale, le grand Elixir, le Magistère.
- On recherche aussi la panacée, censée être un remède universel et conférer la vie éternelle.

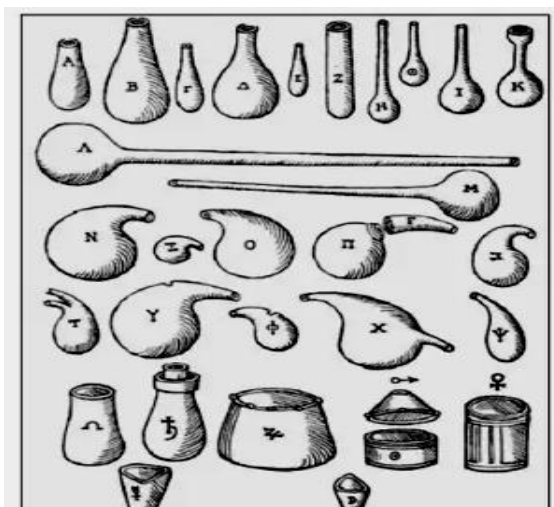
Si les alchimistes (Fig. I.4) chercheurs n'atteignirent jamais leurs buts, ils firent faire d'énormes progrès à l'étude de la matière et aux techniques de laboratoire : des éléments tels le zinc, l'arsenic, l'antimoine, le phosphore, le bismuth et des composés chimiques tels que l'alun, l'éther, le borax, etc., jusqu'ors inconnus, sont les fruits de leurs recherches [7].



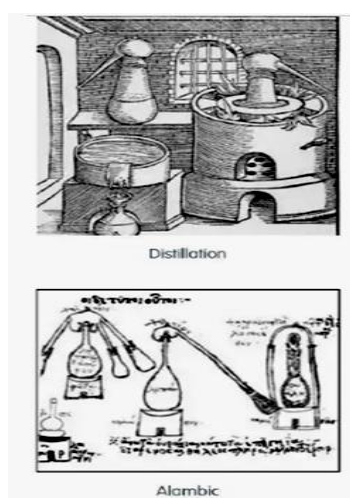
Figure I.4 : Tableau « L'alchimiste » par David Teniers le Jeune, vers 1650 [4].

La figure I.5 rassemble quelques instruments de l'alchimia.

(a) Instrument de Alchimia 1606



(b) Distillation et alambic



Appareil à distiller rudimentaire (mot arabe : al'inbiq)

Figure I.5 : instruments de la période alchimia [9].

→ Les grands noms de l'époque [7]

Zosime de Panopolis, premier véritable écrivain de l'Alchimie ; il appelle pour la première fois "*Chemeia*" (ou chimie) l'art divin de l'ennoblissement des métaux créé par les prêtres égyptiens.

Djabir Ibn Hajjan (nom latin **Geber**) 721-815 qui passe pour être le fondateur de l'Alchimie arabe.

Ibn Sina (nom latin **Avicenne**) 980-1037 : originaire du Turkestan, il se montre un adversaire résolu de l'Alchimie et rédige le grand "*canon de la médecine*" oeuvre qui a dominé tout le Moyen-Age. **IbnRoschd** appelé **Averrhoès** (ou Averroès) 1126-1198 : originaire de Cordoue en Espagne. Par ses "*commentaires sur Aristote*" il a longtemps joui d'un grand prestige.

Albert le grand 1193-1280 en Allemagne ; fut un personnage influent au XIII^{ème} siècle avec son élève **Thomas d'Aquin** (1225-1274).

Roger Bacon 1210-1292 en Angleterre.

Vincent de Beauvais 1190-1254 en France.

Arnaud de Villeneuve 1238-1311 en Espagne.

III.4 Période de l'iatrochimie [7]

Beaucoup plus courte que la précédente elle s'étend du milieu du XVI^{ème} siècle jusqu'au milieu du XVII^{ème} siècle. Dans cette période ont lieu l'invention de l'imprimerie (vers 1450), la découverte de l'Amérique (1492) la Renaissance et la Réforme, qui facilitent la diffusion des oeuvre et élargissent les horizons extérieurs et intérieurs de l'homme. La chimie se fait plus "technique".

→ **Son objet** : mettre la chimie au service de la médecine.

→ **Ses buts** : Interpréter les phénomènes vitaux par la chimie ; utiliser des "arcanes" (médicaments) qui sont des substances chimiques très diverses et en particulier des sels métalliques pour lutter contre les maladies.

L'iatrochimie disparaît avant d'avoir atteint ses buts ; les connaissances de l'époque sont trop sommaires et fragmentaires pour pouvoir interpréter des phénomènes aussi complexes que le fonctionnement des organismes vivants.

→ Les grands noms de l'époque [9]

***Paracelse** 1494-1541 de son vrai nom « Philippus Auréolus Théophrastus Bombast

von Hohenheim » est un homme remarquable, véritable fondateur de l'iatrochimie et de la chimie pharmaceutique qui se développe ensuite ; il montre qu'un composé peut être un poison ou un médicament en fonction des doses administrées et il enrichit l'arsenal pharmaceutique de composés arsénicaux ainsi que des sels de cuivre, de plomb, d'argent, d'antimoine. Il donne le nom d'alcool à ce qui était appelé "esprit de vin" et l'utilise comme médicament. Il reconnaît l'empoisonnement par le plomb et fonde la toxicologie scientifique. Il reste néanmoins prisonnier des conceptions médiévales et les quatre éléments empédocléens jouent encore un rôle pour lui.

***Van Helmont** Jean-Baptiste 1577-1644 né à Bruxelles, le véritable créateur de la chimie des gaz.

* **Agricola** Georges 1494-1555 de son vrai nom **Bauer** a beaucoup travaillé sur les minerais (traitements, préparation des métaux lourds, obtention et purification du soufre...).

* **Glauber** Jean-Rodolphe 1604-1670 né à Karlstadt, véritable fondateur de l'industrie chimique (minérale et organique).

III.5 Période de la renaissance et les temps modernes

Dès le milieu du **XVII^{ème}** siècle, sous l'impulsion de l'allemand **Jungius** et de l'anglais **Boyle**, la chimie devient l'étude des propriétés des substances et de leur transformations réciproques, mais l'étude reste qualitative.

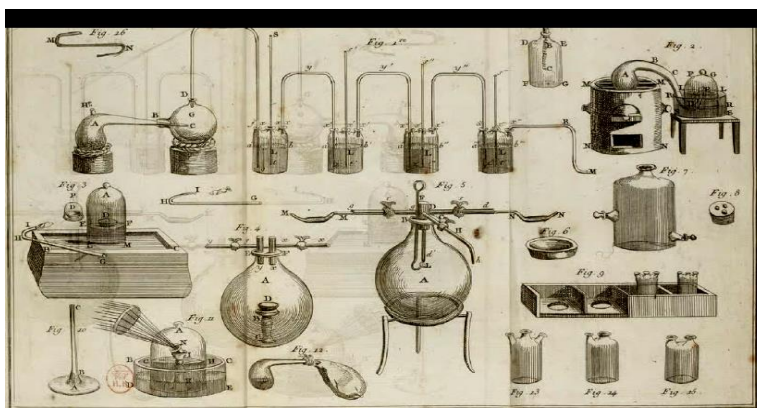
Robert Boyle (1627-1691), issu de la noblesse anglaise, définit la notion d'élément : « corps primitifs et simples, libres de tout mélange, qui ne sont faits ni d'autres corps ni les uns des autres... ». Ses travaux conduisirent à l'abandon de la théorie d'Aristote et à l'avènement d'une méthode scientifique basée sur l'exploitation méthodique des résultats d'expériences. **Becher** et **Stahl** fondent la théorie du phlogiston (ou phlogistique) - du grec *phlogistos* "inflammable" - : c'est un fluide supposé contenu dans les corps combustibles et qui s'échappe avec la flamme. Cette théorie s'effondre lorsque le physicien **Antoine Laurent Lavoisier** développe sa théorie de l'oxydation (1777-1789) après que **Scheele** (1771) et **Priestley** (1774) aient découvert l'oxygène[9].

En fait, **Antoine Lavoisier** (1743-1794) est considéré comme le père de la chimie moderne. Il a introduit la méthode expérimentale et formulé la loi de conservation de la masse, qui stipule que "rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme". Il a également redéfini les éléments chimiques et classé les substances en fonction de leur composition chimique, posant

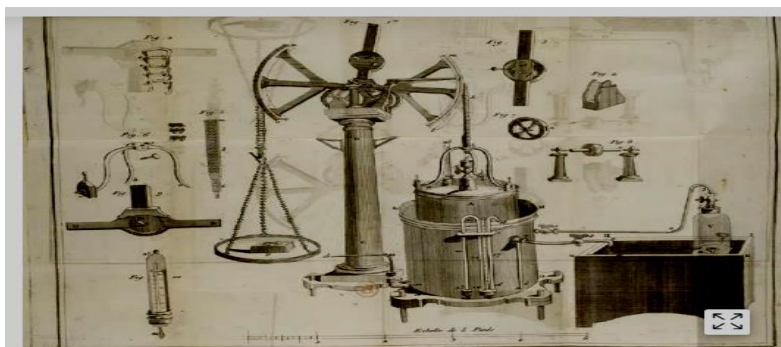
ainsi les bases de la chimie moderne [13]. La figure I.6 représente le laboratoire de Lavoisier ainsi que quelques matériels utilisés par celui-ci.



(A)



(B)

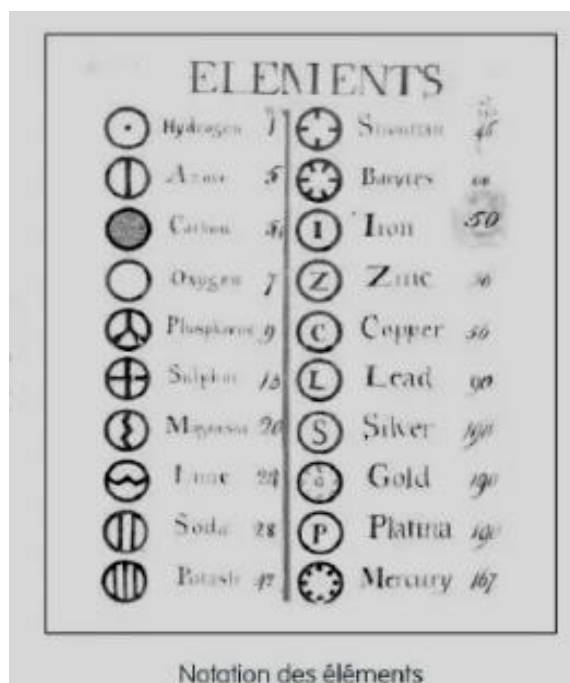


(C)

Figure I.6: (a) Le laboratoire de Lavoisier (présenté au musée des arts et métiers à paris) [9], (b) Matériel de chimie utilisé par Lavoisier [14] ;(c) Représentation du grand gazomètre de Lavoisier [15].

John Dalton (1766-1844) proposa en 1808 une théorie atomique [5] (Fig. I.7) : chaque élément était caractérisé par des atomes ayant une masse et des dimensions variant d'un élément à l'autre. Il lui manquait toute fois une notion fondamentale qui gêna d'ailleurs considérablement les progrès des théories chimiques de l'époque : la distinction entre atomes et molécules.

Dès 1811 **Amadeo Avogadro** (1776-1856) avait pressenti l'existence des molécules. Cette hypothèse ne fut pourtant vérifiée qu'en 1858 par **Stanislao Cannizzaro** (1826-1910).



ELEMENTS

Hydrogen 1	Strontian 46
Azote 5	Barytes 68
Carbon 5	Iron 50
Oxygen 7	Zinc 36
Phosphorus 9	Copper 56
Sulphur 13	Lead 90
Magnesia 20	Silver 190
Lime 24	Gold 190
Soda 28	Platina 190
Potash 47	Mercury 167

Notation des éléments

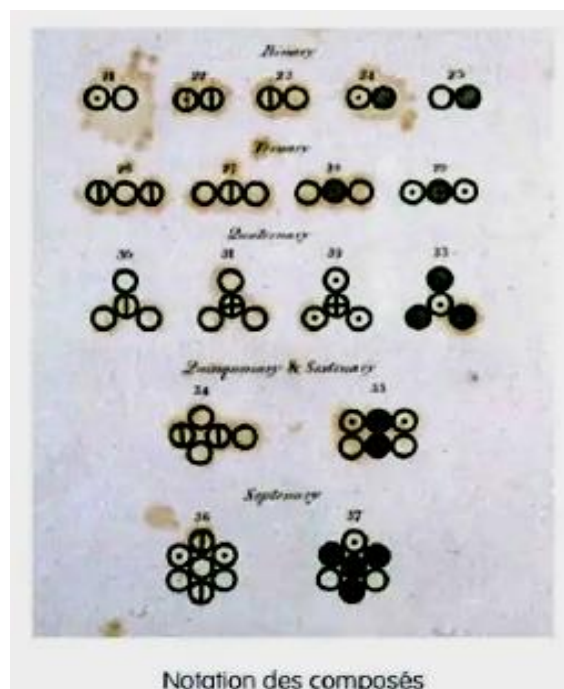


Figure I.7 : Le modèle atomique de Dalton [9].

Dmitri Mendeleïev (1834-1907) a révolutionné la chimie en 1869 avec son tableau périodique des éléments en identifiant 65 éléments (Fig.I.8). Il a organisé les éléments en fonction de leur masse atomique et de leurs propriétés chimiques, prédisant même l'existence de certains éléments encore inconnus à l'époque. Il eut le génie et le courage de laisser des cases vides dans son tableau lorsqu'aucun élément connu n'y trouvait place. Il pu ainsi prédire l'existence de certains éléments non encore découverts et d'en indiquer les propriétés avec une très bonne approximation. Son travail a permis de mieux comprendre les relations entre les éléments chimiques et d'établir une classification toujours utilisée aujourd'hui[16] .

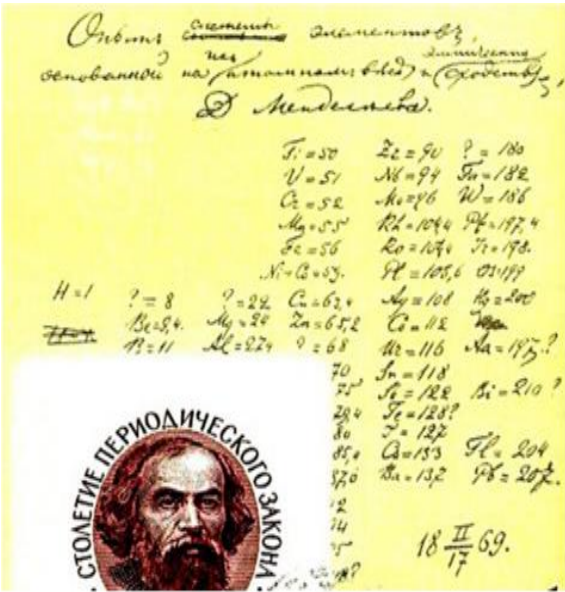
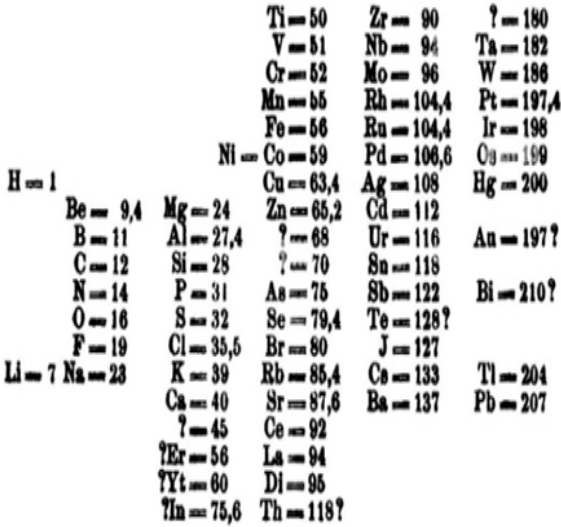



Tableau périodique de Mendeleïev [15].

Figure I.8: Tableau périodique de Mendeleïev [15].

Notons aussi que , c'est à **Lavoisier** que l'on doit également l'approche quantitative de la chimie, à **Richter** la notion de stoechiométrie, à **Dalton** la théorie atomique, à **Wöhler** la synthèse de l'urée (Fig. I.9) qui ouvre la voie à la chimie organique de synthèse, à **Bunsen** le développement de la chimie physique en Allemagne....etc.



Figure I.9 : Les travaux de Wöhler [9].

III.6 Les avancées du XXe siècle

Au début de ce siècle, les chimistes croyaient être parvenus à une vision désormais satisfaisante de la nature et du comportement des éléments. Cependant, la découverte de la radioactivité (1896) par Henri Becquerel (1852-1908), les travaux de Pierre Curie (1859-1906) et Marie Curie (1867-1934) balayèrent les illusions des scientifiques. Cette découverte marqua

le début d'une révision révolutionnaire des théories sur la structure de l'atome, sur leurs liaisons et leurs modes de réactions.

Le XXe siècle a marqué une nouvelle ère avec l'essor de la chimie quantique, qui a expliqué la structure électronique des atomes et leur réactivité. Les réactions nucléaires découvertes par Marie Curie et d'autres scientifiques ont ouvert la voie à l'énergie nucléaire et aux isotopes en médecine. Enfin, la chimie des polymères a conduit à l'invention de nouveaux matériaux synthétiques, largement utilisés aujourd'hui [17].

Les laboratoires de recherche se diversifient et s'influencent mutuellement par leurs progrès. Les recherches progressent de plus en plus rapidement avec des résultats parfois spectaculaires..... Jusqu'à nos jours.

IV. Les premières expériences et observations chimiques

On ne peut pas compter tous les expériences et travaux réalisés en chimie de la préhistoire jusqu'à nos jours, mais nous avons essayé de présenter dans le tableau ci-dessous quelques premières expériences et observations chimiques [14] et nous avons regroupé le reste (presque la majorité) des autres travaux et découvertes dans l'annexe 1.

Tableau I.1 : Les premières expériences et observations chimiques.

<i>L'année</i>	<i>Expériences, Découvertes</i>
-20000	Premiers colorants dans les peintures rupestres (Lascaux, Altamira)
-5000	Fabrication de l'antimoine et du cuivre (Mésopotamie)
-4000	Début de l'âge du bronze, utilisation de fards et parfums en Egypte, embaumages des momies à l'aide de bitume
-1200	Début de l'âge du fer fabrications d'émaux en Egypte
700	Méthodes de distillation développées par les Arabes
800	L'Arabe Djabir Ibn Hajjan découvre des sels d'arsenic, soufre et de mercure
1200	Les Arabes d'Espagne découvrent l'acide sulfurique
1200	Albert le Grand découvre l'acide nitrique et ses propriétés
1250	Roger Bacon découvre la poudre à canon
1650	Van Helmont découvre les gaz
1660	Robert Boyle distingue les corps composés et les mélanges

1755	Charles Guillaume Scheele découvre le dioxyde de carbone et le chlore
1766	Henri Cavendish isole l'hydrogène
1774	Joseph Priestley isole l'oxygène
1781	Henri Cavendish réalise la synthèse de l'eau par l'hydrogène et l'oxygène
1783	Antoine Laurent Lavoisier réalise la décomposition de l'eau en hydrogène et oxygène

V. Les domaines d'application de la chimie

V.1 La chimie organique

Les domaines d'application de la chimie organique sont larges et variés (Fig. I.10) :

- Agriculture.
- Cosmétique.
- Produits agroalimentaires.
- Peintures[18] .
- Extraction, purification et détermination des composés naturels.
- Développement des méthodes de synthèse. Découverte de nouvelles réactions et construction de nouvelles molécules.
- Production de combustibles. Source d'énergie calorifique (mazout, fuel) ou d'énergie mécanique (carburants : essence, diesel, kérozène...).
- Production de matières plastiques, de polymères (PVC, PET, polyéthylène,).
- Production de textiles (nylon, perlon, tergal,).
- Synthèse de médicaments et drogues.
- Production de solvants, colorants, vernis.
- Production de détergents, savons.
- Explosifs.
- Produits toxiques : insecticides, pesticides, fongicides [19] .

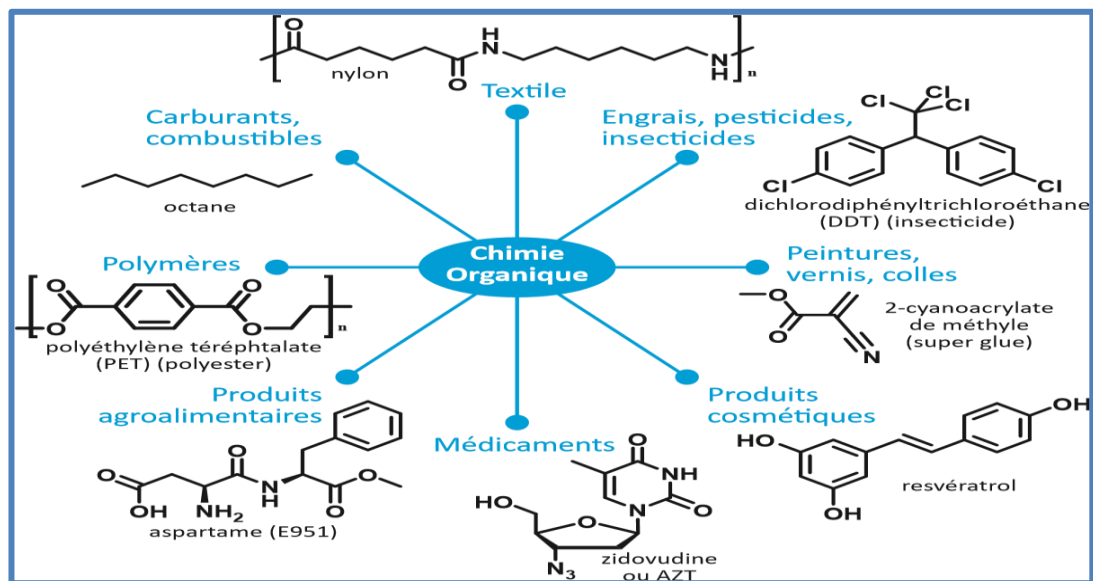


Figure I.10: Domaines d'application de la chimie organique.

V.2 La chimie minérale (inorganique)

La chimie minérale couvre plusieurs domaines tels la chimie des solides, chimie nucléaire, chimie bioinorganique, chimie de coordination, chimie organométallique ou encore la nanochimie.

La chimie minérale pharmaceutique s'applique à la fois aux domaines biologique et pharmaceutique :

A. Biologie : les organismes vivants ne sont pas constitués uniquement de matière organique. Outre leur rôle constitutionnel (os, émail dentaire) les ions (métalliques ou non-métalliques) interviennent dans la majorité des processus vitaux grâce à leurs propriétés (charge, rayon, potentiel oxydo-réducteur, etc.). L'étude de leur répartition, métabolisme, fonction mais également leur toxicité relève de la chimie bioinorganique.

B. Pharmacie : outre la nécessité d'étudier la synthèse, la composition et les propriétés de certains composés inorganiques utilisés couramment dans les laboratoires d'analyses (réactifs) ou de synthèse de médicaments (catalyseurs, groupes fonctionnels, etc.), la chimie minérale pharmaceutique s'intéresse particulièrement aux :

- **Agents thérapeutiques inorganiques :** à travers la synthèse et l'étude des propriétés thérapeutiques de certains éléments chimiques ou leurs composés.

- **Médicaments radiopharmaceutiques** : il s'agit des éléments dont la radioactivité est exploitée à des fins thérapeutiques ou diagnostiques.
- **Agents de contraste** : substances utilisées en imagerie médicale pour l'exploration des organes ou la mise en évidence d'une pathologie.
- **Excipients et matériaux de conditionnement** : un médicament est un mélange constitué d'un principe actif et d'excipients, qu'on met en forme (comprimé, gélule, sirop, solution injectable, etc.) puis qu'on conditionne (blister, flacon, ampoule, etc.). Un nombre important d'excipient (acides, bases, oxydes métalliques, sels, etc.) et d'articles de conditionnement (verres, aluminium, polymère, etc.) sont des composés inorganiques dont les propriétés physico-chimiques sont mises à profit lors de la fabrication des médicaments.
- **Les dispositifs médicaux** : l'étude des dispositifs médicaux (ex. lentille de contact, prothèse dentaire, prothèse de hanche, instruments chirurgicaux, etc.) passe par la connaissance de leurs propriétés physico-chimiques, mécaniques et leur biocompatibilité[20] .

V.3 La chimie industrielle

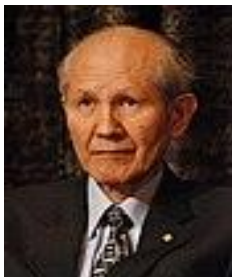
L'objectif de la chimie industrielle repose sur la transformation de matières premières en produits utiles pour l'humanité. Cette science se divise en plusieurs domaines tels que :

- Les polymères.
- Les travaux publics.
- Les réactifs chimiques[21] .
- Production de biocarburants (ex. biodiesel).
- Analyse des hydrocarbures du gaz naturel.
- Fabrication de cosmétiques (ex. écrans solaires).
- Industrie pétrochimique.
- Production de pesticides, herbicides, insecticides et fongicides.
- Détermination des substances liées à la nicotine.
- Analyse des composants du réglisse [22].

VI. Les découvertes importantes de la chimie : découvertes à prix Nobel

Ces découvertes sont représentées sur le tableau I.2[23].

Tableau I.2 : Quelques découvertes importantes en chimie ayant reçu le prix Nobel.

<i>Année</i>	<i>Lauréat(s)</i>	<i>Travaux récompensés</i>
1930	 Hans Fischer	« Pour ses recherches sur la constitution de l'hémine et la chlorophylle, spécialement sa synthèse de l'hémine »
1967	 Manfred Eigen	« Pour leurs études des réactions chimiques extrêmement rapides, obtenues en perturbant l'équilibre à l'aide de très courtes impulsions d'énergie »
2008	 Osamu Shimomura	« Pour la découverte et le développement de la protéine fluorescente verte, la GFP »
2011	 Dan Shechtman	« Pour sa découverte des quasi-cristaux »

2012	 Robert Lefkowitz	« Pour son travail sur les récepteurs couplés aux protéines G »
2013	 Arieh Warshel	« Pour le développement de modèles à multi-échelles pour les systèmes chimiques complexes »
2014	 William Moerner	« Pour leurs travaux dans le domaine de la nanoscopie et de la microscopie à fluorescence »
2015	 Paul L. Modrich	« Pour leurs études mécanistes de la réparation de l'ADN »

2016	 Fraser Stoddart	« Pour la conception et la synthèse de machines moléculaires »
2020	 Emmanuelle Charpentier	« Pour avoir mis au point la technique d'édition génomique CRISPR-Cas9 »
2021	 Benjamin List	« Pour leur contribution au développement de l'organocatalyse asymétrique »
2022	 Carolyn R. Bertozzi	« Pour leur contribution au développement de la chimie click et de la chimie bio-orthogonale »

CHAPITRE I : ETAT DE L'ART

2023	 Mouni G. Bawendi	« Pour la découverte et la synthèse des boîtes quantiques »
2024	 Demis Hassabis	« Pour la prédiction de la structure des protéines »

Référence bibliographique

- [1] Baudet, J.-C. (2013). Histoire de la cuisine. Une philosophie du goût. Bruxelles : Jourdan.
- [2] Baudet, J.-C. (2017). Histoire de la chimie. Bruxelles : De Boeck Supérieur SA.
- [3] Avenas, P. (2019, novembre). Dossier : La chimie. La Jaune et la Rouge.(749) ,
- [4] Futura Sciences. (s. d.). Quelle est l'histoire de la naissance de la chimie
[/https://www.futura-sciences.com/sciences/questions-reponses/histoire-histoire-naissance-chimie-11163/](https://www.futura-sciences.com/sciences/questions-reponses/histoire-histoire-naissance-chimie-11163/).
- [5] Angenault, J. (1995). La chimie : dictionnaire encyclopédique (2e éd.). Paris : Dunod.
- [6] Équipe éditoriale de la PCC Chemical Académie. (S. d.).
<https://www.products.pcc.eu/fr/author/equipe-editoriale-de-la-pcc-chemical-academy/>.
- [7] Académie de Montpellier. (s. d.). Histoire de la chimie. <https://tice.ac-montpellier.fr/ABCDORGA/Famille/HISTOIRECHIMIE.html>.
- [8] Slide Player. (s. d.). <https://slideplayer.fr/slide/1172793/>.
- [9] Sevin, A., & Darnaud Dandine, C. (2014). Histoire de la chimie en 80 dates (1re éd.). Paris : Ellipses.
- [10] Lycée Hubert Clément. (s. d.). Histoire de la chimie.
https://www.lhce.lu/Chimie/Publications/PDF/2_histoirechimie1.pdf.
- [11] Lafont, O. (1994). D'Aristote à Lavoisier : les étapes de la naissance d'une science. Paris : Ellipses.
- [12] Lafont, O. (2000). De la chimie à l'alchimie. Paris : Ellipses.
- [13] Poirier, J.-P. (1993). Lavoisier et la naissance de la chimie moderne. Paris : Flammarion.
- [14] Lavoisier, A.-L. (1789). Traité élémentaire de chimie, tome 2, planche IV. Dessin de Madame Lavoisier. Paris : Bibliothèque nationale de France, Réserve des livres rares.
- [15] Lavoisier, A.-L. (1789). Traité élémentaire de chimie, tome 2, planche VIII. Dessin de Madame Lavoisier. Paris : Bibliothèque nationale de France, Réserve des livres rares.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [16] Scerri, E. (2007). The Periodic Table: Its Story and Its Significance. Oxford: Oxford University Press.
- [17] Atkins, P. W. (2010). Molecular Quantum Mechanics. Oxford: Oxford University Press.
- [18] Peuchmaur, M., & Boucherle, B. (2025). Chimie organique : Réussir son année en filière santé. Fontaine : Presses Universitaires de Grenoble (PUG).
- [19] Duperrex, J. (s. d.). Chimie organique. Consulté le 15 mars 2025, sur http://www.jeanduperrex.ch/Site/Chimie_organique.html.
- [20] Lalaymia, Y. (2019). Introduction en chimie minérale pharmaceutique et classification des éléments du tableau périodique. Université Mostfa Ben Boulaid, Batna.
- [21] Projector Global. (s. d.). Quels sont les domaines de la chimie industrielle ? <https://projector-global.net/industriel/quels-sont-les-domaines-de-la-chimie-industrielle/>.
- [22] Mac-Mod Analytical. (s. d.). Industriel Chemical Applications (Traduction personnelle).
- [23] Wikipédia. (2025). Liste des lauréats du prix Nobel de chimie. Wikipédia. https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_lauré



CHAPITRE

02:

*Généralités sur
les couleurs de
la chimie*

I. La chimie noire : la pollution

I.1 Définition du Polluant

C'est une substance émise soit par l'activité humaine soit par un processus naturel qui affecte l'homme et l'environnement [1].

I.2 Les différents types de polluants

1. Polluants physiques

- Radiations ionisantes.
- Pollution thermique.

2. Polluants chimiques

- Hydrocarbure et leurs produits de combustion.
- Matières plastiques.
- Pesticides.
- Détersifs.
- Composés organiques de synthèse divers.
- Dérivés au soufre.
- Nitrates.
- Phosphates.
- Métaux lourds.
- Fluorures.
- Particules minérales (aérosols).

3. Polluants biologiques

- Matières organiques mortes.
- Micro-organismes pathogènes[2] .

I.3 Définition de la pollution

Il y a des nombreuses définitions qui ont été données de la pollution parmi eux :

La pollution est une dégradation de l'environnement par l'introduction dans l'air, l'eau ou le sol de matières n'étant pas présentes naturellement dans le milieu. Elle entraîne une perturbation de l'écosystème dont les conséquences peuvent aller jusqu'à la migration ou l'extinction de certaines espèces incapables de s'adapter au changement[3], ou est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, à travers des effets directs ou indirects alternant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation de la constitution physicochimique

du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement à travers des ressources agricoles, en eau et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités récréatives du milieu, ou encoure en enlaidissant la nature [1].

I.4 Les différents types de pollution

Les classifications des types les pollutions (Fig. II.1) selon le milieu considéré : le sol, l'eau des lacs, rivières et Mers (l'hydrosphère) ou l'atmosphère [2].



Figure II.1: Les différents types de pollution

I.5 Détail des types de pollution : définition, causes, conséquences et solutions

1. La pollution atmosphérique

➤ Définition

La pollution atmosphérique peut être définie comme la présence d'impuretés dans l'air pouvant provoquer un gêne notable pour les personnes et un dommage aux biens. La pollution atmosphérique est donc fortement influencée par le climat et tout particulièrement par le vent, la température, l'humidité et la pression atmosphérique[4] .

➤ Causes (Fig. II.2)

- L'industrie.
- L'utilisation des automobiles.
- Exploitation minière.
- La déforestation.

- Utilisation excessive de pesticides dans l'agriculture : ces substances affectent et altèrent le sol, facilitant également l'accumulation de gaz dans l'air[5] .



Figure II.2 : Exemple de la pollution atmosphérique.

➤ Conséquences [6]

Les conséquences de la pollution de l'air sont nombreuses. La première d'elles sont les conséquences liées aux **dégâts sur la santé humaine**. Il est possible de distinguer plusieurs groupes de maladies causées par la pollution atmosphérique :

- Maladies respiratoires.
- Maladies dermatologiques.
- La pollution atmosphérique peut aussi produire aux constructions en érodant leurs matériaux.

D'autre part, à **niveau environnemental**, la pollution de l'air a aussi de nombreuses conséquences néfastes :

- Le smog dans les grandes villes.
- Changement climatique.
- Diminution de la couche d'ozone.
- La destruction à grande échelle des forêts et des sols.

➤ Solution [5]

- Utiliser des moyens de transport alternatifs qui ne polluent pas l'environnement, comme le vélo.
- Recycler les déchets pour minimiser l'impact environnemental des tonnes de déchets produits chaque jour.

- Consommation responsable des combustibles fossiles et des sources d'énergie. Leur utilisation étant pratiquement inévitable, nous pouvons essayer de réduire leur impact sur la planète.
- Construction de jardins urbains qui n'altèrent pas l'environnement ou ses cycles naturels

2. La pollution de l'eau

➤ Définition

La pollution des eaux est l'introduction dans le milieu aquatique de toute substance susceptible de modifier les caractéristiques physiques, chimiques et/ou biologiques de l'eau et de créer des risques pour la santé de l'homme, de nuire à la faune et à la flore terrestres et aquatiques, de porter atteinte à l'agrément des sites ou de gêner toute autre utilisation normale des eaux [7] .

➤ Causes (Fig. II.3)[8]

✓ Naturelle :

Contact de l'eau avec les gisements, éruption volcanique.

✓ Agricole :

1^{ère} source de pollution (nitrates, phosphates, pesticides).

Elevage intensif.

Engrais : organiques (fumiers, lisiers) et minéraux (nitrate d'ammonium).

Epandage de pesticides.

✓ Domestique :

Eaux "ménagères" (eaux de cuisine et de salle de bains) , eaux "vannes" (WC). Elles contiennent : P, MO, HAP, Mdt.

✓ Industriels :

(Métaux, HAP, PCB, benzène, acides et bases)



Figure II.3 : Exemple de la pollution de l'eau.

➤ Conséquences[5]

- **Des maladies** : la consommation d'eau contaminée peut entraîner de graves problèmes de santé. De la diarrhée, du choléra, de l'hépatite A, de la typhoïde, à la mort.
- **Malnutrition** : une alimentation insuffisante, ainsi que des maladies infectieuses et un manque d'hygiène avec de l'eau propre, entraînent des maladies, y compris la malnutrition.
- **Elle affecte les écosystèmes** : l'eau douce contaminée altère l'habitat naturel des écosystèmes. En conséquence, la biodiversité aquatique est perdue, des algues nuisibles apparaissent et d'autres problèmes surgissent.

3. La pollution du sol

➤ Définition[9]

La pollution du sol ou la pollution de la terre peut être définie comme des changements qui modifient la composition de la surface de la terre ou du sol de telle sorte qu'elle en résulte endommagée. La pollution du sol l'appauvrit, le rendant infertile, ce qui rend impossible la croissance de la végétation ainsi que la présence de différents types d'êtres vivants.

➤ Causes (Fig. II.4)[10]

- Déversement de déchets et d'ordures.
- Utilisation intensive de produits chimiques.
- Fuites radioactives.
- Fumée des voitures et de l'industrie.
- Égouts trop vieux.



Figure II.4 : Exemple de la pollution du sol.

➤ Conséquences[10]

- Perte de la flore et de sa diversité.
- Difficultés expérimentées dans les domaines de l'agriculture et de l'élevage.
- Contamination et perte de la diversité de la faune.
- Détérioration du paysage.
- Appauvrissement global de l'écosystème, qu'il soit marin ou terrestre.

➤ Solutions

- Prévention et sensibilisation.
- L'interdiction des pratiques nuisibles.
- Amélioration des processus de recyclage.
- Amélioration des procédés de purification de l'eau.
- Utilisation des énergies renouvelables.
- Rénovation du système d'égouts.

1.6 Situation environnementale dans le monde

a. 3,4 milliards de tonnes de déchets par an en 2050

La production annuelle de déchets municipaux (déchets ménagers et autres déchets pris en charge par une commune ou une collectivité territoriale) dépasse déjà les 2 milliards de tonnes par an. En raison de l'urbanisation rapide, de l'augmentation du niveau de vie et de la croissance démographique, ce volume risque d'augmenter de 70 % pour atteindre les 3,4 milliards de tonnes en 2050, d'après la Banque mondiale (Fig. II.5). En Afrique subsaharienne, les pays devront même faire face à un triplement de la masse des déchets, avec plus de 516 millions de tonnes contre 174 aujourd'hui. Une catastrophe, d'autant plus que ces pays disposent de peu d'infrastructures pour gérer cet afflux[11] .

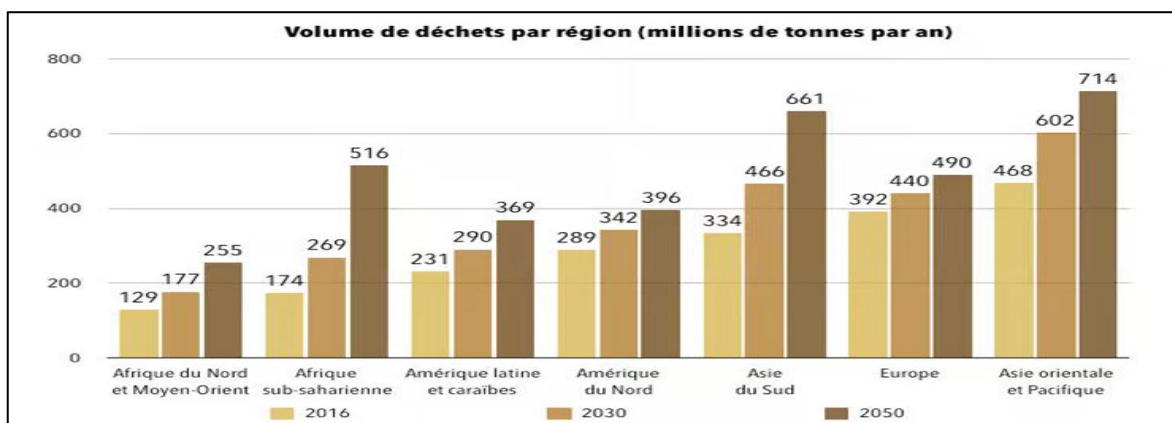


Figure II.5: Production de déchets municipaux par région en 2016, 2030 et 2050 d'après la banque mondiale.

b. 0,74 kg de déchets par jour pour chaque habitant de la planète

Chaque habitant produit en moyenne 0,74 kg de déchets par jour. Un chiffre qui cache de fortes disparités, de 0,11 kg au Lesotho à 4,50 kg aux Bermudes. Ces écarts sont fortement liés au niveau de développement : plus le niveau de vie est élevé, plus la population consomme des produits préparés, générant plus d'emballages à jeter. Bien qu'ils ne représentent que 16 % de la population mondiale, les pays développés génèrent ainsi 34 % de déchets de la planète. Cette production progresse aussi avec l'urbanisation

c. 44 % de déchets organiques

Les déchets alimentaires ou végétaux représentent la plus grosse partie (44 %) du volume total. Le plastique arrive deuxième, avec 17 %. Là encore, de fortes disparités sont observables en fonction du niveau de développement. Les pays à faible revenu produisent davantage de déchets alimentaires, tandis que les pays développés produisent davantage de déchets « secs » (plastique, papier, métal, ou verre), issus notamment de l'industrie et des produits de consommation (Fig. II.6).

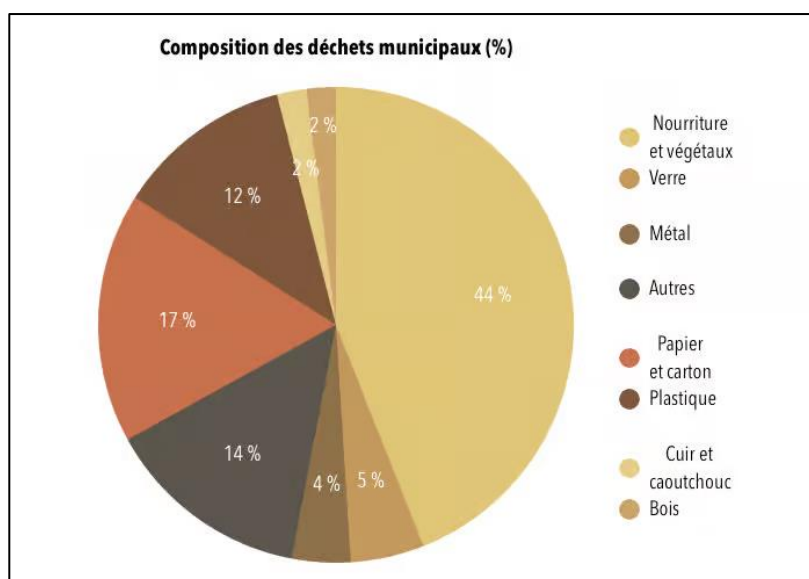


Figure II.6: Composition des déchets.

d. 39 % de déchets collectés dans les pays en développement

Dans les pays développés, il est habituel de voir le camion poubelle passer plusieurs fois par semaine devant son domicile. Hélas, c'est loin d'être une généralité ailleurs dans le monde. À peine 39 % des déchets font l'objet d'une collecte organisée dans les pays à faible revenu (Fig. II.7). Très souvent, ils sont brûlés à l'arrière d'une maison ou jetés dans la rue par les

ménages, ce qui entraîne des problèmes de trafic dans les villes et favorise la propagation de maladies.

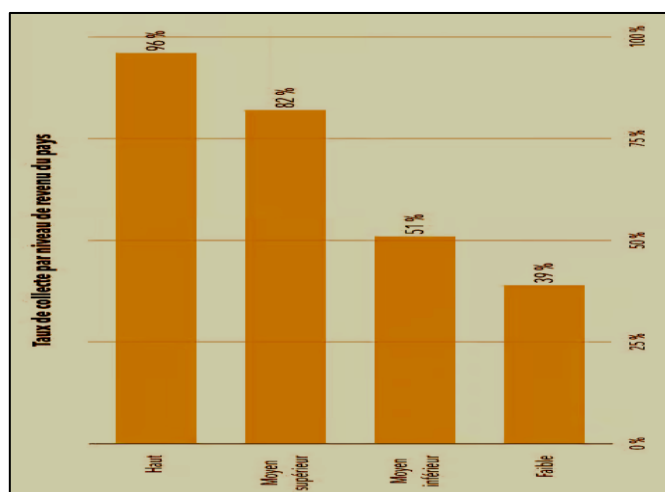


Figure II.7 : Taux de collecte des déchets selon le niveau de revenu.

II. La chimie rouge : les accidents industriels

II.1 Définitions

Les accidents industriels sont des accidents technologiques qui ont lieu lors des processus industriels, le plus souvent dans l'enceinte même des usines. Il est bien connu que les industries mettent en œuvre, sur une grande échelle, une foule de produits et de processus dangereux, présentant des risques d'accidents et de maladies.

Le Bureau international du travail (BIT) à Genève donne les définitions suivantes :

« L'expression accident majeur (industriel) désigne un événement inattendu et soudain, y compris en particulier une émission, un incendie ou une explosion de caractère majeur, dû à un développement anormal dans le déroulement d'une activité industrielle, entraînant un danger grave, immédiat ou différé, pour les travailleurs, la population ou l'environnement à l'intérieur ou à l'extérieur de l'installation et mettant en jeu un ou plusieurs produits dangereux. ».

La directive Seveso II de 1996 définit également ce terme :

« Accident majeur (industriel) : événement tel qu'une émission, un incendie ou une explosion d'importance majeure résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation d'un établissement couvert par la présente directive, entraînant pour la santé humaine, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'établissement, et/ou pour l'environnement, un danger grave, immédiat ou différé, et faisant intervenir une ou plusieurs substances dangereuses »[12] .

II.2 Les conséquences possibles d'un accident industriel

Les effets d'un accident industriel dépendent des produits impliqués, du site et de sa localisation, de la nature de l'événement. Les conséquences (Fig. II.8) peuvent être :

- **Humaines** : en cas d'incendie ou d'explosion, les personnes travaillant sur le site, mais aussi les riverains, peuvent mourir ou souffrir de brûlures plus ou moins graves. Si l'explosion est puissante, elle peut s'accompagner d'une onde de choc (déflagration ou détonation) qui lèse les tympans et/ou les poumons. En cas de nuage toxique, il y a des risques pour la santé par inhalation, contact avec la peau ou les yeux, ou ingestion.
- **Économiques** : un accident majeur peut altérer durablement les outils de travail d'une activité industrielle. Les entreprises, les habitations, les réseaux d'eau, de télécommunications et d'électricité, les routes ou les voies de chemin de fer voisin du lieu de l'accident peuvent être endommagés. Leur seule remise en état peut représenter un coût important.
- **Environnementales** : un accident industriel majeur peut avoir des répercussions importantes sur les écosystèmes. Il peut provoquer une destruction de la faune et de la flore, ou une pollution durable des sols et des nappes phréatiques[13] .

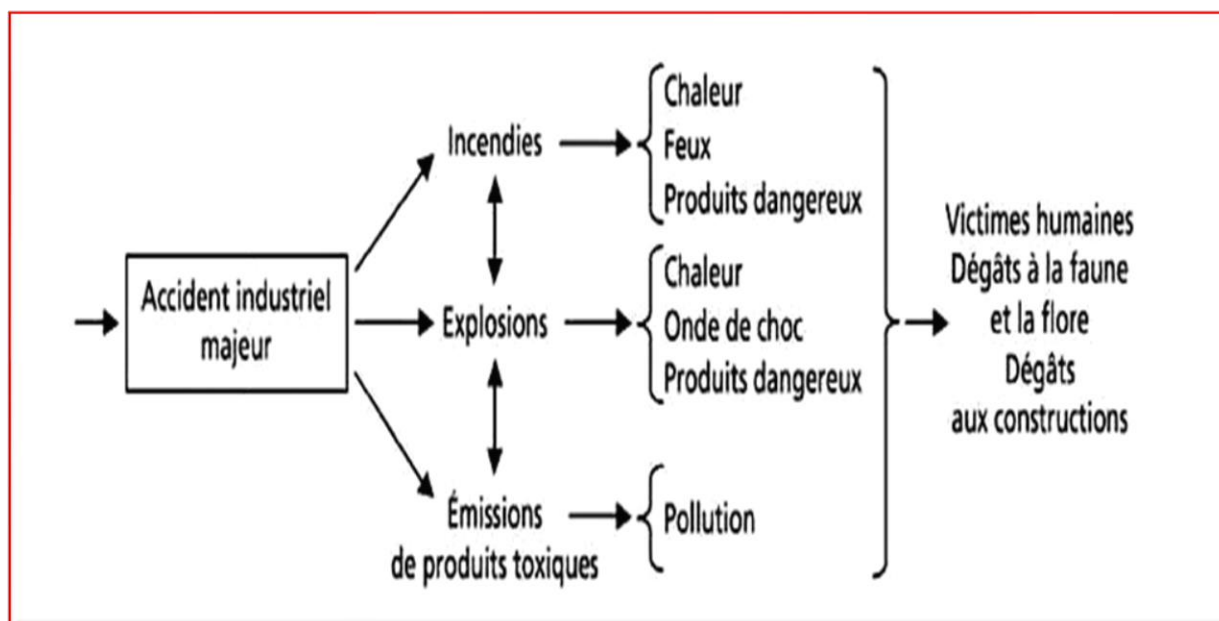


Figure II.8 : Conséquences des accidents industriels majeurs.

II.1 Quelques accidents industriels

1. En Algérie [18]:

→ SEBDOU – TLEMCEM - 20/11/2002

Une bouteille de propane utilisée pour allumer le four explose dans une boulangerie. Douze personnes sont blessées et 13 autres sont tuées .

→ ALGER - 21/06/2004

Une explosion se produit dans une centrale électrique mise en service en 2002, et impliquerait 2 réservoirs de combustible. Le bilan fait état de 11 personnes blessées dont 4 grièvement. Les principales installations de la centrale ne sont pas touchées, selon l'exploitant. L'explosion a soufflé les fenêtres des immeubles proches du site et la déflagration a été entendue dans plusieurs quartiers de la capitale .

→ BEKHAITA - MASCARA - 22/10/2006

Une déflagration se produit vers 7h30 sur un gazoduc exploité par une compagnie algérienne. Les équipes de secours réussissent à circonscrire le sinistre vers 10h30 ; 78 personnes sont blessées, 13 habitations endommagées à différents degrés et une quinzaine d'ovins calcinés. Selon l'exploitant, la corrosion pourrait être à l'origine de l'accident. Après remplacement du tronçon de la conduite endommagée et vérification des cordons de soudure , la canalisation est remise en service .

→ ARZEW – ORAN - 08/11/2007

Une fuite de gaz se produit dans l'après-midi au niveau d'une tuyauterie dans un dépôt de méthanol entraînant une explosion puis un incendie sur les câbles électriques ; 7 employés sont blessés .

→ CONSTANTINE - 16/06/2009

Un conteneur de granulés de polystyrène explose vers 19 h dans une usine fabriquant des isolants en polystyrène et provoque un incendie ; une épaisse colonne de fumée se dégage. Le chauffeur du camion transportant le conteneur est tué sur le coup et un autre employé meurt de ses brûlures le lendemain ; une personne est portée disparue. Un pompier est gravement brûlé pendant l'intervention et 2 personnes sont incommodées par les fumées .

→ HASSI MESSAOUD - 08/08/2011

Une explosion de propane suivie d'un incendie se produit sur une canalisation de transport de GPL de 8" reliant 2 sites pétroliers à la suite d'une fuite de gaz ; 6 personnes sont blessées dont 2 grièvement. Les secours publics aidés par les entreprises privées intégrées dans le plan d'assistance mutuelle (PAM) maîtrisent le sinistre après 8h d'intervention et protègent des flammes un poste de détente de gaz naturel situé à une vingtaine de mètres du foyer. Une quinzaine de véhicules appartenant à des entreprises industrielles proches du lieu de l'accident est détruit. Selon la presse, la canalisation aurait été percée durant des travaux de raccordement sur le réseau d'eau de la zone industrielle .

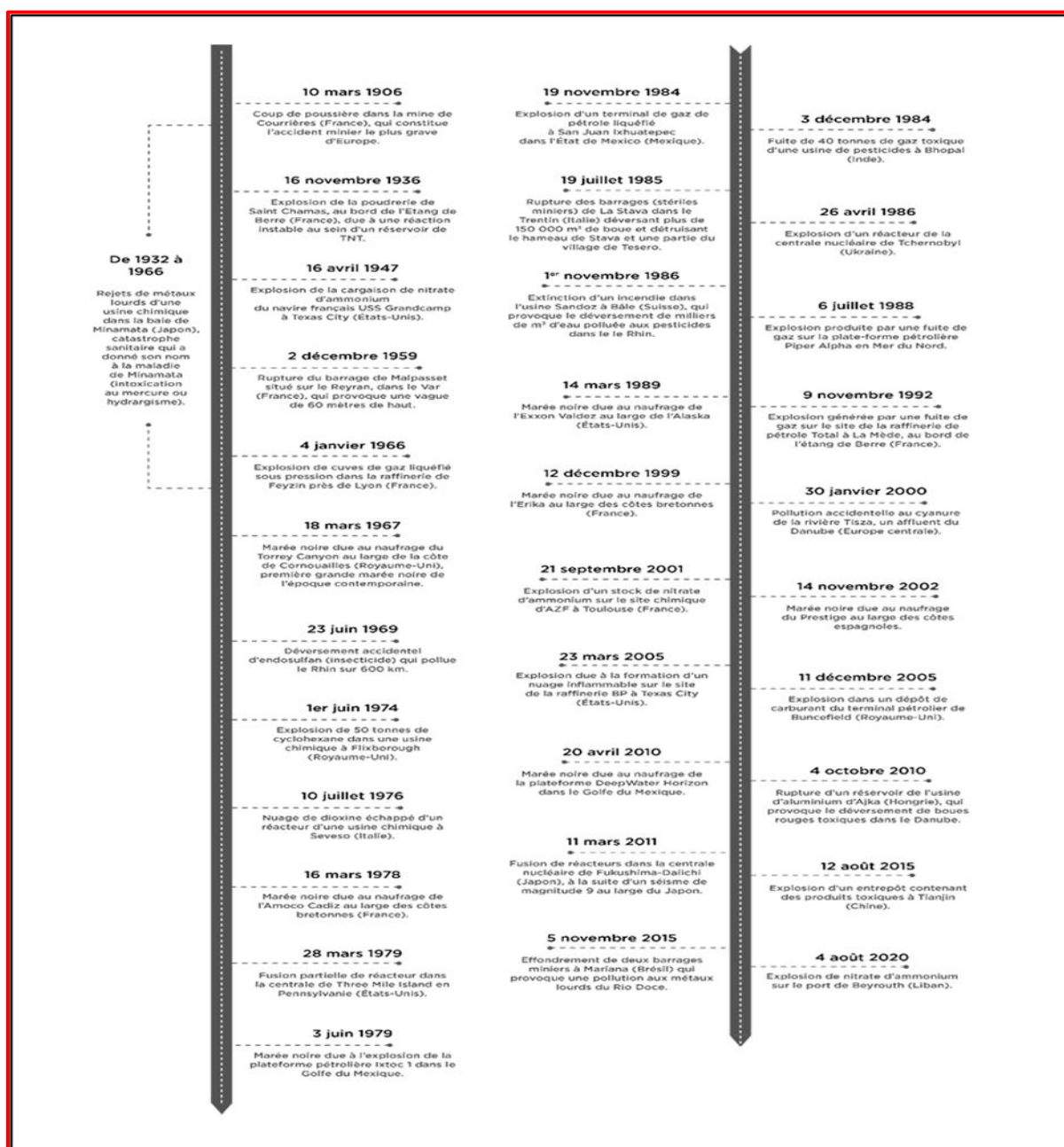
→ SKIKDA - 05/01/2016

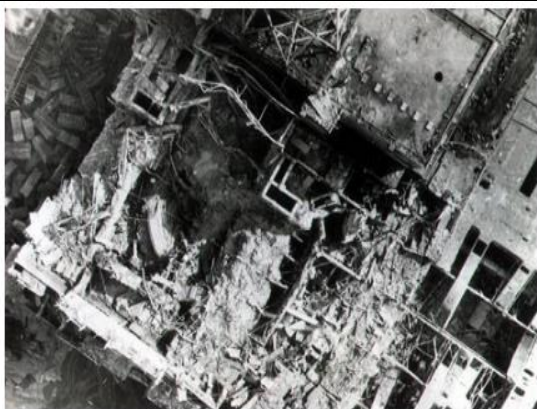
Une explosion suivie d'un incendie se produit vers 8h30 dans un centre d'enfûtage de GPL au niveau d'un complexe gazier. Les pompiers éteignent l'incendie vers 9h. L'explosion fait 1 mort et 19 blessés dont 8 grièvement. L'onde de choc de l'explosion a été ressentie au centre-ville de Skikda ainsi que dans plusieurs unités de la zone pétrochimique mitoyenne du site ; selon les ouvriers, l'explosion a été précédée d'une forte odeur de gaz au niveau du carrousel d'enfûtage des bouteilles de gaz.

2. Dans le monde, depuis le XXe siècle

Dans l'organigramme ci-dessous et le tableau II.1 nous avons présentés quelques grands accidents technologiques depuis le XXe siècle [14].

Tableau II.1 : Principaux accidents technologiques majeurs depuis le XXe siècle.





La catastrophe de Tchernobyl, 1986

Le réacteur n°4 de la centrale nucléaire ukrainienne de Tchernobyl explose. La gravité de l'accident, mais aussi et surtout l'incurie des autorités soviétiques à tous les niveaux, ont fait de Tchernobyl la plus grande catastrophe du nucléaire civil, un

désastre humanitaire et écologique.



La catastrophe d'AZF, Toulouse, 2001

Un stock de 300 à 400 tonnes de nitrate d'ammonium (NH_4NO_3) dans le hangar 221 de l'usine explose, creusant un cratère de forme ovale de 70 mètres de long et 40 mètres de largeur, et de 5 à 6 mètres de profondeur. La détonation est

entendue à plus de 80 Km et crée un séisme de magnitude 3,4.



La catastrophe de Buncefield, Grande Bretagne, 2005

Le dimanche 11 décembre 2005, une série de trois explosions frappent le terminal pétrolier de Buncefield, à 40 kilomètres de Londres.

Les puissantes déflagrations, de magnitude 2,4 à l'échelle de Richter, sont entendues à 200 Km et ressenties jusqu'en France et en Belgique. Elles déclenchent alors un gigantesque incendie

Figure II.9 : LES catastrophe des accidents industriels majeurs

III. La chimie rose : le cosmétique, la santé et l'agroalimentaire

III.1 Le domaine du cosmétique

- **Bref historique de la cosmétologie**

La cosmétique est présente dans les civilisations anciennes. Dès la haute Egypte on retrouve des traces de cosmétique, en particulier dans les fioles accompagnant le mobilier funéraire. Au musée du Caire un vase appartenant au Pharaon Aménophis (- 1400 environ) contenait du kohol. Si le kohol est connu depuis la haute Egypte, l'utilisation de l'huile d'amande douce est depuis l'antiquité été utilisée par les Romains. L'invention du savon semble remonter à 3000 ans en Syrie où de l'huile d'olive était mélangée avec de la « soude végétale » c'est-à-dire des cendres obtenues après combustion de Salicornes ou de Soudes (Salsola).

- **Etymologie du mot cosmétique**

Le mot cosmétique vient du grec kosmêtikos, de kosmos qui désigne la beauté, l'ordre, l'ornement, la parure, la belle apparence. Un mot qui, dans l'Antiquité grecque, ne s'appliquait pas qu'au ciel, mais servait à évoquer la beauté et l'ordre d'une armée prête à la bataille, et qui pouvait donc impressionner l'ennemi [15].

- **Définition d'un produit cosmétique**

« On entend par produit cosmétique, toute substance ou préparation destinée à être mise en contact avec les diverses parties superficielles du corps humain, notamment l'épiderme, les systèmes pileux et capillaire, les ongles, les lèvres et les organes génitaux externes, ou avec les dents et les muqueuses buccales, en vue, exclusivement ou principalement, de les nettoyer, de les parfumer, d'en modifier l'aspect, de les protéger, de les maintenir en bon état ou de corriger les odeurs corporelles » .

D'après la norme ISO (TR 19838 :2016) relative à la microbiologie des cosmétiques, une formulation cosmétique est une préparation constituée de matières premières dont la composition est qualitativement et quantitativement définie. Le produit cosmétique quant à lui, est un produit fini ayant subi toutes les étapes de la production, y compris le conditionnement dans son emballage final. Le problème est la « mise en contact avec les parties superficielles » : les crèmes amincissantes doivent traverser la peau pour agir en profondeur, de même que les antirides ou encore les anti sueurs qui agissent sur une fonction physiologique or la définition stipule qu'un cosmétique ne doit pas franchir la barrière cutanée. Où se situe exactement la limite avec le médicament ? On admet enfin que les cosmétiques pénètrent dans la peau via la

barrière cutanée lors d'applications régulières, cependant, les produits destinés à être ingérés, inhalés, injectés, implantés dans le corps humain ne sont pas des cosmétiques [16].

La figure ci-dessous regroupe quelques produits cosmétiques.



Figure II.10 : Exemples de quelques produits cosmétiques.

III.2 Le domaine de la santé [17]

La chimie intervient dans plusieurs domaines de la santé, elle va bien au-delà du médicament. On la retrouve dans les différentes sphères suivantes (Fig. II.10) :

- **Compréhension des pathologies**

La chimie intervient dans la compréhension des maladies et des mécanismes moléculaires qui conduisent à une pathologie donnée ; par exemple dans le cas du diabète, de l'hypertension, la maladie de Parkinson, la dépression, le cancer...

- **Recherche et mise au point des médicaments**

La thérapeutique par la recherche et la mise au point des médicaments ou solutions (médicament + dispositifs médicaux) sont susceptibles de soulager les souffrances, de corriger des voies physiologiques « égarées » (c'est-à-dire qu'elles ne fonctionnent pas comme avant), de retarder l'apparition de nouveaux symptômes plus graves et améliorer le quotidien des patients.

- **Outils et objets pour faciliter la compréhension du vivant**

Il s'agit de nouveaux outils et objets (molécules, matériaux...) qui permettent ou facilitent la compréhension du vivant, comme en corriger certains dysfonctionnements : par exemple puces à ADN, de nouvelles techniques d'imagerie (pour la compréhension et le

suivi), des biomatériaux comme les implants, les prothèses, les cœurs artificiels...(pour corriger des dysfonctionnements fonctionnels comme structuraux).

- **Outils de diagnostic et de suivi de l'évolution des maladies**

Il s'agit des outils moléculaires de diagnostic et de suivi de l'évolution d'une maladie ou de l'impact d'un traitement ; par exemple, suivi du taux du cholestérol ou du sucre dans le sang (prévention des maladies cardiovasculaires, des atteintes rénales...), suivi de marqueurs des différents cancers avec comme exemple phare, le cancer de la prostate...

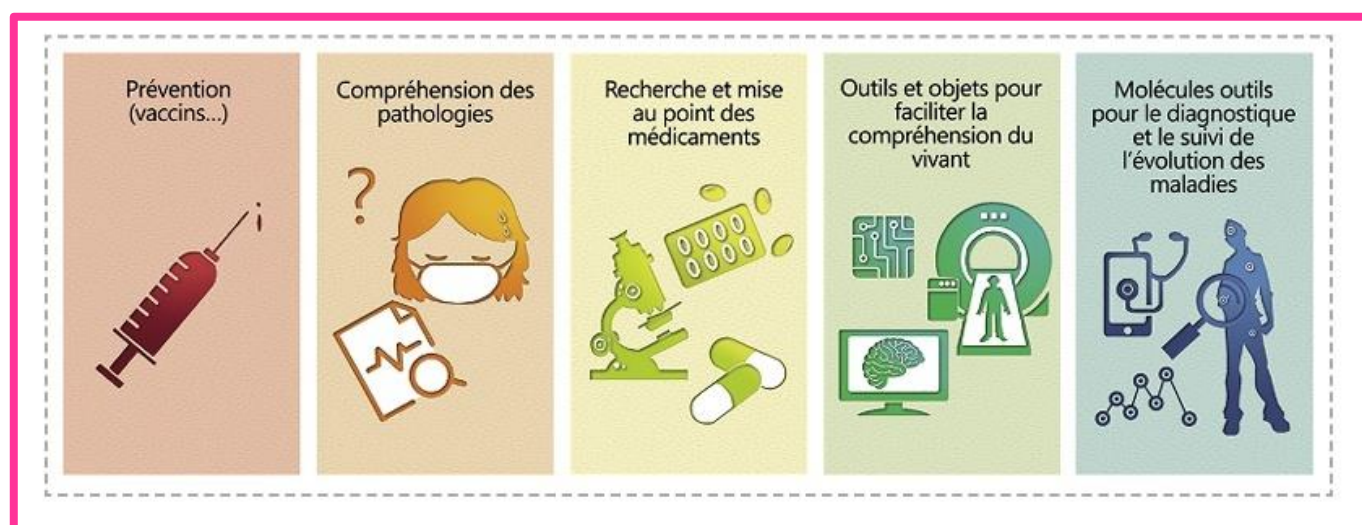


Figure II.11 : La chimie dans la santé.

III.3 Le domaine de l'agroalimentaire

- **Analyse et contrôle de la qualité des aliments**

La chimie analytique permet de détecter la présence de contaminants tels que les métaux lourds, les pesticides et les mycotoxines. Elle permet également d'authentifier la composition des aliments (protéines, lipides, glucides) grâce à des techniques comme la chromatographie et la spectroscopie de masse [18].

- **Additifs alimentaires et conservation**

L'industrie agroalimentaire utilise divers additifs chimiques pour améliorer la texture, le goût et prolonger la durée de conservation des aliments. Par exemple, les antioxydants comme l'acide ascorbique (vitamine C) empêchent l'oxydation des lipides, tandis que les agents conservateurs comme le sorbate de potassium inhibent la croissance microbienne [19].

- **Réactions chimiques dans la transformation des aliments**

Des réactions chimiques comme la réaction de Maillard (interaction entre sucres et protéines sous l'effet de la chaleur) jouent un rôle clé dans le goût et l'apparence des aliments cuits (pain, viande grillée, café torréfié) [20].

- **Chimie des emballages alimentaires**

Les polymères et plastiques utilisés dans l'emballage des aliments (Fig. II.12) sont développés en chimie pour garantir une meilleure conservation et limiter l'altération des produits alimentaires. Certains emballages sont conçus pour être biodégradables ou actifs (interagissant avec le produit pour prolonger sa durée de vie) [21].



Figure II.12 : Les plastiques utilisés dans l'emballage des aliments.

IV La chimie verte

IV.1 Historique de la chimie verte

Une réflexion sur une « réforme de la chimie » (Tab. II.2) s'est engagée, réflexion qui s'insère dans le cadre de travaux de plus grande ampleur sur l'impact des activités humaines sur l'environnement.

Tableau II.2 : La réforme de la chimie.

L'Année	Les travaux
1972	Sommet des Nations Unies sur l'Homme et l'Environnement à Stockholm. Premier des sommets de ce type, il marque la prise de conscience, au niveau global, de l'impact des activités humaines sur l'environnement [22].
1987	Après une consultation internationale, la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement (« commission Brundtland ») publie son rapport. « Our common future » (« Notre avenir à tous »). Il définit et popularise le concept de développement durable (« sustainable development ») [22].
1990	Les États-Unis adoptent la loi de prévention de la pollution (« Pollution Prevention Act »). Elle marque un changement d'attitude radical : plutôt que de traiter les déchets produits, il s'agit d'opérer une réduction à la source pour prévenir la pollution. De nombreuses disciplines doivent être impliquées dans cet effort de réduction, dont la chimie. La chimie verte est une nouvelle approche pour lutter contre la pollution en prévenant les problèmes environnementaux avant qu'ils ne se produisent [23].
1998	Les chimistes américains Paul Anastas et John Warner ont fondé cette initiative sur les 12 principes de la chimie verte. Ces principes sont un guide classique sur diverses façons de réduire les effets de la production chimique sur l'environnement et la santé [24, 25].
2001	Canadian Green Chemistry Network (affilié à l'ACS).
2003	Ajout des 12 principes de Green Engineering
2005	Le chimiste japonais Ryōji Noyori a identifié trois clés pour favoriser le développement de la chimie verte : l'utilisation de CO ₂ à l'état de fluide supercritique comme un solvant « vert ».
2007	REACH rationalise et améliore l'ancien cadre réglementaire de l'Union européenne sur les produits chimiques (Europe Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of chemicals) [26].

IV.2 Définition

La chimie verte (Green Chemistry) concerne la réduction du risque par la réduction de l'exposition à des produits dangereux. Conception de produits et de processus chimiques qui

réduisent (éliminer) l'usage et la formation de substances toxiques " Chimie dans une optique de développement durable ". En effet, la chimie verte est un domaine de recherche qui est récent. En ces dernières années (25 ans) de plus en plus de chercheurs s'y consacrent pour son succès. Elle est parfois appelée chimie durable, renouvelable ou bien propre.

La chimie verte $\neq$ chimie du végétal

Qu'est-ce que la chimie verte ?

C'est l'ensemble des principes et des techniques visant à réduire ou éliminer l'usage ou bien la formation des substances dangereuses ou bien toxiques dans la conception, la production et l'utilisation des produits chimiques [27].

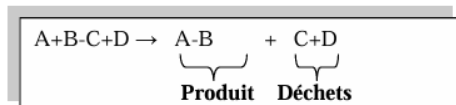
IV.3. Les douze principes de la chimie verte [28]

Les principes de la chimie verte sont rappelés ci – dessous (Fig. II.13). Elle s'attache autant tout à produire en minimisant les déchets, réduisant au maximum l'emploi de produits toxiques et en utilisant des réactions rapides et efficaces.



Figure II.13: Les douze principes de la chimie verte.

1-Préventions des déchets : Prévenir et limiter la production ou la formation des déchets. Mieux vaut éviter de produire les déchets que d'avoir ensuite à les traiter (voir l'équation ci-dessous).



2-Economie d'atome : Concevoir les synthèses de manière à maximiser l'incorporation des matériaux utilisés au cours du procédé dans le produit final.

3-Synthèses chimiques moins nocives : Faire des réactions chimiques avec des produits / réactifs avec peu ou pas de toxicité en utilisant alors des voies enzymatiques ou biocatalyses.

4 -Conception de produits chimiques : Concevoir des produits et des composés chimiques avec peu ou pas de toxicité.

5 -Réduction des solvants et Auxiliaires de synthèse : Minimiser l'utilisation de composés réactionnels intermédiaires.

6-Amélioration du rendement énergétique : Recherche l'efficacité énergétique de la réaction c'est-à-dire travailler à température ambiante et pression normale quand cela est possible.

7-Utilisation de matières premières renouvelables : Préférer les matières premières renouvelables (biomasse) à celles fossiles (hydrocarbures, carbones ...).

8 -Réduction de la quantité de produits dérivés : Modification du procédé physico-chimique "électrochimie ou biosynthèse c-à-d : Synthèse courtes + limite les produits secondaires.

9-Catalyse sélective : Utiliser au maximum les catalyseurs dans la réaction chimique afin de minimiser les quantités de réactifs utilisés et déchets produits " il faut favoriser l'utilisation de réactifs catalytiques les plus sélectifs possibles.

10-Conception de substances non-persistantes : Les produits chimiques doivent être conçus à pouvoir se dissocier en produits de dégradation non nocifs, cela dans le but d'éviter leur persistance dans l'environnement.

11-Analyse en temps réel de la lutte contre la pollution : Des méthodologies analytiques doivent être élaborées afin de permettre une surveillance et un contrôle en temps réel et en cours de production avant qu'il y ait apparition de substances dangereuses.

12-Chimie essentiellement sécuritaire afin de prévenir les accidents : Prévention du risque industriel, concevoir des produits chimiques dans des formes appropriées (liquide, solide ou gaz) afin de limiter les risques d'accident à titre d'exemple exposition, incendies et également diffusion dans l'environnement.

III.4 Matières premières pour la chimie « verte »

Elle vise à utiliser comme matière première (Fig. II.14) :

- ❖ **La biomasse** c'est-à-dire des plantes entières telles que les céréales, les pommes de terre, les betteraves ou des résidus végétaux et des substances extraites de végétaux telles que les huiles végétales, le bois, les algues, etc., pour fabriquer des produits chimiques et des matériaux [29].
- ❖ **Le CO₂ véritable** matière première pour une chimie verte des polymères. En raison de son faible coût et de sa faible toxicité, le dioxyde de carbone est une source de carbone dans les procédés de synthèse industriels qui fait actuellement l'objet de recherches soutenues. Cela est illustré de manière spectaculaire par les millions de tonnes de CO₂ consommées chaque année dans la production industrielle de l'urée [30].
- ❖ **Déchets d'autres industries** telles que les déchets de poisson et de graisse de l'industrie de transformation de la viande ou les huiles végétales et les huiles de cuisson usagées de l'industrie alimentaire. Ces soi-disant "déchets" et résidus restants de diverses sources peuvent être utilisés comme matières premières pour une variété de produits, limitant ainsi les effets néfastes de l'utilisation des produits pétroliers et de leurs dérivés [31].
- ❖ **Composants biologiques** tels que des extraits de plantes, des algues, des champignons, des bactéries, etc., sont utilisés dans la synthèse « verte » des NPs métalliques et oxydes métalliques [32].

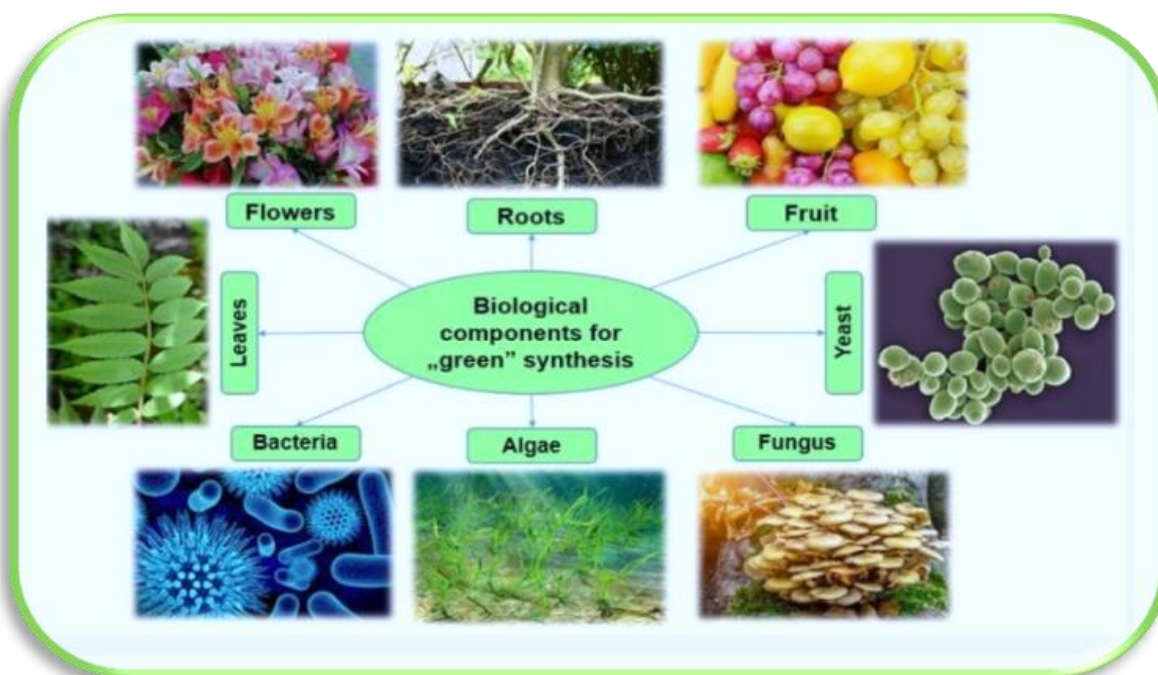


Figure II.14: Diverses ressources naturelles utilisées pour la synthèse de nanoparticules vertes.

III.5 Avantages et Inconvénients de la chimie verte

→ Les avantages [33,34,35,36]

- ✓ Le taux de synthèse est plus rapide.
- ✓ Rentable : élimine l'utilisation de produits chimiques coûteux.
- ✓ Pas besoin d'utiliser de haute pression, énergie ou température.
- ✓ Minimise les risques pour l'environnement et la santé humaine en éliminant l'utilisation de réactifs corrosifs ou toxiques lors de la synthèse.
- ✓ Produits et sous-produits biodégradables (puisqu'ils proviennent de plantes ou de Microorganismes).
- ✓ Biocompatibles.

→ Les inconvénients [33,36,37]

- ✓ Lors de l'utilisation de plantes, l'extrait de plante préparé à partir d'une espèce dans différents laboratoires peut donner des résultats différents .
- ✓ Coûts de mise en œuvre élevés
- ✓ Manque d'information
- ✓ Aucune alternative connue pour les intrants chimiques ou matières premières
- ✓ Aucune technologie de procédé alternative connue.

IV.6 Exemples d'applications de la chimie verte dans divers domaines

Les secteurs concernés et les applications de la chimie verte sont multiples. On citera par exemple : la santé et l'industrie pharmaceutique pour des médicaments plus respectueux de l'environnement, la cosmétique verte ou “green beauty”, l'électronique, l'énergie, les plastiques biodégradables utilisant des végétaux pour remplacer le pétrole, les matériaux composites, les peintures écologiques et biosourcées dans le bâtiment, les textiles, les détergents ou encore la nutrition animale[38]

Référence bibliographique

- [1] Ayadi, F. (2002). Bio indication spatio-temporelle de la pollution par les hydrocarbures de la zone pétrochimique de Skikda à l'aide d'une espèce lichénique épiphyte *Xanthoria parietina*.
- [2] Ramade, F. (1995). Éléments d'écologie, écologie appliquée (5^e éd., p. 72). Paris.
- [3] Centre universitaire de Mila. (2023). Biologie Environnement et Développement durable [Chapitre 2 EDD 2022 Partie 2 La pollution.pdf](#)
Chapitre 3 : La pollution. 2^e année. Année universitaire 2022/2023.
- [4] Guermazi, W. (2017). Cours Pollution & Nuisances – LFSNA3. Université de Gabès, Faculté des Sciences.
- [5] Hamelin, R., Laporte, J., & PTC, A. (2000). Environnement et nuisances (p. 157). Éditions Clartés.
- [6] rojet Ecolo. (s.d.). Pollution atmosphérique : définition, causes, conséquences et solutions. <https://www.projetecolo.com/pollution-atmospherique-definition-causes-consequences-et-solutions-61.html>.
- [7] Anonyme. (S.d.). La pollution des eaux naturelles. [Pollution-des-eaux-naturelles.pdf](#).
[Pollution-des-eaux-naturelles.pdf](#).
- [8] Chebli Akli, I. (s.d.). La pollution de l'eau. Maître assistant en toxicologie. [LA POLLUTION DE L'EAU](#)
- [9] Conservation Nature. (s.d.). [Pollution des sols : définition, causes et conséquences - Conservation Nature](#).
- [10] Mohellebi, F., Souahi, F., Laribi, M., & Zellagui, A. (2010). Étude des techniques de dépollution des sols contaminés (Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'État en génie chimique). Présenté le 30 juin 2010.
- [11] L'orient Broderie. (s.d.). La pollution : définition, causes et conséquences. Consulté le 16 mars 2025. <https://www.lorientbroderie.com/la-pollution-definition-causes-et-consequences/>.

- [12] Margossian, N. (2006). Risques et accidents industriels majeurs : caractéristiques, réglementation, prévention (p. 70). Paris : Dunod.
- [13] Google. (S.d.). Accidents industriels en France. <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>.
- [14] INERIS. (s.d). Quelques grands accidents depuis le XX^e siècle.
<https://www.ineris.fr/fr/risques/est-risque/quelques-grands-accidents-depuis-xxe-siecle>
(Consulté le 16 mars 2025).
- [15] Chikhoun, A. (2016). Huiles et industrie cosmétique (p. 8). Université de Bejaia, Département des Sciences Alimentaires.
- [16] Vigan, M. (2004). Réglementation européenne des cosmétiques. EMC - Dermatologie - Cosmétologie, 1(3), 154-163.
- [17] Media Chimie. (2025). La chimie et la vie quotidienne : Au service de la santé (pp. 44-45). https://www.mediachimie.org/sites/default/files/CJ-VieQuotidienne_4.pdf (Consulté le 17 mars 2025).
- [18] Belitz, H.-D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). Food Chemistry (pp. 101–125, 250–275). Springer.
- [19] Fennema, O. R. (2007). Food Chemistry (p. 315). CRC Press.
- [20] Martins, S. I., Jongen, W. M., & Van Boekel, M. A. (2001). A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. Trends in Food Science & Technology, 12(9), 364–373.
- [21] Robertson, G. L. (2012). Food Packaging: Principles and Practice (pp. 220–250). CRC Press.
- [22] Zeng, H., et al. (2005). Composition/structural evolution and optical properties of ZnO/Zn nanoparticles by laser ablation in liquid media. The Journal of Physical Chemistry B, 109(39), 18260–18266.
- [23] Osuntokun, J., Onwudiwe, D. C., & Ebenso, E. E. (2019). Green synthesis of ZnO nanoparticles using aqueous Brassica oleracea L. var. italica and the photocatalytic activity. Green Chemistry Letters and Reviews, 12(4), 444–457.

- [24] Anonyme. (2018). Biogenic ZnO nanoparticles: A study of blueshift of optical band gap and photocatalytic degradation of reactive yellow 186 dye under direct sunlight. <https://doi.org/10.1515/gps-2018-0084>.
- [25] Anonyme. (s.d.). Green synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Pomegranate Fruit Peel and Solid Coffee Grounds vs. Chemical Method of Synthesis, with Their Biocompatibility and Antibacterial Properties Investigation.
- [26] Laghoutier, O. K. (s.d.). Chimie verte - Procédés propres (pp. 3–4). Université de Ghardaïa, Département de Génie des Procédés.
- [27] Ghanem, H. (s.d.). Polycopié de cours : Chimie verte (p. 9–11). Université de Batna 1, Département de Chimie.
- [28] Tamsamani, K. R. (2007). La chimie verte. Université Abdelmalek Essaâdi de Tétouan.
- [29] Firtion, E., & Rupp-Dahlem, C. (2015). La chimie verte et la chimie du végétal. Annales des Mines – Réalités industrielles, (mars), 38.
- [30] Cramail, H. (s.d.). Profil d’auteur. <https://new.societechimiquedefrance.fr/auteur/cramail-henri/>.
- [31] "Renewable Raw Materials." Gantrade, <https://www.gantrade.com/blog/renewable-raw-materials>. Accessed 25 Apr. 2025.
- [32] Abisharani, J. M., Devikala, S., Kumar, R. D., Arthanareeswari, M., & Kamaraj, P. (2019). Green synthesis of TiO₂ Nanoparticles using Cucurbita pepo seeds extract. Materials Today: Proceedings, 14, 302–307.
- [33] Ali, M., Arfan, M., & Shahverdi, A. (2013). Role of Natural Products in Green Synthesis of Nanoparticles. In Green Biosynthesis of Nanoparticles: Mechanisms and Applications (pp. 31–52). London: Berforts Information Press Ltd.
- [34] Ramesh, P., Rajendran, A., & Subramanian, A. (2014). Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles from Fruit of Citrus Aurantifolia by Chemical and Green Method. Asian Journal of Phytomedicine and Clinical Research, 2(1), 189–195.
- [35] Umer, A., Naveed, S., & Ramzan, N. (2012). Selection of a Suitable Method for the Synthesis of Copper Nanoparticles. World Scientific, 7(1), 1–18.

- [36] Iravani, S., Korbekandi, H., Mirmohammadi, S., & Zolfaghari, B. (2014). Synthesis of Silver Nanoparticles: Chemical, Physical and Biological Methods. *Research in Pharmaceutical Sciences*, 9(1), 385–406.
- [37] Ramesh, P., Rajendran, A., & Meenakshisundaram, M. (2014). Green synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Flower Extract *Cassia Auriculata*. *Journal of Nanoscience and NanoTechnology*, 2(1), 41–45.
- [38] Bpifrance. (2024, janvier 9). Chimie verte : définition, principes, exemples d'entreprise. Big media. <https://bigmedia.bpifrance.fr/nos-dossiers/chimie-verte-definition-principes-exemples-dentreprise>



CHAPITRE

03

*CHIMIE
NOIRE*

ET ROUGE

Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une partie expérimentale de notre travail, qui concerne la synthèse et la caractérisation de certains matériaux associés à la chimie noire. La chimie noire comprend des substances polluantes comme le pigment bleu de cobalt, qui est considéré comme une source de pollution chimique susceptible de nuire à l'environnement. Cependant, la chimie, bien qu'elle comporte des aspects néfastes, offre également des solutions intéressantes. En effet, certaines teintures peuvent être extraites de matières naturelles, représentant ainsi une alternative plus respectueuse de l'environnement. Ceci est démontré par l'extraction d'une teinture textile à partir de pelures de grenade.

De l'autre côté, nous avons étudié le bioplastique et le biodiesel comme alternatives pour réduire la pollution.

Tous les composés synthétisés, dans tous les branches de chimie, sont produits à grande échelle dans des usines industrielles, où les risques d'accidents ou de fuites ne sont pas à écarter. Ceci rentre dans la branche de chimie rouge. Cette situation soulève des interrogations quant à l'équilibre entre les avantages écologiques offerts par ces alternatives et les dangers potentiels associés à leur production.

I. Synthèse et caractérisation du Bleu de cobalt

I.1 Synthèse de $\text{Zn}_{0.3}\text{Mg}_{0.2}\text{Co}_{0.5}\text{Al}_2\text{O}_4$ par voie sol-gel

→ Description

De nombreux pigments inorganiques, comme ceux à base de cobalt, sont à la fois toxiques pour la santé et polluants pour l'environnement.

Le cobalt provoque des allergies cutanées et une irritation, et sa poussière cause de l'asthme professionnel. La poudre de métal de cobalt et l'oxyde cobaltique sont des cancérogènes chez les animaux, et qu'ils sont possibles cancérogènes pour l'homme [1].

La chimie du solide offre divers modes de préparation physico-chimiques et électro catalytiques des oxydes mixtes (spinelles, pérovskites, délafossites, pyrochlores, ...). Les propriétés de ces derniers dépendent du mode et des conditions de préparation ainsi que de la température de synthèse [2].

Nous avons choisi la méthode sol-gel pour préparer le pigment $\text{Zn}_{0.3}\text{Mg}_{0.2}\text{Co}_{0.5}\text{Al}_2\text{O}_4$. Cette méthode est basée sur l'acide citrique comme agent de complexation, en fait, il possède la propriété de chélater les métaux et former un complexe soluble et très stable en respectant la condition $n \text{ acide citrique} = \sum n \text{ Métaux}$.

→ Mode opératoire:

Les différents produits utilisés dans cette synthèse, avec leurs caractéristiques et propriétés, sont rassemblés dans le tableau III.1.

Tableau III. 1: Caractéristiques des précurseurs de synthèse.

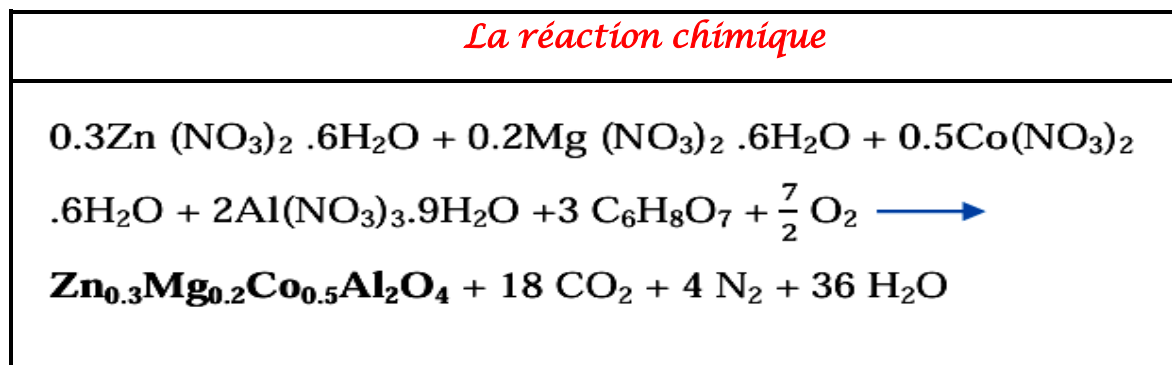
<i>Nom</i>	<i>Formule chimique</i>	<i>Masse molaire(g/mol)</i>
Nitrate de Zinc (II) hexa hydraté	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	297.46
Nitrate de magnésium (II) hexa hydraté	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	256.41

Nitrate de cobalt (II) hexa hydraté	Co (NO ₂) ₂ .6H ₂ O	291.02
Nitrate d'aluminium (III) nonahydraté	Al (NO ₃) ₃ .9H ₂ O	375.13
Acide citrique	C ₆ H ₈ O	192.12

Chaque précurseur utilisé, que ce soit les nitrates de Mg, Co, Al et de Zn ou l'acide citrique, a été d'abord dissous dans un volume d'eau distillée approprié. Puis les solutions des nitrates obtenues sont mélangées dans un seul bécher et mis dans un bain marie sous agitation continue à 80-100°C. En utilisant la burette la solution d'acide citrique ajoutée goutte à goutte au mélange des solutions des nitrates jusqu'à obtention d'un liquide visqueux (gel). Cette opération de formation de gel dur à peu près quatre heures. Ensuite le gel obtenu est placé à 100°C dans l'étuve pendant 24 heures pour éliminer l'eau résiduelle, où on obtient un xérogel qui sera broyé pendant 1 heure. La poudre obtenue est calcinée sous air dans un four à 1000°C pendant 4 heures. Finalement on obtient une poudre bleue.

La réaction chimique mise en jeu lors de la synthèse de l'oxyde par la méthode sol-gel est résumée dans le tableau III.2 et les différentes étapes de cette synthèse sont présentées sur la figure III.1.

Tableau III.2: La réaction chimique mise en jeu lors de la synthèse de l'oxydes



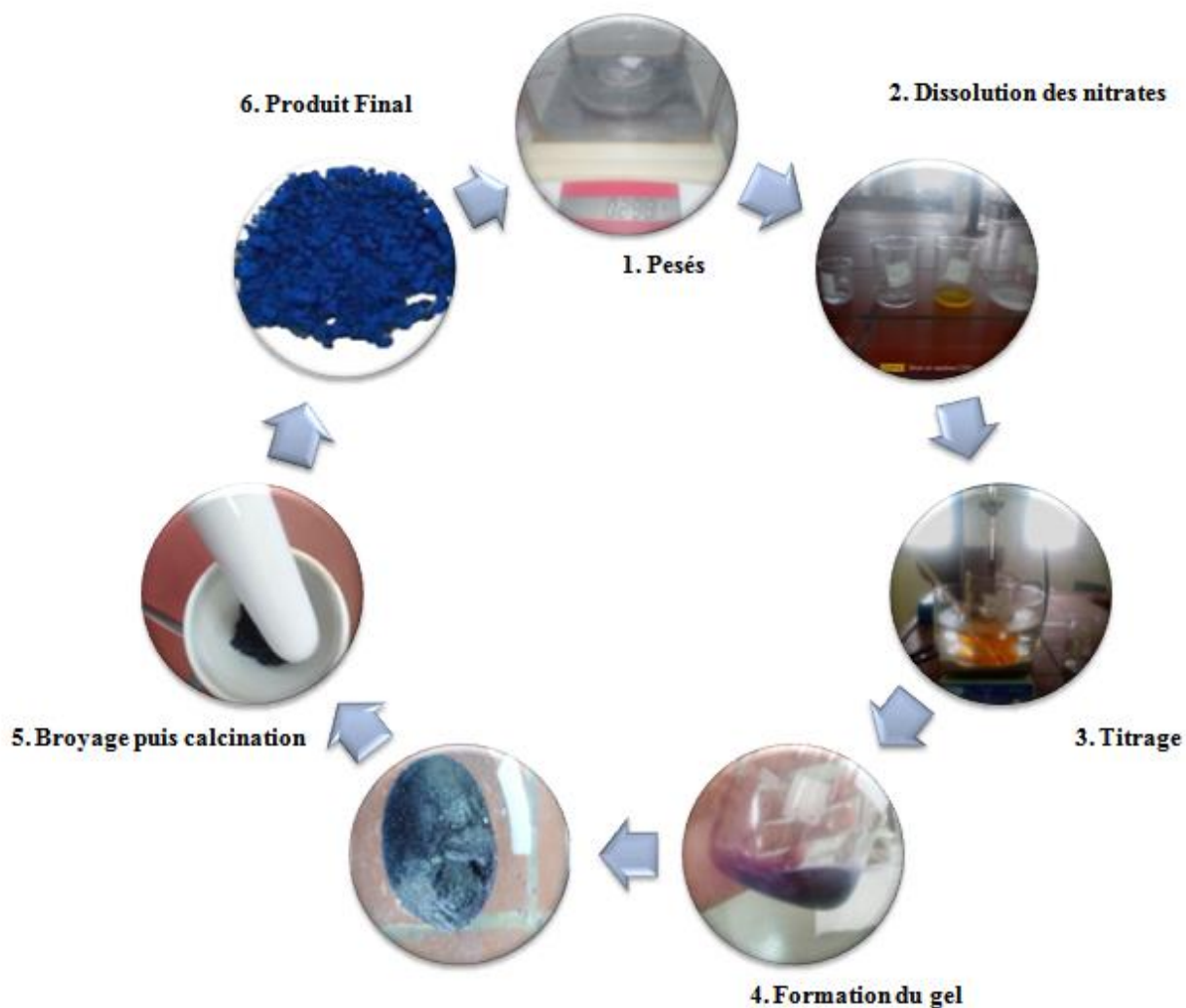


Figure III.1 : Les Etapes de synthèse du pigment $\text{Zn}_{0.3}\text{Mg}_{0.2}\text{Co}_{0.5}\text{Al}_2\text{O}_4$.

I.2. Caractérisations

Analyse par diffraction des rayons X :

La pureté de la phase a été vérifiée par l'analyse de diffraction X. Pour la mesure des profils des raies on a utilisé le système automatique de comptage point par point avec un pas de 0.02° et avec un temps d'acquisition de 40 minutes pendant un temps de comptage de 2 secondes et sur un domaine angulaire compris entre 20° et 90° .

La figure III.2 présente le diffractogramme de l'échantillon $\text{Zn}_{0.3}\text{Mg}_{0.2}\text{Co}_{0.5}\text{Al}_2\text{O}_4$ préparé par la méthode sol gel.

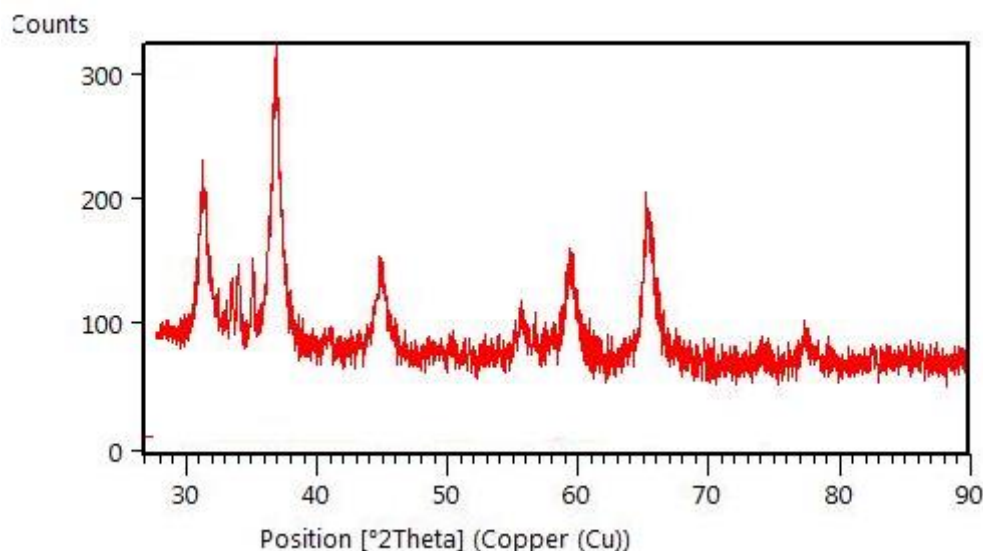


Figure III.2: Diffractogramme de l'échantillon $\text{Zn}_{0.3}\text{Mg}_{0.2}\text{Co}_{0.5}\text{Al}_2\text{O}_3$

L'analyse du diffractogramme de l'échantillon préparé a été menée en comparant les résultats expérimentaux avec la fiche ASTM N° 98-026-0586. Cette comparaison (Fig. III.3) révèle une concordance remarquable avec la structure type spinelle, caractérisée par la présence exclusive des pics attendus. Nous avons noté aussi la présence de deux pics parasites à $2\theta \sim 32^\circ$ et 35° . Ces pics sont d'intensités faibles, leurs présences est due aux quelques problèmes que nous avons rencontré au laboratoire pendant la manipulation.

Les positions angulaires théoriques des pics de diffraction ainsi que les indices des plans correspondants (hkl) sont reportés dans le tableau III.3.

Par ailleurs, l'analyse de la symétrie du réseau indique que le composé cristallise dans un système cristallin cubique, appartenant au groupe d'espace $Fd-3m$, conformément aux structures spinelles classiques. Les paramètres de maille théoriques obtenus sont présentés dans le tableau III.4.

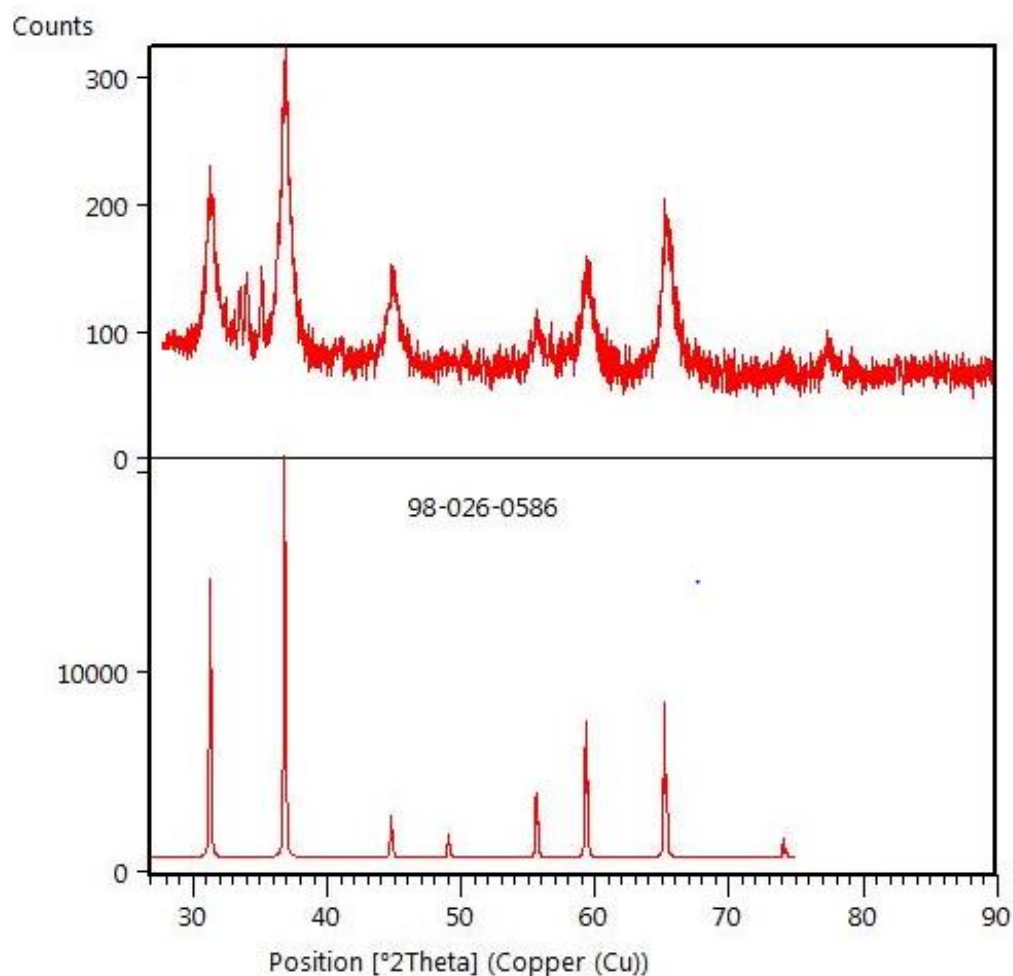


Figure III.3: Comparaison du diffractogrammes de l'échantillon $\text{Zn}_{0.3}\text{Mg}_{0.2}\text{Co}_{0.5}\text{Al}_2\text{O}_4$ avec celui de la fiche ASTM N° (98-026-0586).

Tableau III.3: Liste des pics de diffraction pour l'échantillon $\text{Zn}_{0.3}\text{Mg}_{0.2}\text{Co}_{0.5}\text{Al}_2\text{O}_4$

h	k	l	d(Å)	2Theta(°)
1	1	1	4,67250	18,978
0	2	2	2,86131	31,235
1	1	3	2,44013	36,804
0	0	4	2,02325	44,757
1	3	3	1,85666	49,024
2	2	4	1,65198	55,587
1	1	5	1,55750	59,283
0	4	4	1,43065	65,153

Tableau III.4: Paramètres cristallographiques théoriques de composé $Zn_{0.3}Mg_{0.2}Co_{0.5}Al_2O_4$

a (Å)	b(Å)	c(Å)	Alpha (°)	beta(°)	gamma(°)	Volume de maille ($10^6 pm^3$)
8,0910	8,0910	8,0910	90	90	90	529,67

II. Extraction d'une teinture textile à partir de pelures de grenade

→ Description :

L'écorce du fruit du grenadier est également appelée malicorium. Il s'agit de la partie dure du fruit, elle est coriace, brun-rougeâtre à l'extérieur, jaunâtre à la face interne, qui porte l'empreinte des graines. Elle est généralement utilisée séchée, sous la forme de morceaux brunâtres. La saveur de l'écorce de grenade est amère et astringente [3]. Depuis des milliers d'années, les propriétés astringentes de l'écorce du fruit et de l'arbre sont très prisées en médecine, particulièrement [4].

La couleur jaune de l'écorce de grande vient de ses composants tels que la punicaline, la punicalagine, les granitines A et B et les punicacortéines A, B, C et D. deux acides hydroxy benzoïques : l'acide ellagique et l'acide gallique [5] .

→ Mode opératoire:

Pour teindre 100 grammes de tissu, il est possible d'utiliser les peaux de deux grenades de taille moyenne. À savoir que les épiluchures sèches sont plus concentrées en couleur que les épiluchures fraîches :

- Couper les épiluchures en petits morceaux. Les faire macérer une nuit dans l'eau froide. Le lendemain, cuire sous l'ébullition pendant une heure.
- Puis filtrer.
- Préparer son tissu
- La teinture

Pour obtenir un tissu jaune :

- Plonger les tissus dans le bain de teinture chaud. Remuer régulièrement pour éviter les tâches et les marbrures. Cuire 1 heure sous l'ébullition.

Pour obtenir un tissu vert kaki :

- En ajoutant une pincée de sulfate de fer dans l'eau chaude, le jaune initial

devient kaki.

- Plongez le tissu dans le bain de teinture, remuez et cuire **1h** sous ébullition.
- Une fois le tissu bouilli, le retirer et le mettre dans l'eau froide pour booster la couleur [34].

Ces étapes sont résumées dans la Figure III.4.:



Figure III.4 : Les étapes de la préparation du colorant textile et de la teinture d'un tissu.

III. Extraction et caractérisation de la chlorophylle (pigment naturel)

II.1 Extraction de la chlorophylle

a. Description :

La chlorophylle de part sa couleur verte, est le principal pigment contenu dans les plantes. Elle se trouve dans les chloroplastes des cellules végétales. Elle est indispensable pour l'activité photosynthétique de la plante qui consiste à produire de l'énergie chimique (ATP) à partir de l'énergie lumineuse du soleil. En effet la lumière du soleil est captée par la chlorophylle.

On distingue plusieurs formes de chlorophylles (a, b, c, d et f) qui n'ont pas la même structure chimique. Les plus courantes sont les chlorophylles A et B que l'on retrouve chez les plantes supérieures et chez les algues[6] comme les épinards d'où nous allons l'extraire.

En chimie organique il existe différentes méthodes et techniques chimiques pour préparer ou extraire les composés souhaitables. Parmi toutes ces méthodes nous avons choisis la méthode d'extraction solide- liquide (extraction par solvant), cette méthode et l'une des meilleures et des plus simples pour l'extraction des composés de la plante d'origine.

b.Principe :

Nous rappelons que nous avons choisi la technique d'extraction par deux solvants

Extracteurs : l'éthanol absolu et le dichlorométhane. Les feuilles de la plante sont mises en contact avec de l'éthanol absolu qui va les léser mécaniquement et va détruire les membranes des cellules dans le but d'en extraire les organites (les lipides et les lipoprotéines sont solubles dans l'éthanol). Le broyat ainsi obtenu est filtré et la chlorophylle est extraite grâce au dichlorométhane, solvant d'extraction. Après une seconde filtration, le filtrat est évaporé afin de garder uniquement les pigments de la chlorophylle[7] .

c. Mode opératoire :

- Peser 10g de feuilles d'épinard dans un bécher et les hacher grossièrement à l'aide d'une paire de ciseaux.

- Placer les feuilles hachées dans un mortier et les broyer, avec du sable (qui facilite le broyage) et 10ml d'éthanol absolu, jusqu'à ce que le solvant prend une teinte verte marquée.
- Filtrer le broyat dans un erlenmeyer à l'aide d'un papier filtre.
- Récupérer la pulpe dans le papier filtre et la placer dans un bécher. Ajouter 12ml de dichlorométhane et agiter pendant deux minutes.
- Filtrer à nouveau le mélange de la même manière que précédemment et récupérer le filtrat. Le filtrat (le liquide) obtenu doit être d'un vert limpide.
- Séparer le filtrat en deux : l'un servira à la CCM.
- Faire évaporer l'autre filtrat en utilisant l'évaporateur rotatif. Il servira à la chromatographie sur colonne.
- On obtient de la chlorophylle pure collée au fond de l'erlenmeyer.

Les étapes de cette extraction sont présentées dans la figure III.5

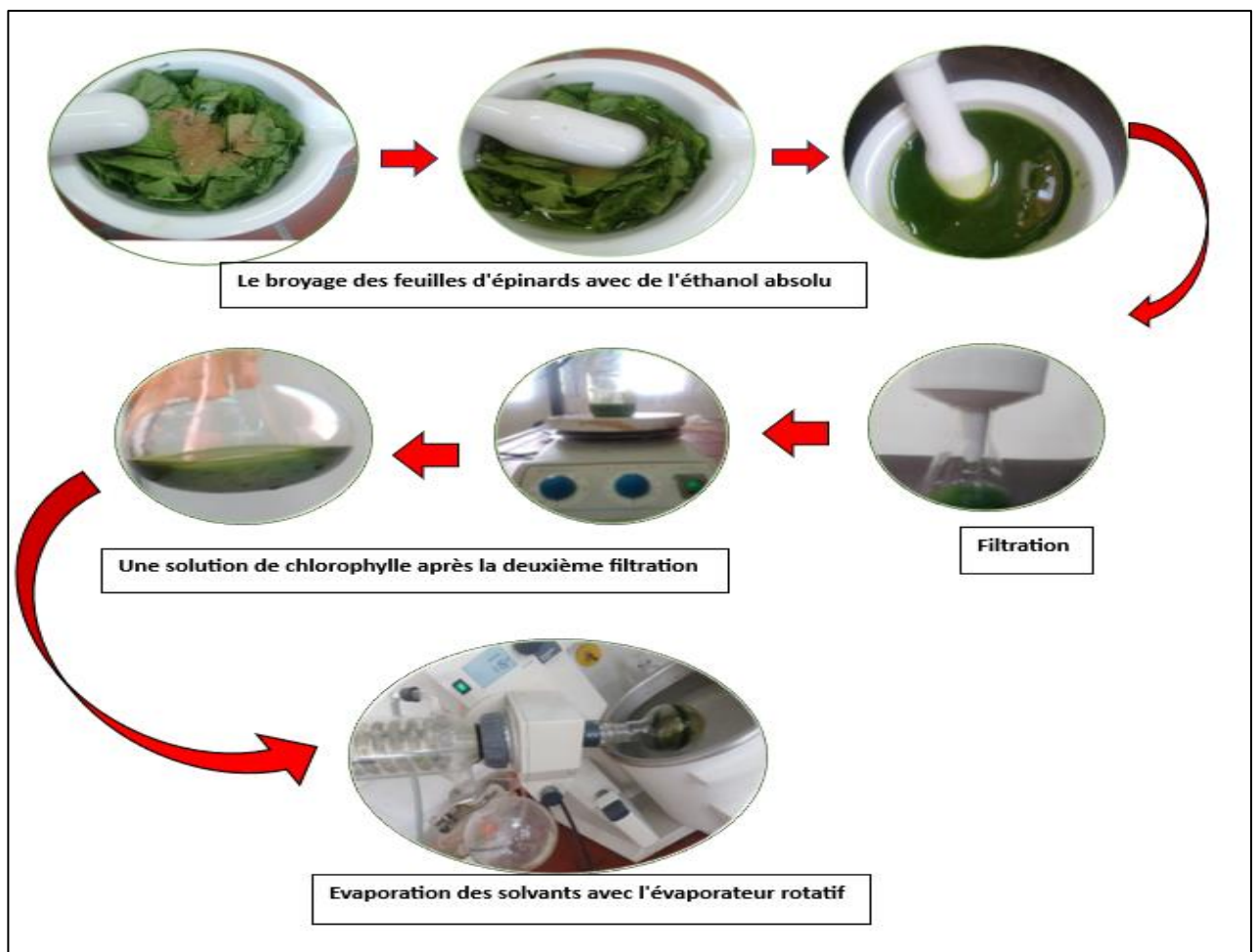


Figure III.5 : Les étapes de l'extraction de chlorophylle.

III.2. Caractérisations de chlorophylle

1. Par chromatographie sur couche mince (CCM) :

La chromatographie sur couche mince (CCM) repose sur la séparation des composés d'un mélange en fonction de leur affinité avec la phase stationnaire et la phase mobile. La phase stationnaire est généralement une couche mince de silice, d'alumine ou de cellulose, tandis que la phase mobile est un solvant ou un mélange de solvants [8] .

→ Protocole expérimentale :

a. Préparation de la cuve : L'atmosphère de la cuve doit être saturée en vapeur d'éluant. Ceci impose d'avoir une cuve bien fermée et préparée à l'avance.

Dans une éprouvette graduée de 100ml on verse, sous la hotte, 10ml d'éluant qui est composé de 40% de solvant apolaire (éther de pétrole) et 60% de solvant polaire (éther di éthylique).

b. Préparation de la plaque chromatographique :

- Découper avec un cutter, une plaque de silice (5 cm x 3 cm).

- Tracer au crayon sans appuyer, une ligne (ligne de dépôt), à 1cm du bord inférieur de la plaque.

- Marquer légèrement au crayon sur cette ligne une croix qui est l'emplacement du dépôt.

c. Dépôt de l'échantillon :

- A l'aide d'une pipette pasteur ou d'un tube capillaire, prélever une goutte d'extrait vert, la déposer à l'emplacement marqué.

- Laisser sécher avant d'effectuer un nouveau dépôt.

- Effectuer une dizaine de dépôts au même endroit, en laissant sécher entre chaque dépôt.

d. Elution :

Lorsque les dépôts sont secs, introduire la plaque verticalement dans la cuve (la ligne de dépôt ne doit pas tremper dans l'éluant). Refermer la cuve à l'aide de la boîte à pétri et la mettre à l'obscurité. Au cours de l'élution, l'éluant migre sur la plaque en imprégnant la silice. Une fois que la migration est terminée, on obtient plusieurs tâches colorées sur la plaque de silice correspondantes aux différents composants de la chlorophylle. Retirer la

plaque de la cuve avec des pinces, lorsque le front du solvant est à 1 cm du bord supérieur de la plaque. Repérer le front du solvant au crayon. Laisser l'éluant s'évaporer sous la hotte.

e. Révélation (développement du chromatogramme) :

Observer le chromatogramme et entourer au crayon, les différentes tâches colorées qui apparaissent. Les étapes de ce protocole expérimental sont présentées dans la figure III.6.

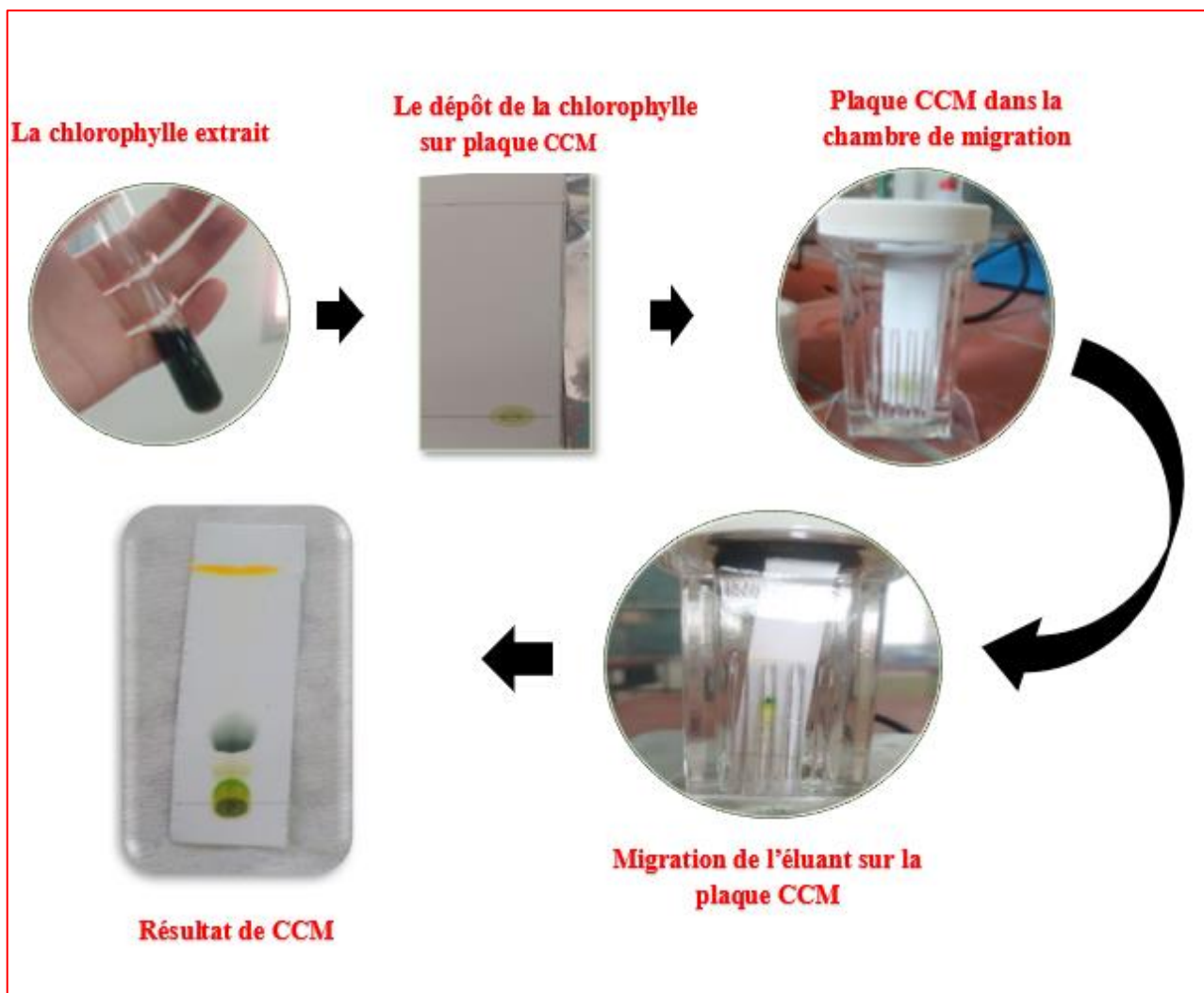


Figure III.6: Les étapes de l'analyse par CCM.

f. Analyse du chromatogramme :

Nous remarquons sur la plaque CCM l'apparition de 4 taches qui indiquent 4 sortes de pigments (Fig. III. 7), nous avons du haut vers le bas : Carotène, chlorophylle A, Chlorophylle B et Xanthophylle.

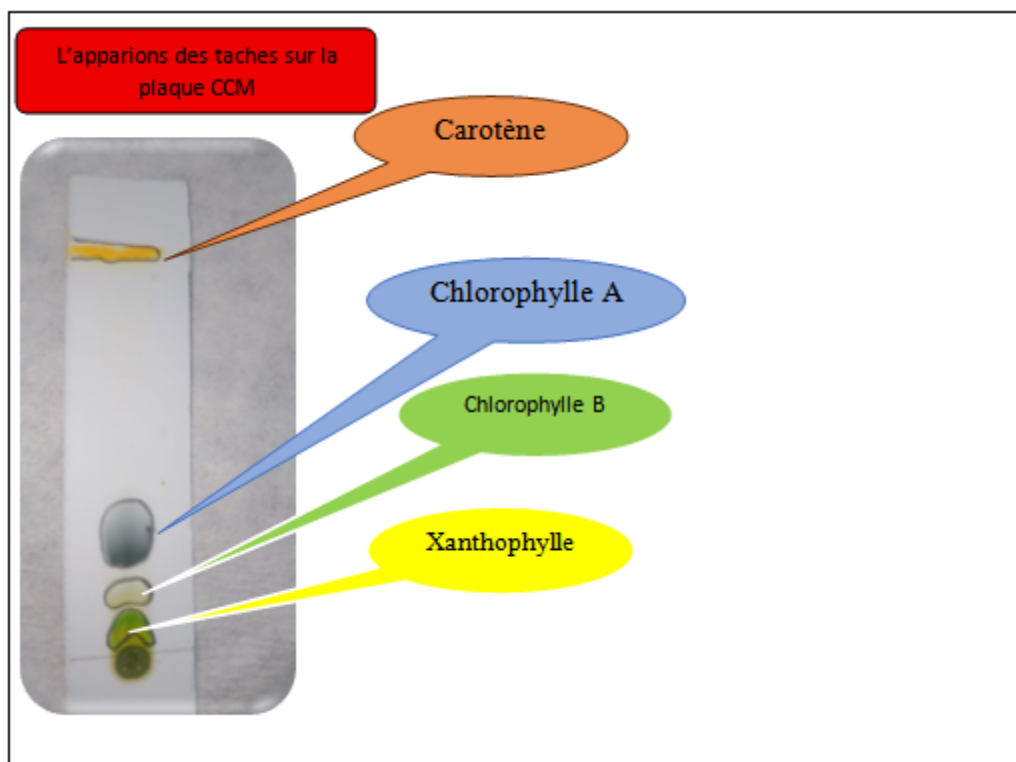
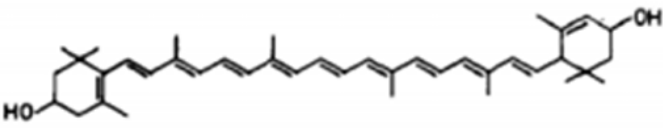
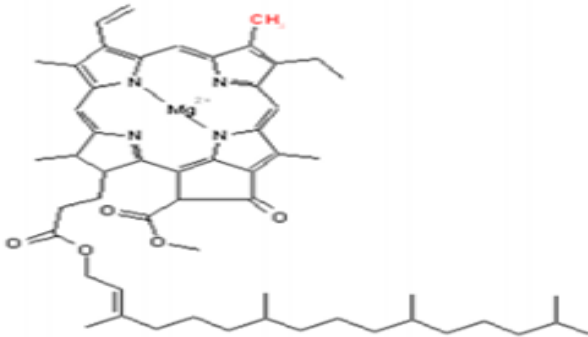
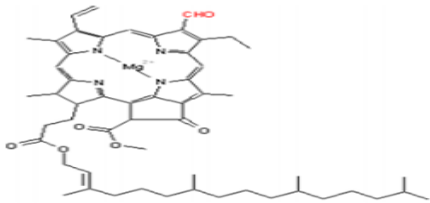


Figure III.7 : Résultat du CCM.

Ces résultats ainsi obtenus, qui sont en accord avec la littérature [9, 10], sont discutés dans le tableau III.5.

Tableau III.5: Discussion des résultats de CCM.

Carotènes (jaune Orange) : très peu polaires	De la famille des Caroténoïdes essentiellement hydrocarbonés. Leurs structures ne comportent pas d'atomes d'oxygène, donc ils ne sont pas retenus par le support solide
--	--

Xanthophylles (jaune) : polaires.	 Caroténoïdes modifiés par un groupement fonctionnel oxygéné. Ils comportent des atomes d'oxygène généralement sous forme de fonction alcool. Ils sont polaires puisqu'ils comportent de nombreux atomes d'oxygènes qui vont pouvoir se lier avec les groupements hydroxyles (-OH) du support solide.
Chlorophylle A (vert bleu) : peu polaire.	
Chlorophylle B (vert Jaune) : moyennement Polaire	 La chlorophylle B se différencie de la chlorophylle A par la présence d'un groupement aldéhyde (-CHO) au lieu d'un méthyle (CH₃) sur le noyau de chlorine. La chlorophylle B est donc plus polaire et plus retenue par le support solide que la chlorophylle A.

2. Par chromatographie liquide sur colonne (CLC)

→ Principe :

La deuxième méthode que nous avons adoptée pour séparer et isoler les différents constituants de la chlorophylle était la chromatographie liquide sur colonne.

La chromatographie sur colonne est une méthode permettant de séparer les constituants d'une solution. C'est une séparation liquide-liquide. Dans la chromatographie sur colonne il y a toujours une phase mobile et une phase stationnaire.

La phase stationnaire : Cette phase est composée le plus souvent de silice ou de gel de silice qui est fixé dans la colonne. Elle va permettre de retenir plus ou moins l'éluant sur la phase mobile.

La phase mobile : La phase mobile est constituée de l'éluant qui va servir à entraîner la solution en bas de la burette au contact de la phase stationnaire. C'est la polarité ou non de l'éluant suivant la phase stationnaire qui va déterminer le temps de la colonne.

→ **Le protocole expérimental [7]**

a. Préparation de la colonne :

- Préparez 400 ml d'éluant : mélange de solvants éther de pétrole/éther d'éthylque (60/40 en volume)
- Fixez la colonne (burette) en deux points à un support fixe et la remplir avec du gel de silice sur environ 20 cm de hauteur
- Vider la colonne dans un bécher de 400 ml et la replacer sur son support
- Ajouter environ 10 cm de l'éluant et chassez les bulles d'air en tapotant légèrement la colonne à l'aide d'un objet quelconque en caoutchouc.
- Ajouter environ 200 ml d'éluant dans le bécher contenant le sable. Bien agiter pour obtenir un gel un peu visqueux et le verser doucement dans la colonne
- Rajouter si besoin de l'éluant dans la colonne de façon à ce que le haut de la couche de sable ne soit jamais sec. Laisser environ 2cm de solvant au-dessus du gel de silice
- Déposer doucement environ 1cm de sable grossier sur le gel de silice
- Laisser le solvant s'écouler jusqu'à atteindre la couche de sable grossier.

b. Dépôt de l'échantillon :

- Prélever la solution d'extrait d'épinard dans le dichlorométhane à l'aide d'une pipette et la déposer goutte à goutte sur tout le pourtour interne de la paroi.
- Laissez s'écouler un peu de solvant pour faire pénétrer l'extrait dans le sable.

c. Elution:

- Rajoutez à la pipette de l'éluant propre. Laisser couler le solvant en rajoutant régulièrement de l'éluant en haut de colonne afin que celle-ci ne soit jamais sèche.
- Observez les couleurs qui semblent avancer sur le gel de silice
- Récupérer les différentes fractions, en fonction de la couleur, dans des tubes en verre.

Il faut bien noter que le suivi de l'élution de chaque pigment chlorophyllien se fait visuellement en suivant la séparation de chaque couleur lors des différentes éluions.

Toutes ces étapes sont résumées sur la figure III.8.

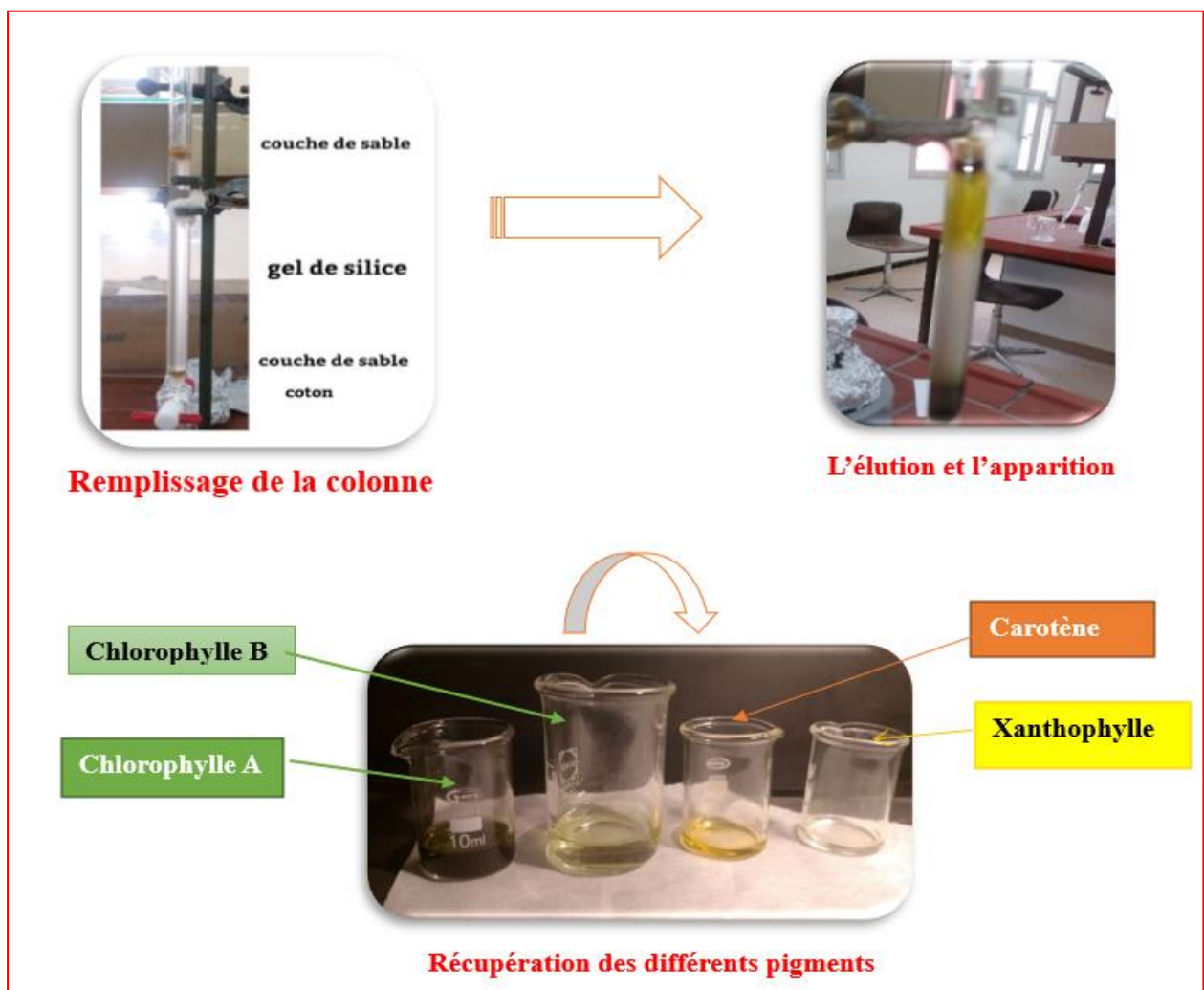


Figure III.8 : Les étapes du protocole CLC.

IV. Synthèse et caractérisation du bioplastiques

IV.1. Synthèse de bioplastique

Les plastiques à base de pétrole ont de plus en plus d'effets néfastes. En effet, ils posent un problème de pollution dû à leur dégradation extrêmement lente et ils ont des impacts nocifs sur la faune et sur notre vie en général. Pour essayer de contrer ce phénomène, des bioplastiques ont été développés. Nous avons tenté, nous aussi, de créer un bioplastique pour pouvoir apporter une alternative aux plastiques traditionnels [11].

→ Les bioplastiques :

Peuvent être définis comme les matériaux qui sont biosourcés et ou biodégradables. Les bioplastiques sont des nouveaux matériaux, d'un grand intérêt du 21^{ème} siècle, leurs productions et leurs consommations sont en développement à travers le monde. Ces matériaux nécessitent d'être soigneusement évalués pour la gestion des déchets et la durabilité. Généralement, les bioplastiques sont fabriqués à partir de ressources renouvelables telles que le maïs, les sucres, les pommes de terre...etc [12].

→ Mode opératoire [13] : La fabrication se fait en plusieurs étapes

a. Préparation du mélange de base :

- Peser 2,5 g d'amidon.
- Ajouter 20 ml d'eau distillée à l'amidon en agitant pour assurer une bonne dissolution et dispersion.

b. Ajout du plastifiant :

- Ajouter 2 ml de glycérol (solution à 50 % dans l'eau distillée).
- Agiter continuellement pour garantir une bonne distribution du glycérol dans le mélange.

c. Ajout de l'HCl pour la dissociation de l'amidon :

- Ajouter 3 ml d'acide chlorhydrique (HCl) à une concentration de 0,1 mol/L. L'acide aide à la dissociation de l'amidon, rendant le mélange plus homogène.

d. Chauffage du mélange : Chauffer le mélange à 90°C pendant 15 à 20 minutes en agitant à l'aide d'une tige en verre. Le mélange doit se transformer en un gel visqueux.

e. Réduction de la viscosité avec NaOH :

- Ajouter 1 ml de NaOH (solution à 0,1 mol/L) pour réduire la viscosité du gel et améliorer la fluidité du mélange.

f. Moulage et séchage :

- Verser le mélange dans une boîte de Pétri.
- Sécher le film obtenu dans une étuve à 90-100°C pendant 1 heure pour éliminer l'excès d'eau et obtenir un film solide. Toutes ces étapes sont résumées sur la figure III.9.

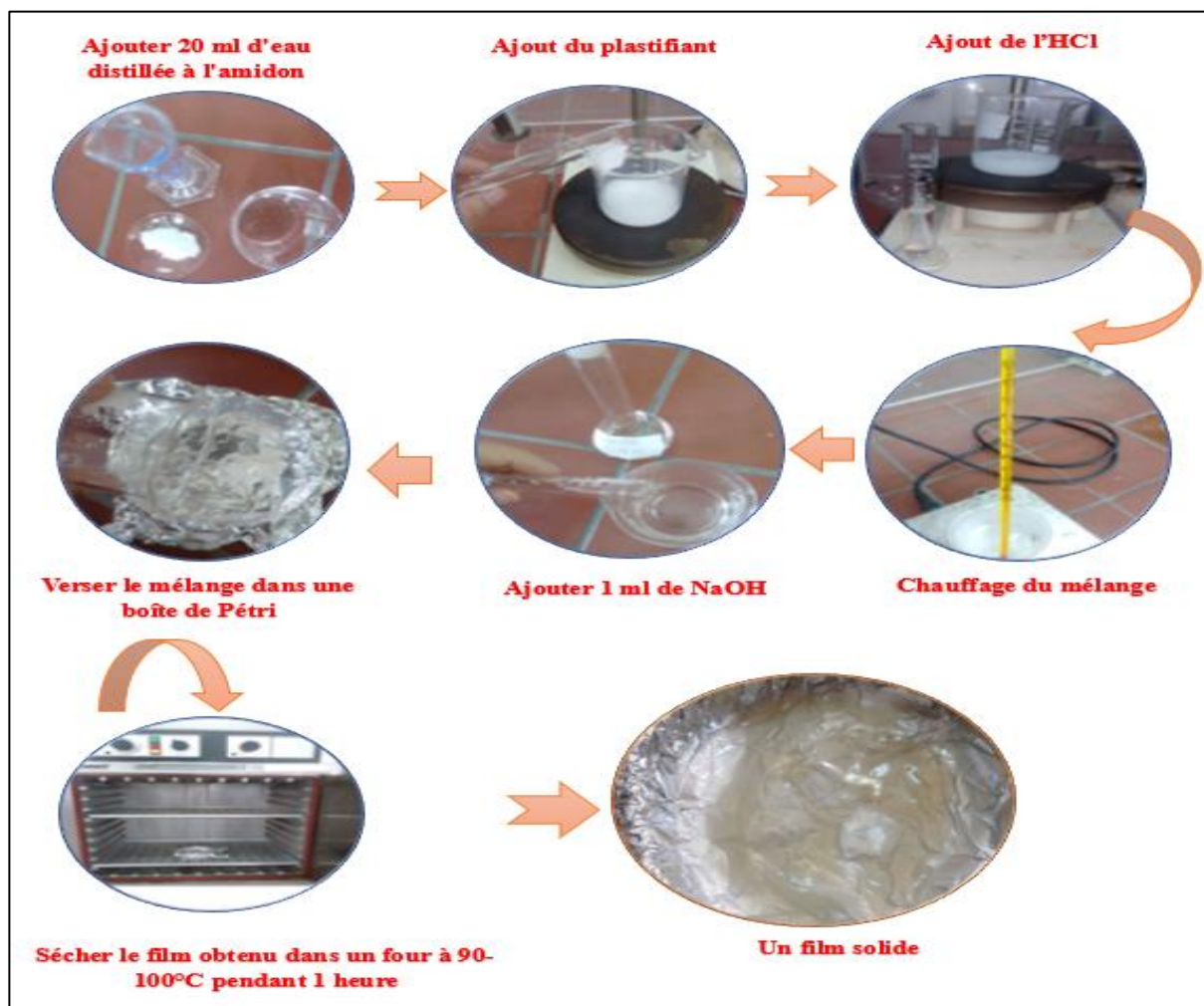


Figure III.9 : Schéma descriptive représentant les différentes étapes de la production du bioplastique.

Remarque : nous avons essayé de caractériser le bioplastique avec l'IR, mais le résultat n'était pas convainquant ceci peut être dû à une erreur de mesure.

V. Synthèse et caractérisation de biodiesel

V.1. La synthèse du biodiesel

→ Description :

Les huiles alimentaires commercialisées en Algérie sont généralement produites à partir de plusieurs sources différentes, telles que les graines de tournesol, d'olive, de soja, de maïs, de colza et de palme. La composition exacte de chaque huile peut varier en fonction de la source des matières premières, du processus de production et des additifs utilisés [14].

Dans ce travail, nous utiliserons Oléor, qui est une huile contenant 100 % de soja.

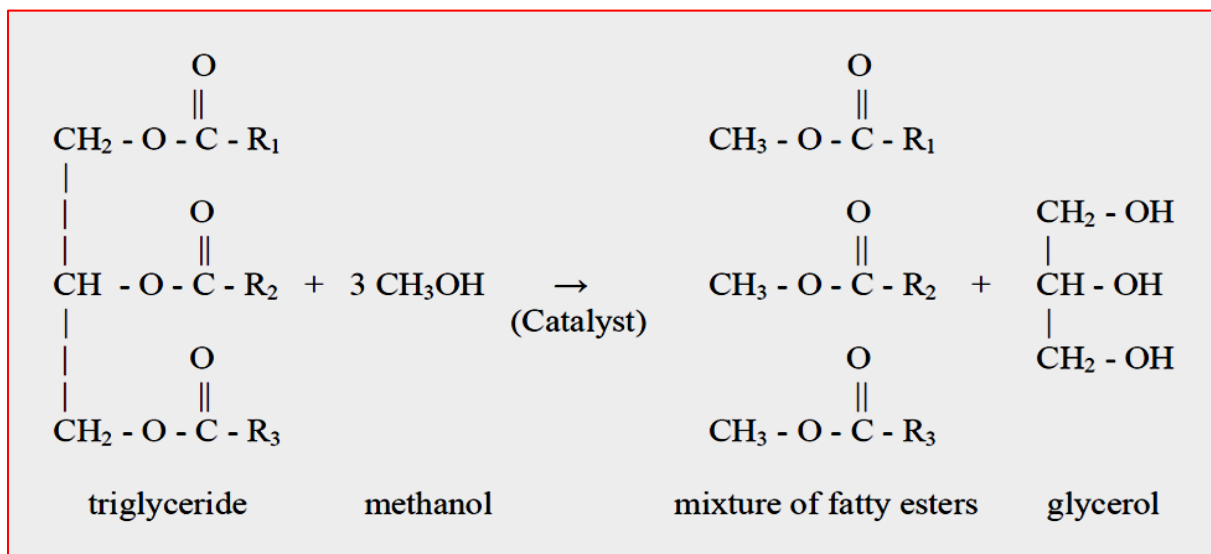
L'huile de soja : est fluide et d'un jaune plus ou moins foncé suivant la nature des graines et les procédés d'extraction. Fraîche, elle a une saveur assez prononcée de haricot qui s'atténue peu à peu. Elle est riche en acides gras polyinsaturés et notamment en acide gras essentiel alpha linoléique. Elle est recommandée pour les assaisonnements. Sa richesse en lécithine la rend précieuse pour la reconstitution des cellules nerveuses et cérébrales. En effet, les lécithines participent au transport des esters de cholestérol, des sels biliaires et des lipoprotéines. On la recommande aux personnes nerveuses et aux diabétiques. Sa bonne digestibilité en fait une bonne remplaçante de l'huile d'olive pour ceux qui ne peuvent la tolérer [14].

→ Principe de la réaction de transestérification :

La transestérification ou alcoololyse est la réaction chimique qui permet d'obtenir du biodiesel, soit le passage de l'huile végétale aux esters alkylés d'huile végétale usagée. La transestérification est le processus de mélange d'huiles végétales usagées avec des alcools (éthanol ou méthanol) en présence de catalyseurs qui sont des acides ou des bases de Bronsted et/ou de Lewis. Si l'alcool est du méthanol, il y a méthanolyse, et si l'alcool est de l'éthanol, il y a éthanolyse. La réaction globale produit 3 moles d'ester et 1 mole de glycérol à partir de 1 mole de triglycéride [15].

→ Equation de la réaction de transestérification :

Cette réaction de transestérification est régie par l'équation bilan ci-dessous suivante : **[16]**.



→ **Mode opératoire [17] :**

-**Matériels et produit :** Le matériel et les produits utilisés sont illustré dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.6: Matériels et produits.

<i>Matériels</i>	<i>Produits utilisés</i>
• 2 ballons • Chauffe ballon • Colonne à reflux • Réfrigérant • Ampoule à décanter 250ml • Éprouvette 100ml • Éprouvette 25ml • Densimètre (densité de 0,800 à 0,900) • Entonnoir • Matériel de protection : blouse, lunettes et gants	• 100ml d'huile de SOJA • 25ml d'éthanol • Acide sulfurique à 95% : catalyseur pour faciliter et accélérer la réaction • Pierre ponce : pour limiter l'ébullition lors de la transformation et maintenir le reflux constant

→ **Expérience :**

1. Verser 100ml d'huile de SOJA dans l'éprouvette de 100ml.
 2. Verser 25ml d'éthanol dans l'éprouvette de 25ml.
 3. A l'aide d'un entonnoir, verser le SOJA et l'éthanol dans un ballon. Puis ajouter quelques gouttes d'acide sulfurique et de la pierre ponce.
 4. Mettre le ballon sur la chauffe ballon et le visser à la colonne à reflux.
 5. Chauffer pendant environ une heure, attendre ensuite que ça refroidisse puis verser le liquide dans une ampoule à décanter en laissant la pierre ponce dans le ballon.
 6. Laisser reposer le mélange au minimum deux jours.
 7. On obtient trois phases (de haut en bas) :-éthanol en excès, biodiesel supposé, glycérol
 8. Extraire le glycérol.
 9. Verser le mélange d'éthanol et de biodiesel dans un second ballon.
 10. Puis mettre le ballon sur le chauffe ballon et le visser au réfrigérant. La température d'ébullition de l'éthanol est de 78°C alors que celle du biodiesel est de plus de 200°C.
 11. Ainsi à l'aide d'un thermomètre on regarde la température des vapeurs au sommet du réfrigérant. Lorsqu'il indique 78°C l'éthanol s'évapore.
 12. Après évaporation de l'éthanol il n'y a plus de vapeurs donc le thermomètre redescend en température. A ce moment on sait qu'il n'y a plus que du biodiesel et l'éthanol est récupéré dans un erlenmeyer.
 14. Laisser refroidir le biodiesel et le verser dans une éprouvette de 100ml.
- Toutes ces étapes sont résumées sur la figure III.10.

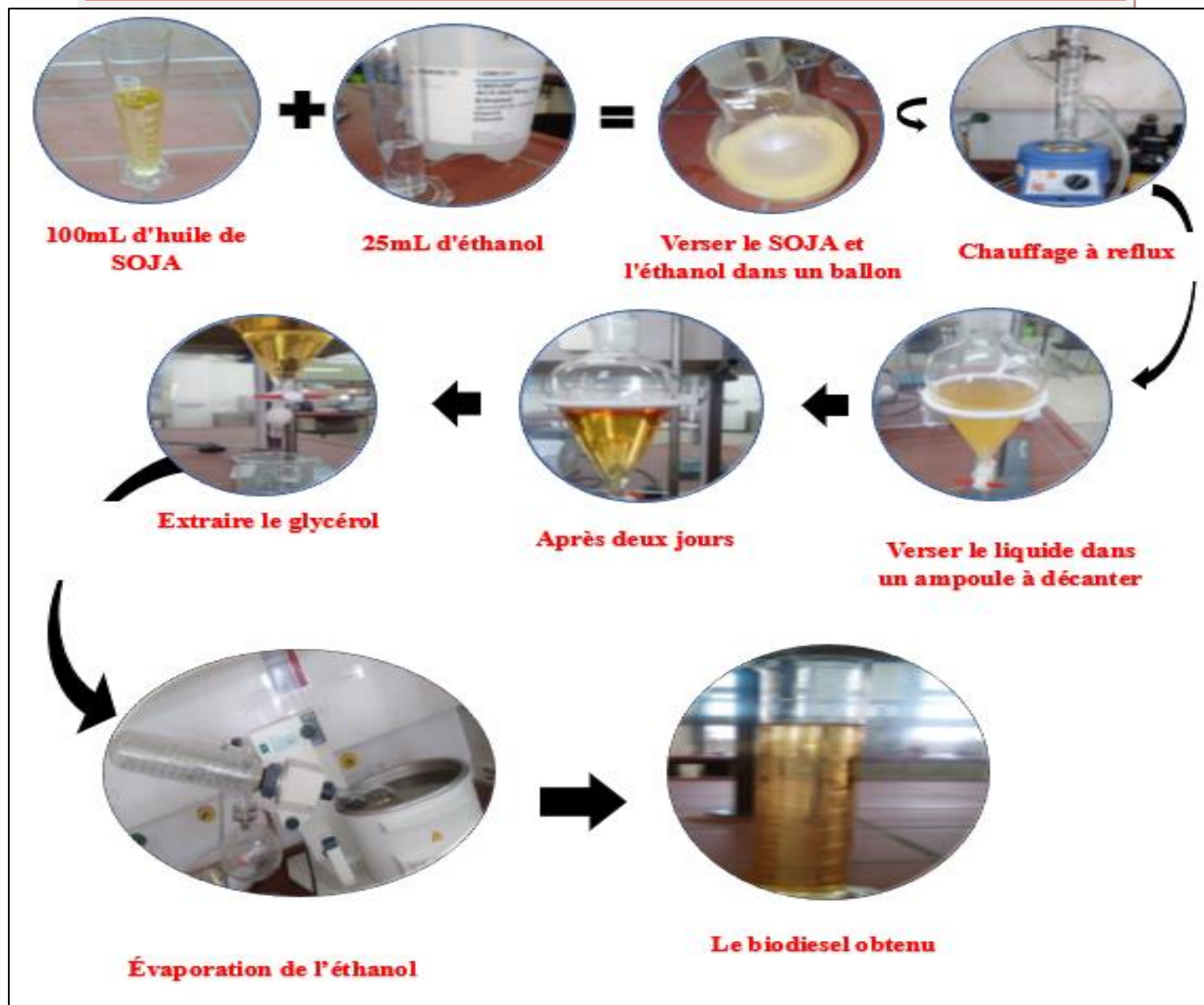


Figure III.10: Schéma descriptive représentant les différentes étapes de la synthèse du biodiesel.

V.2. Caractérisations du biodiesel

Pour conclure notre expérience, nous avons identifié le biodiesel obtenu en comparant sa densité à celle du biodiesel pur. Nous avons introduit délicatement un densimètre dans l'échantillon de biodiesel (Fig. III.11), et celui-ci s'est stabilisé à une valeur de 0,850. Or, la densité théorique du biodiesel issu d'huile de soja est d'environ 0,880. Nous constatons donc une différence de 0,030, soit un écart de 3 %. Cette légère variation peut s'expliquer par plusieurs facteurs : la qualité ou l'origine de l'huile de soja utilisée, la présence de traces d'impuretés, ou encore des différences dans la composition en acides gras. De plus, certains paramètres expérimentaux, comme la température ambiante ou la précision du densimètre, peuvent également influencer la mesure.

Malgré cet écart minime, la densité mesurée reste très proche de la valeur attendue. Cela confirme que le produit obtenu est bien du biodiesel. Ainsi, notre expérience est une réussite : nous avons fabriqué du biodiesel à partir d'huile de soja et d'éthanol.

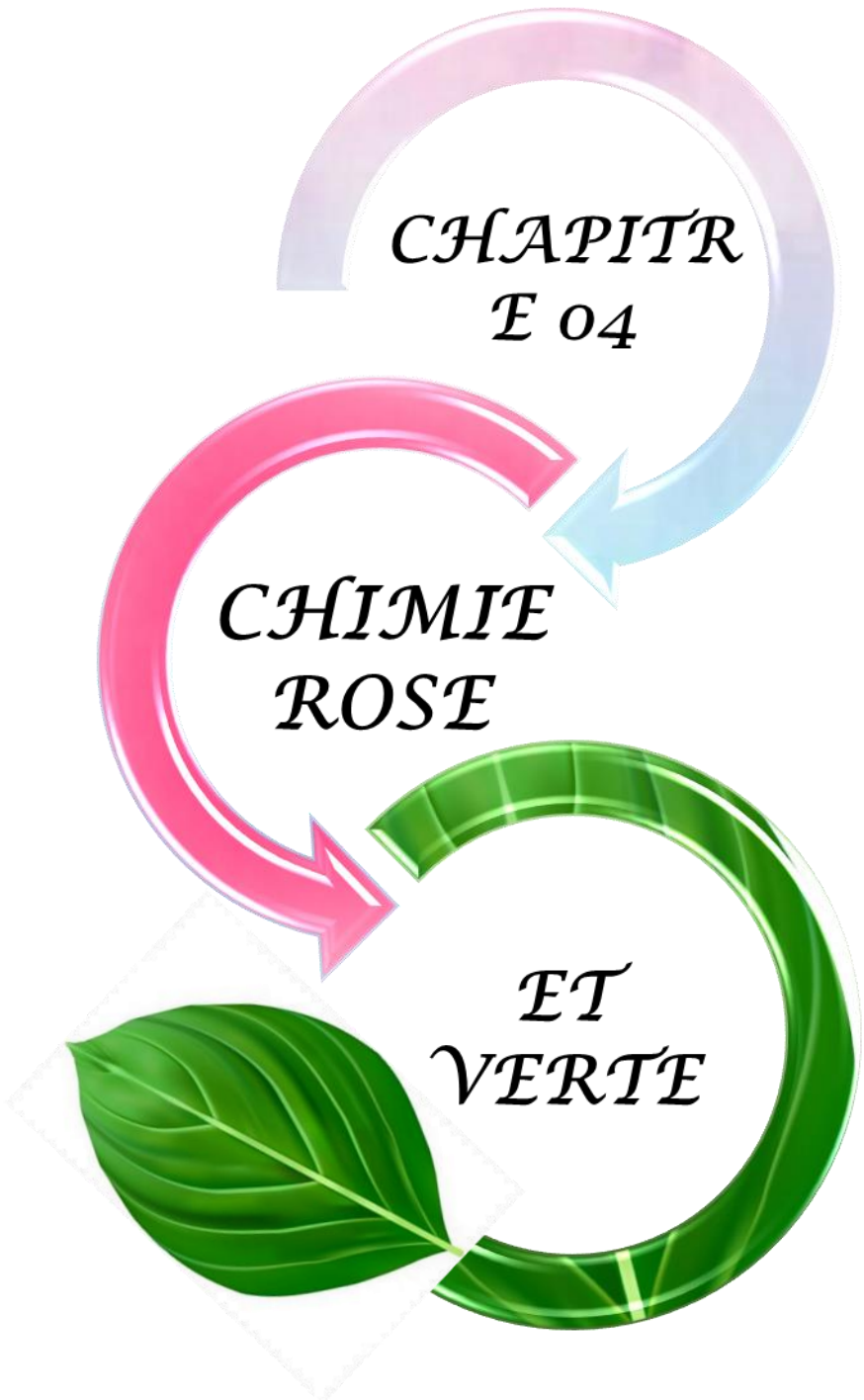


Figure III.11: Identification du biodiesel par mesure de densité.

Référence bibliographique

- [1] Akovali, G. (2007). *Plastics, rubber and health*. Smithers Rapra Technology.
- [2] Tibermachine, W. (2019). *Étude structurale et propriétés des oxydes de structure spinelle $Ni_{1-x}Fe_xAl_2O_4$* (Doctoral thesis, Université Mohamed Khider de Biskra).
- [3] Planchon, G. (1875). *Traité pratique de la détermination des drogues simples d'origine végétale*. G. Masson, Éditeur.
- [4] Melgarejo, P. (1993). *Selección y tipificación varietal de granado (Punica granatum L.)* [Thèse de doctorat, Universidad Politécnica de Valencia].
- [5] (s.d.). [Teinture végétale à base d'épluchures de grenade - EscapeTheCity](#)
- [6] Cère, F., Burgat, A., & Scotto, P. (2014, mars). *Extraction et séparation de la chlorophylle* (Rapport de stage, BTS Anabiotech Auzeville). Document PDF consulté le 13 mai 2025.
<https://physiquechimie-ea.ensfea.fr/wp-content/uploads/sites/10/2016/10/chlorophylle.pdf>
- [7] Ben Ibrahim, M., & Nouioua, N. (2020). *Synthèse et caractérisation de quelques pigments organiques et inorganiques* (Mémoire de Master, Université Mohamed Khider de Biskra), pp. 102–112.
- [8] LMGL. (n.d.). *Chromatographie en couche mince : Techniques et applications en chimie*. Consulté en mai 2025. [Chromatographie en couche mince : Techniques et applications en chimie](#)
[LMGL](#)
- [9] Boulekras, N. (n.d.). *Chromatographie de pigments verts*.
- [10] Scotto, P., Burgat, A., & Céré, F. (2014). *Approche expérimentale de l'extraction de la chlorophylle*.
- [11] Argun, S., et al. (2021). *Synthèse de bioplastiques à base de lait – Projet de communication scientifique*. Printemps des Sciences 2021, Université Libre de Bruxelles, Faculté des Sciences, Département de Chimie.
- [12] Boudjella, S., & Lahrech, N. E. H. (2017). *Valorisation du déchet de pomme de terre pour la préparation de films plastiques biodégradables à base d'amidon* (Thèse, Université de Blida 1), p. 3.

- [13] Hachani, H. S. (2019). Étude de la dégradation d'un bioplastique renforcé par une charge minérale (Mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra, Faculté des sciences et de la technologie, Département de chimie industrielle).
- [14] Biodiesel. (S.d.). Dans HiSoUR. Consulté le 11 mai 2025, depuis [Biodiesel – HiSoUR Art Culture Histoire](#).
- [15] Ramadhas, A. S., Jayaraj, S., & Muraleedharan, C. (2004). Use of vegetable oils as I.C. engine fuels – A review. *Renewable Energy*, 29, 727–742.
- [16] Fernando, S., Karra, P., & Hernandez, R. (2007). Effect of incompletely converted soybean oil on biodiesel quality. *Energy*, 32(5), 844–851.
- [17] La synthèse du biodiesel. (S.d.). Consulté [II. 2\) La synthèse du biodiesel](#).



CHAPITRE
04

CHIMIE
ROSE

ET
VERTE

Introduction

Ce chapitre constitue la suite de la partie expérimentale de notre travail, en s'intéressant à la préparation et à la caractérisation de composés liés à la chimie rose et à la chimie verte.

Dans le cadre de la chimie rose, qui englobe les domaines liés à la santé, à l'alimentation et au bien-être, plusieurs composés tels que l'aspirine, le savon et la caféine ont été synthétisés.

Quant à la chimie verte, l'oxyde ZnO a été synthétisé à partir d'une source végétale, en suivant une approche respectueuse de l'environnement.

A. La chimie rose

I Synthèse et caractérisation de savon

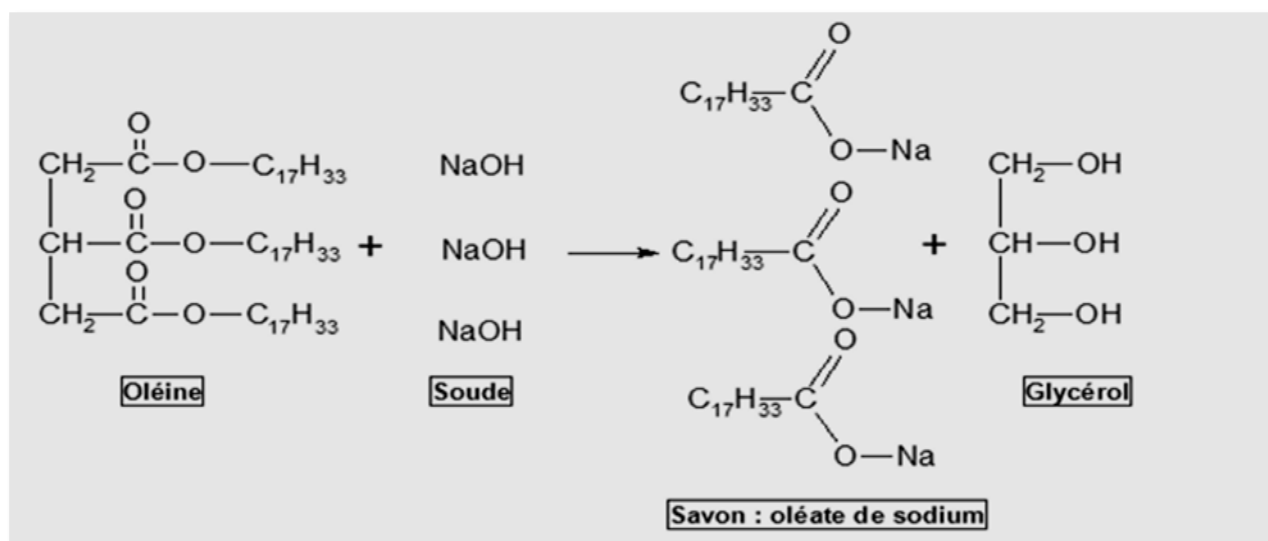
I.1 Synthèse de savon

→ Description :

Les savons sont bien connus au moins depuis deux millénaires avant notre ère, les phéniciens le fabriquaient déjà à partir d'huile d'olive et de soude, cette dernière obtenue à partir de cendres de végétaux, notamment de lauriers. Ils l'exportaient sur tout le bassin méditerranéen [1].

Le terme savon est généralement attribué aux sels sodiques ou potassiques d'acide carboxylique à chaîne carbonée, ce sont en fait des mélanges de carboxylates, dérivés d'acides gras à longue chaîne de 10 à 20 atomes de carbone. On le fabrique le plus souvent par une réaction de saponification qui fait intervenir un ester (RCOOR') et une base (souvent NaOH, KOH) [2].

La saponification est définie comme la réaction entre un alcali (la lessive) et un corps gras (huile ou graisse). Les composés formés sont le savon et la glycérine ou le glycérol. La réaction de saponification (Fig. IV.1) des triglycérides peut se décomposer en deux parties. La première est une réaction d'hydrolyse qui donne les acides gras et de la glycérine, la seconde est une réaction de neutralisation par la soude des acides gras formés dans la première réaction[3] . On donne ci-dessous la réaction de synthèse d'un savon [4].



FigureIV.1: Réaction de saponification.

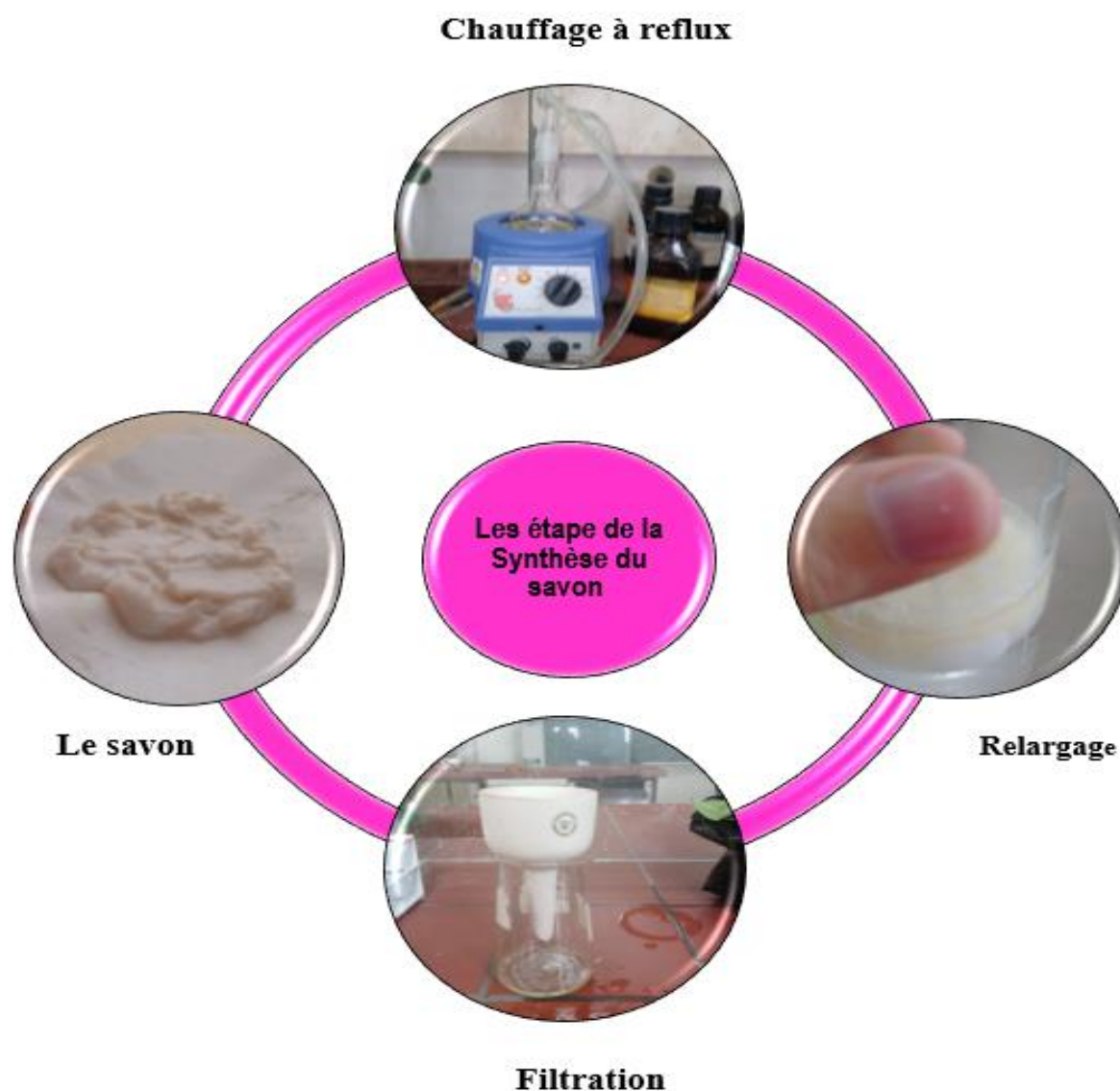


Figure IV .2 : Illustration expérimentale des étapes de la synthèse du savon.

I.2. Analyses effectuées sur le produit final

a. Détermination du pH de savon :

Pour la mesure du pH, on prépare une solution aqueuse par l'ajout de 2g de savon synthétisé dans 30 ml d'eau distillée. L'ensemble est soumis à une agitation constante pendant 2 minutes ; à l'aide d'un agitateur. Le pH est ensuite déterminé à l'aide d'un pH mètre [5].

Le pH de savon préparé après séchage de six semaines est **7,02** donc il est neutre et dans les normes.

b. Mesure du pouvoir moussant [5-6-7]:

Le pouvoir moussant du savon dans différents milieux (Fig. IV. 3) est estimé par la mesure de taux de mousse formée dans chaque milieu par rapport à un témoin (eau distillée) selon la formule suivante :

$$\text{Taux de mousse [TM(\%)]} = \frac{\text{Hauteur de mousse}}{\text{Hauteur de mousse témoin}} \times 100$$

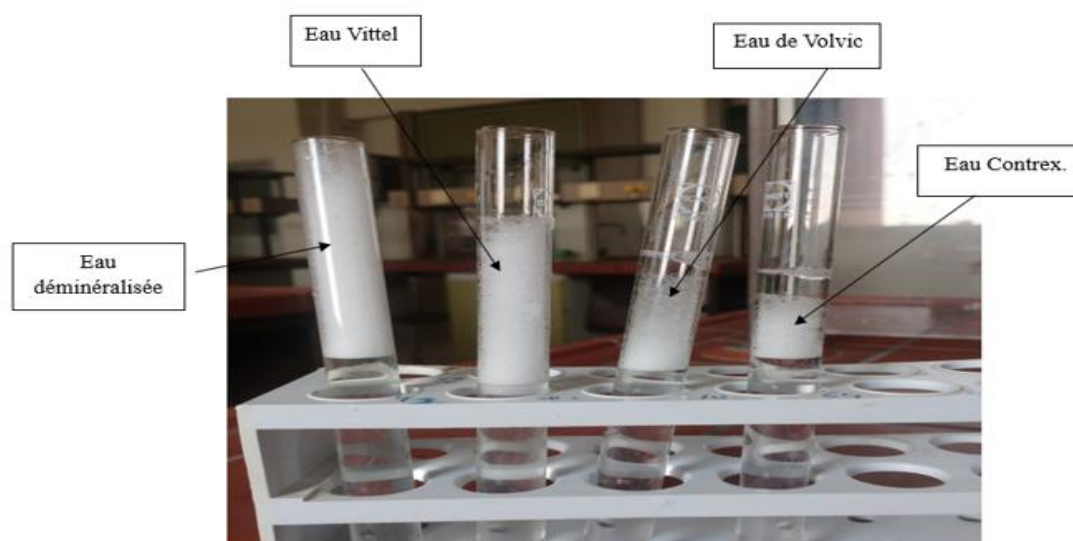


Figure IV.3 : Détermination du pouvoir moussant du savon avec différents type de milieu.

Le savon mousse beaucoup avec l'eau déminéralisée, un peu moins avec l'eau de Volvic, très peu avec la Vittel et pas du tout avec la Contrex.

Lorsque l'eau est trop dure, c'est à dire qu'elle contient en grande quantité des ions magnésium et calcium, comme la Contrex et la Vittel, le pouvoir moussant du savon est très diminué et donc l'action nettoyante du savon est diminuée.

Dans une eau très douce le savon mousse beaucoup et il est plus difficile de l'éliminer lors du rinçage.

En présence E.D.T.A. le savon mousse davantage. Il empêche le savon de précipiter avec les ions calcium et magnésium car il forme des ions complexes dissous dans l'eau avec ces ions. C'est ce que montre la figure IV.4.

→ L'expérience montre qu'un savon qui mousse a de bonnes propriétés détergentes : il nettoie donc bien.

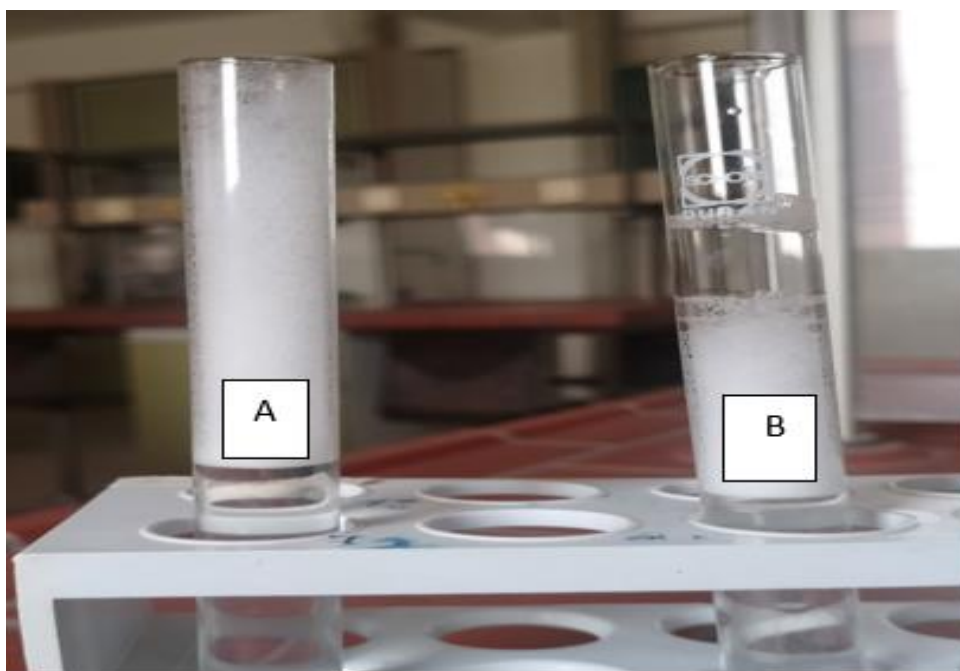


Figure IV.4 : Détermination du pouvoir moussant du savon en (a) présence et (b) absence de l'E.D.T.A.

II. Synthèse et caractérisation de l'aspirine

II.1 La Synthèse de l'aspirine

→ **Description :**

L'aspirine était l'antalgique de référence parmi les AINS. L'aspirine est le nom commercial de l'acide acétylsalicylique. Sa formule est représentée Ci-dessous [8].

Formule de l'aspirine :

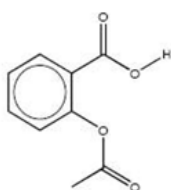


Figure IV.5 : Structure développée de l'aspirine (acide acétylsalicylique) .

L'aspirine est un ester acide formé par réaction entre le groupe alcoolique (OH) de l'acide salicylique et l'acide acétique (Fig. IV.6) [10].

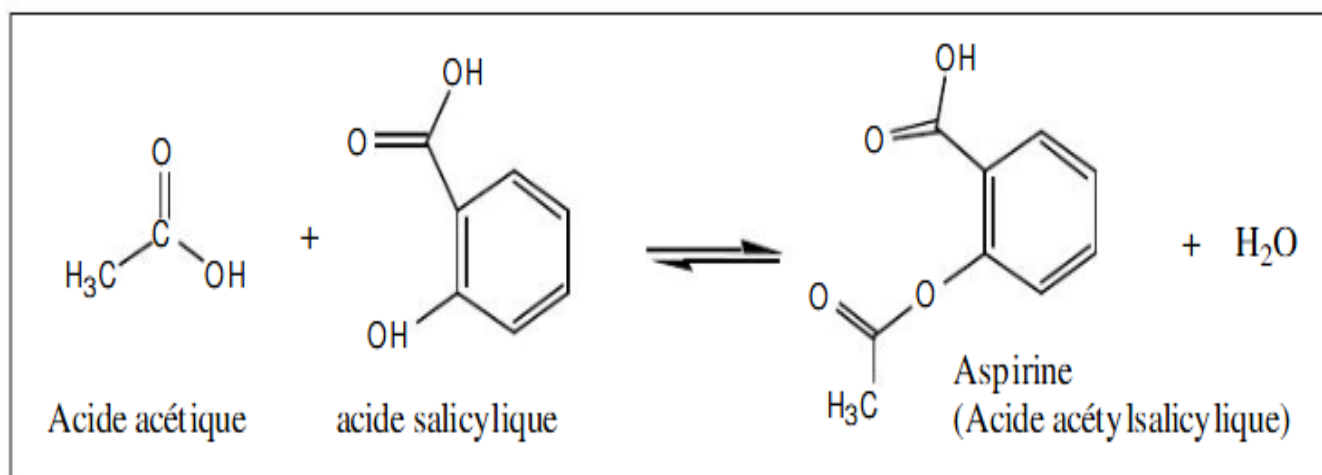


Figure IV.6 : Réaction de synthèse de l'aspirine.

→ **Mode opératoire [9] :**

a. La synthèse du produit (Fig. IV.7):

- Préparer un montage à reflux avec refroidissement à air.
- Introduire dans un erlenmeyer de 250 ml (bien sec) :
 - 5 g d'acide salicylique sec.
 - 7cm³ d'anhydride acétique mesuré à l'éprouvette graduée.
 - 1 ou 2 pierres ponce.
- Bien agiter le mélange. Mettre à chauffer (50-60°C). On doit observer une dissolution totale de l'acide salicylique.
- Ajouter 2 gouttes d'acide sulfurique concentré, sous agitation.
- Maintenir le mélange au reflux, à cette température, pendant (au moins) 20 min.
- Un solide blanc apparaît et le produit s'épaissit très vite. Laisser refroidir à température ambiante.
- Ajouter 75 ml d'eau glacée. Agiter le mélange. Refroidir dans un bain d'eau glacée.
- Filtrer sur Büchner. Essorer puis laver abondamment à l'eau glacée.
- Essorer entre chaque lavage. Sécher sur papier filtre.

b. Recristallisation :

- Dans un erlenmeyer, ajouter à l'aspirine quelques ml (15ml) d'éthanol, puis chauffer légèrement, au bain-marie, pour dissoudre le solide.

- Ajouter ensuite 40 ml d'eau chaude et laisser refroidir sans agiter. De beaux cristaux en aiguilles apparaissent.
- Après filtration sur Büchner et lavage du précipité à l'eau glacée, essorer puis sécher dans une étuve à 80°C.

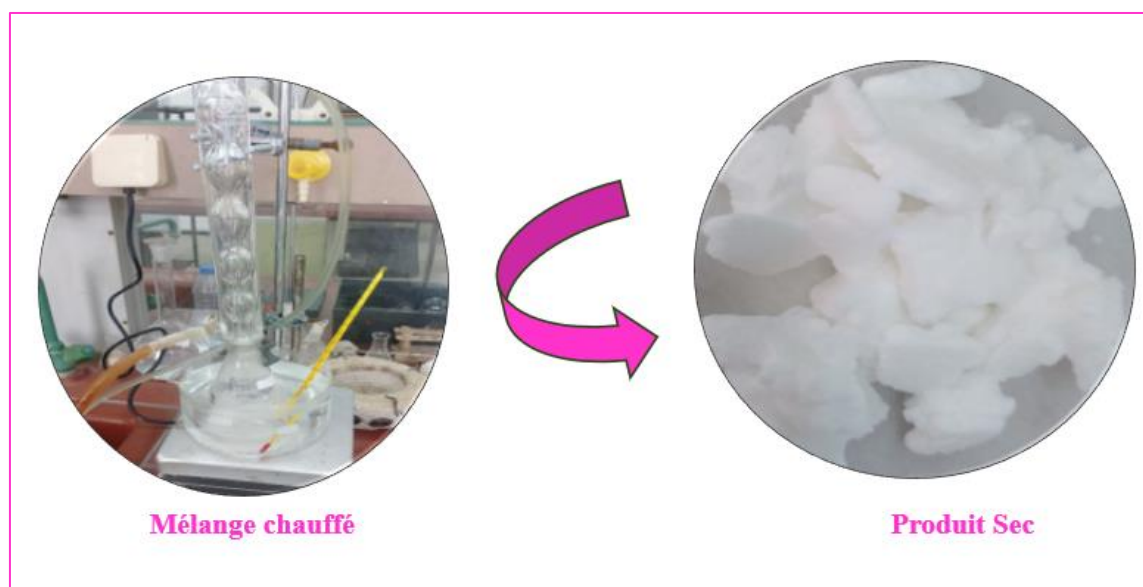


Figure IV.7 : La synthèse de l'aspirine.

II.2 Caractérisation de l'aspirine

→ Identification de l'aspirine par chromatographie :

a. Préparation de la cuve de chromatographie :

- Dans une cuve à chromatographie, verser l'éluant sur une hauteur de 1 cm.
- Couvrir la cuve.
- L'éluant utiliser ici est une solution formée par le mélange de 6 ml d'acétate d'éthyle, 4 ml de cyclohexane et de 1 ml d'acide méthanoïque[10] .

b. Préparation de la plaque de chromatographie :

- Prendre une plaque de silice et tracer au crayon un trait fin parallèle au bord inférieur de la plaque à une hauteur de 2 cm c'est la ligne de dépôt.
- Y repérer trois positions équidistantes, notées A, B et C.
- Déposer :

En A : Acide salicylique pur dissous dans 1 ml de l'acétate de butyle.

En B : Résultats de la réaction dissous dans 1 ml de l'acétate de butyle.

En C : Aspirine pure dissous dans 1 ml de l'acétate de butyle.

- Après chaque dépôt, sécher rapidement à l'aide d'un sèche-cheveux.

c. Elution :

- Descendre la plaque dans la cuve de chromatographie : la technique choisie permet aux taches déposées de rester au-dessus de l'éluant.
- Lorsque l'éluant est à 1 cm environ du bord supérieur, sortir la plaque et noter, à l'aide d'un crayon, le niveau de l'éluant : c'est le front de l'éluant.
- Sécher à l'aide d'un sèche-cheveux.

d. Révélation :

- Les composés déposés ici sont incolores, il faut les révéler pour pouvoir analyser le chromatogramme.
 - Placer la plaque obtenue sous une lampe à U.V et cercler les tâches ainsi révélées.
- Toutes ces étapes sont résumées sur la figure IV.8 .

a. Interprétation de la CCM :

La CCM du produit synthétisé montre deux taches :

- Une tache au même niveau que l'aspirine du commerce, indiquant la présence d'acide acétylsalicylique.
- Une autre tache au même niveau que l'acide salicylique, montrant qu'il reste des traces de réactif non transformé.

Cela signifie que le produit n'est pas totalement pur, mais que la synthèse a bien produit de l'aspirine.

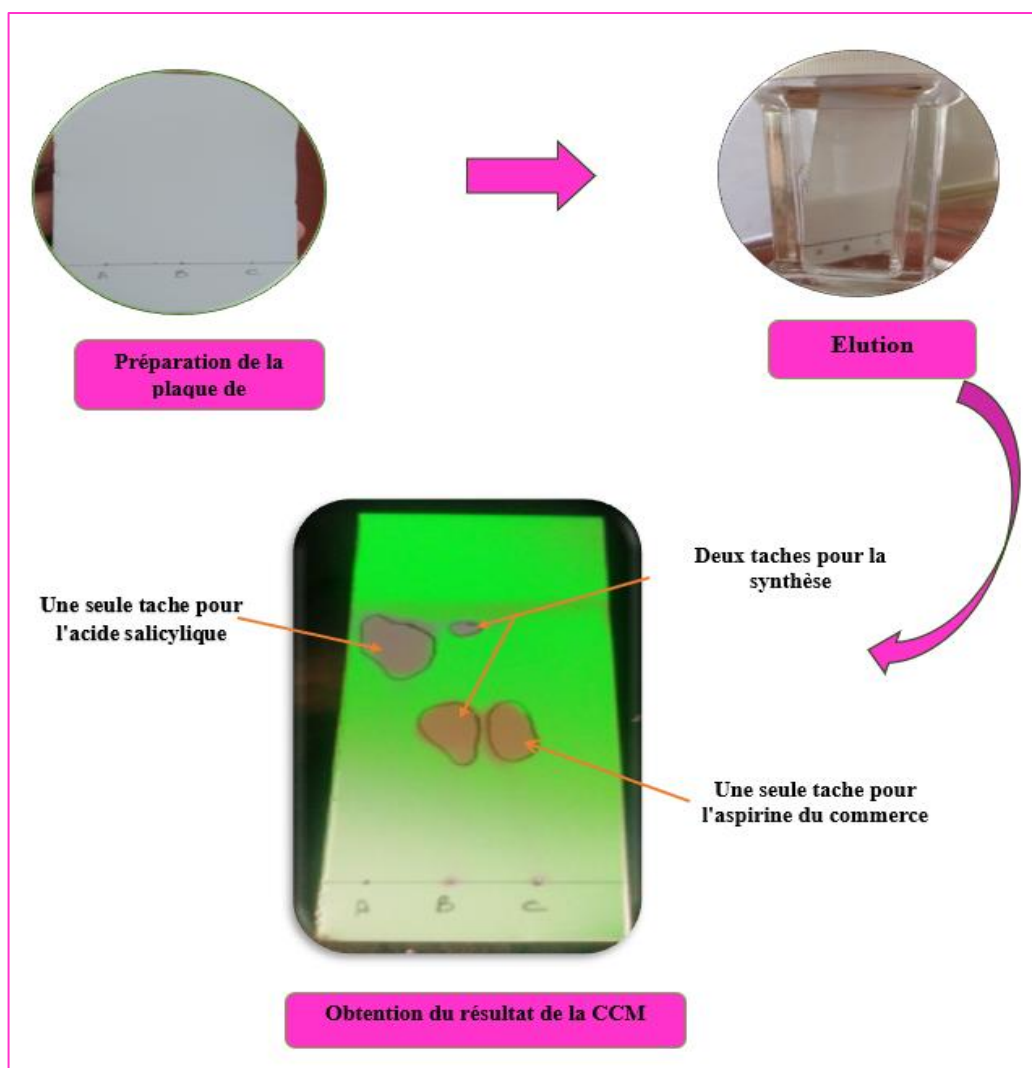


Figure IV.8 : Étapes expérimentales de la chromatographie sur couche mince pour le suivi de la synthèse de l'aspirine.

→ Analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de fourrier (FTIR)

L'échantillon synthétisé a été caractérisés à l'aide d'un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier FTIR-8400S de type SGIMADZU dans le domaine de longueurs d'ondes compris entre $4000-400\text{cm}^{-1}$. La spectroscopie moyenne infrarouge est beaucoup utilisée pour l'étude de la structure des molécules pour des applications chimiques [11]. L'analyse est effectuée à l'aide d'un spectromètre à transformée de Fourier, qui envoie à l'échantillon le rayonnement infrarouge et mesure la longueur d'onde d'absorption du matériau et force d'absorption [12].

L'analyse de l'aspirine par IR est donnée sur la figure IV.9. Les bandes caractéristiques du produit synthétisé sont donné dans le tableau IV.1. Les bandes observées sont en bon accord avec la structure chimique de l'aspirine. La bande autour de 1750 cm^{-1} est très intense,

indiquant la présence dominante d'un groupement ester. La bande large autour de 3430 cm^{-1} confirme la présence du groupement O-H acide.

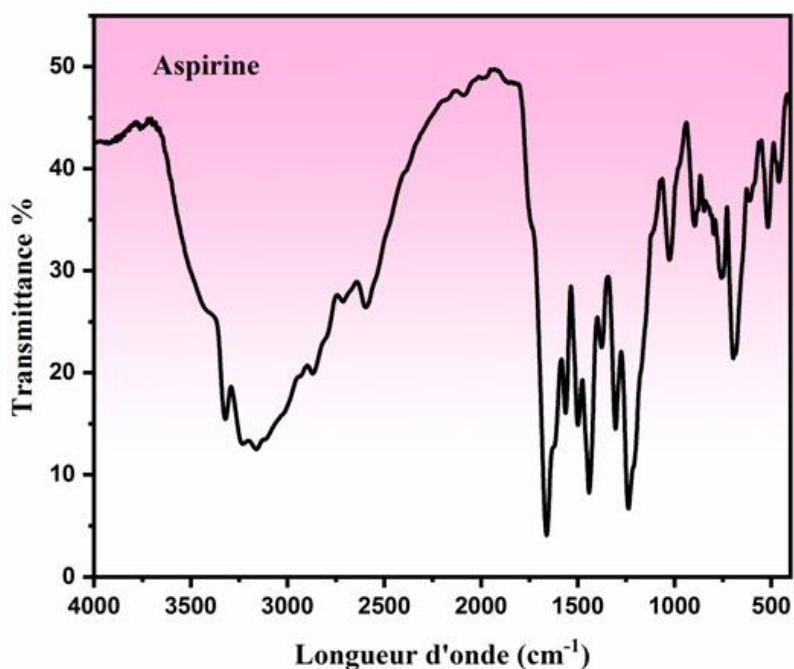


Figure IV.9: Spectre infrarouge (FTIR) de l'aspirine synthétisée.

Tableau IV.1 : Les bandes caractéristiques de l'aspirine synthétisée.

Nombre d'onde (cm^{-1})	Attributions
3430	O-H (acide carboxylique)
1750	C=O (ester)
1600	C=C (cycle aromatique)
1300-1250	C-O (ester)
3030	C-H (liaisons aromatique)

III . Extraction et caractérisation de la caféine

III.1 Extraction de la caféine

→ **Description :**

La caféine est une substance de la famille des méthylxanthines présente dans de très nombreuses plantes : café, thé, cacao, kola, yerba maté, guarana, etc. Depuis des millénaires, de très nombreuses civilisations ont recours à ces plantes pour lutter contre la fatigue. La caféine est présente dans de nombreux aliments, ainsi que dans certains compléments alimentaires et médicaments [13]:

- ✓ Certains compléments alimentaires destinés à favoriser la perte de poids utilisent fréquemment la caféine comme coupe-faim et pour ses propriétés diurétiques, le plus souvent en association avec d'autres substances comme la synéphrine.
- ✓ La caféine entre dans la composition de nombreux médicaments contre la douleur (en association avec le paracétamol ou l'aspirine, par exemple), contre la fatigue (en association avec la vitamine C) et le mal des transports [14].
- ✓ Des analyses croisées d'essais cliniques ont montré qu'une consommation raisonnable de café semble réduire le risque cardiovasculaire, pourrait diminuer le risque de diabète de type 2, d'AVC et d'insuffisance cardiaque, et aurait un rôle protecteur vis-à-vis des maladies de Parkinson et d'Alzheimer. Par ailleurs, il se pourrait que la consommation de caféine réduise la durée et l'intensité des hypoglycémies nocturnes chez les patients atteints de diabète de type 1[15].

Le tableau IV.2 présente quelques aliments avec la quantité de caféine correspondante.

Tableau IV.2 : La caféine dans les aliments

Aliments	Quantité de caféine (mg)
Café filtre (une tasse de 125 ml)	95
Café à l'italienne (125 ml)	62
Café expresso (une petite tasse)	55
Café instantané (125 ml)	45
Chocolat noir (une barre de 28 g)	45
Thé (une tasse de 200 ml)	45
Cola (une canette de 330 ml)	43

Dans cette partie, nous allons traiter l'extraction et la caractérisation de la caféine obtenue à partir du thé :

→ **Principe :**

Dans cette expérience, on se propose d'extraire, avec un solvant, la caféine des feuilles de thé. La caféine, à température ambiante, est peu soluble dans l'eau, l'alcool, l'éther ou il l'est plus dans le dichlorométhane (ou le chloroforme).

On procède à une extraction liquide-solide, (eau chaude-feuilles de thé) suivie d'une extraction liquide-liquide (eau froide-dichlorométhane). La méthode d'extraction repose sur la bonne solubilité de la caféine dans l'eau chaude et les solvants chlorés. Pour extraire la caféine du thé en utilisant un montage de chauffage à reflux simple [16]

→ **Mode opératoire : [9]**

➤ **Etape 1 : Extraction liquide –solide**

- On broie dans un mortier à l'aide d'un pilon 15g de feuilles de thé.
- A l'aide d'un entonnoir on introduit dans un ballon de 250 ml, les 15 g de poudre + 8g de carbonate de calcium.
- On a ajouté une quantité suffisante d'eau distillée environ 150ml et quelques morceaux de pierre-ponce (permet de réguler l'ébullition, elle limite les projections dans le ballon).
- On met en place le montage à reflux.
- On chauffe, sous agitation magnétique, pendant 30 min.
- On laisse refroidir le ballon, puis on filtre
- Récupéré le filtrat qui contient la caféine extraite.

Toutes ces étapes sont résumées sur la figure IV.10.



Figure IV.10: Les différentes étapes d'extraction du liquide –solide.

➤ **Etape 2 : Extraction liquide-liquide (Décantation)**

La décantation est un procédé permettant la séparation de deux phases liquides non miscibles de densités différentes ; en vue de procéder à une extraction liquide-liquide. Dans la majorité des cas, l'une des phases est aqueuse, l'autre organique. La phase organique étant souvent moins dense que la phase aqueuse, excepté pour le cas des solvants halogénés. Pour séparer les deux phases, on utilise l'ampoule à décanter :

- Verser le contenu du bécher dans une ampoule à décanter.
- Mesurer 20ml de dichlorométhane avec une éprouvette graduée, les ajouter dans l'ampoule, boucher, agiter modérément pour minimiser la formation d'émulsions.
- En cours d'agitation, laisser régulièrement échapper les vapeurs de solvant, en ouvrant le robinet après avoir retourné l'ampoule, robinet vers le haut (dégazage).
- Poser l'ampoule sur le support, enlever le bouchon et laisser décanter. (Pour réduire l'émulsion à la surface de séparation, on peut faire tourner doucement une baguette de verre dans l'émulsion.)

- On attend que les deux phases se séparent correctement puis on récupère la phase organique qui se trouve en bas.
- Renouveler l'opération deux autres fois, rassembler les phases organiques
- Jeter la phase aqueuse restant dans l'ampoule.
- Evaporation du dichlorométhane : Au moyen d'un évaporateur rotatif ou par distillation du solvant dans un montage de distillation simple en surveillant la température (si celle-ci était trop élevée la caféine serait détruite)
- Une fois que tout le solvant est évaporé, il reste au fond du ballon une poudre jaune pâle : il s'agit de caféine brute.

Toutes ces étapes sont résumées sur la figure IV.11.

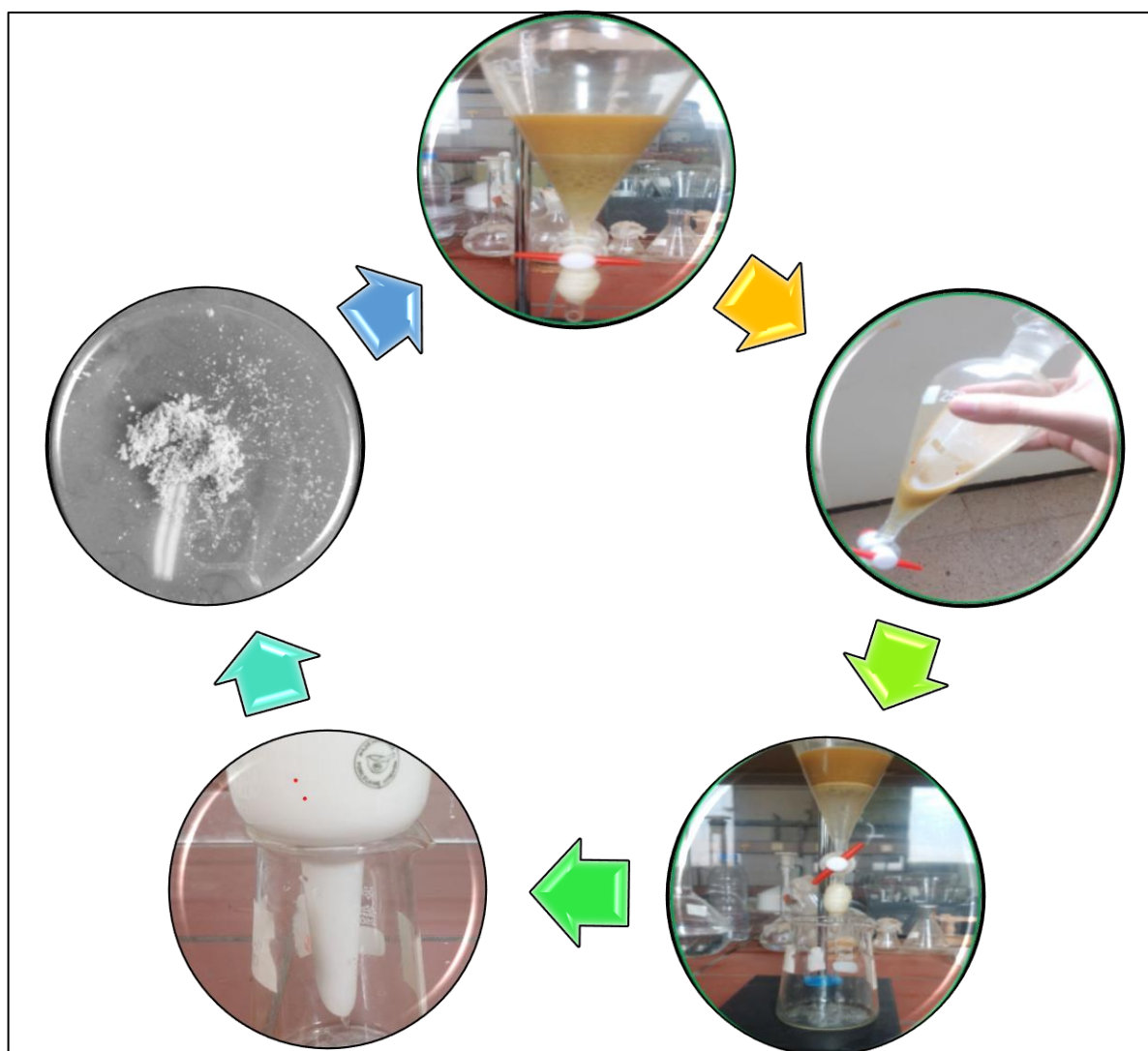


Figure IV.11: Les différentes étapes d'Extraction liquide-liquide.

IV.2. Analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de fourrier (FTIR) de la caféine

Le spectre IR de la caféine synthétisée est représenté sur la figure IV.12 et les bandes caractéristiques de ce composé sont rassemblées dans le tableau IV.3.

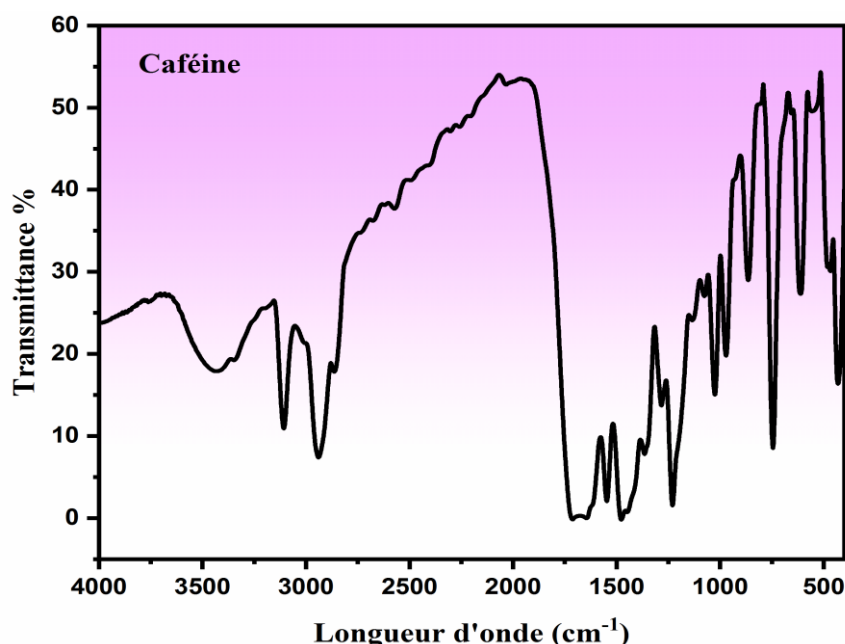


Figure IV.12: Spectre FTIR de la caféine synthétisée

Les bandes de la caféine sont bien définies, notamment les deux bandes fortes autour de 1700 cm^{-1} , qui confirment la présence de deux groupements C=O. La bande autour de 3300 cm^{-1} est peu intense, ce qui est typique des liaisons N–H. Les vibrations C–N dans les cycles azotés sont clairement observées.

Tableau IV.3 : Les bandes caractéristiques de la caféine synthétisée.

Nombre d'onde (cm^{-1})	Attributions
3300	N–H (liaison faible)
1692	C=O (groupement carbonyle)
1600	C=C (aromatique ou insaturé)
1350-1250	C–N (liaison dans les cycles azotés)
3000-2950	C–H (groupes méthyle)

B. La chimie verte :

1. Synthèse et caractérisation des nanoparticules ZnO à partir de l'extrait de l'écorce de grenade.

I. Synthèse des nanoparticules ZnO

→ Description :

La toxicité des produits chimiques utilisés pour synthétiser les nanoparticules conduit à des sous-produits qui peuvent avoir des effets nocifs sur l'environnement. La biosynthèse des nanoparticules est une méthode prometteuse qui utilise des extraits végétaux pour synthétiser des nanoparticules d'oxyde métallique. En effet, la biosynthèse s'est révélée être une technique écologique efficace pour synthétiser les nanoparticules d'oxyde métallique[17].

L'oxyde de zinc est un composé chimique de formule « ZnO », il est présent dans la nature sous forme de zincite minéral comportant souvent du manganèse et ayant une coloration jaune à rouge. Sa couleur varie suivant les impuretés qu'il contient : sa couleur rouge par exemple, est due à la présence de manganèse au sein du matériau pur, il est transparent [18].

Pour la synthèse verte des nanoparticules de ZnO, trois principales étapes sont suivies:

- Préparation de l'extrait de plante (broyage, lavage, agitation, filtration...).
- Préparation de la solution aqueuse.
- La biosynthèse.

→ Mode opératoire :

La grenade est riche en composés phytochimiques poly phénoliques qui présentent d'excellentes propriétés antioxydantes et a donc été largement utilisé dans l'industrie alimentaire et en médecine traditionnelle pour traiter diverses maladies [19]. L'écorce de grenade est un agro déchet, qui constitue environ 60% du poids du fruit de la grenade. L'extrait de pelure de grenade (EPI) est également connu pour sa teneur élevée en nutriments, composé de minéraux (par exemple, le potassium), de vitamines, de composés phénoliques, de flavonoïdes, d'antioxydants et de propriétés anticancéreuses [20].

a. Préparation de l'extrait de l'écorce de grenade :

Nous avons utilisé directement de la poudre de pelures de grenade, achetée prête à l'emploi dans le commerce (épicerie). Cela nous a permis d'éviter les étapes de lavage, de

séparation des graines, de séchage et de broyage mentionnées dans certaines méthodes classiques.

- Mélanger 50 g de la poudre avec de l'eau distillée (500 ml).
- Bouillir sous agitation magnétique à 100°C (10 min).
- Filtrer avec du papier filtre puis refroidir à température ambiante.
- L'extrait d'écorce de grenade (PE) a été conservé à 4°C pour une utilisation ultérieure.

Ces étapes sont résumées dans la figure IV.13.

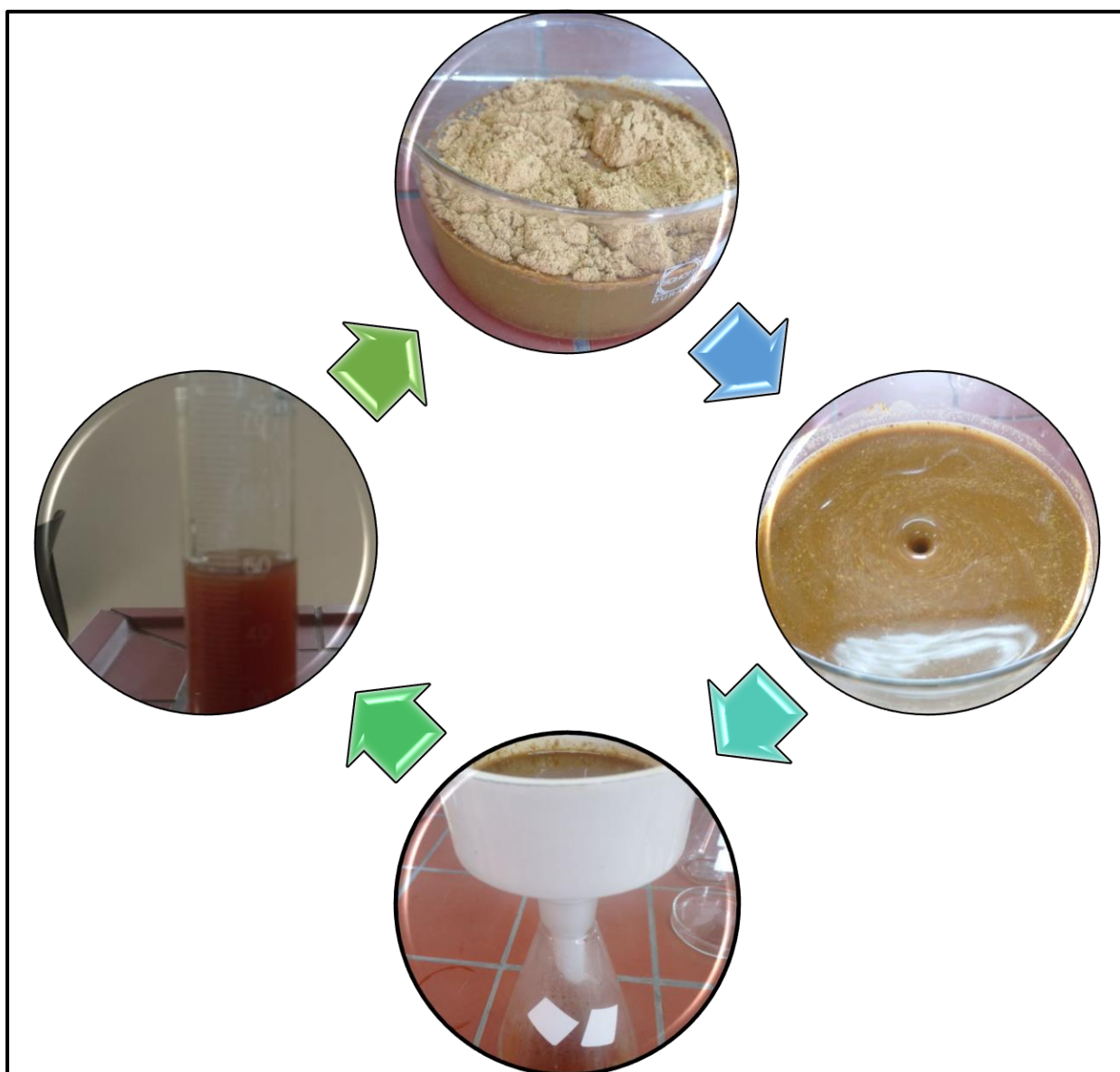


Figure IV.13: schéma descriptive représentant les différentes étapes de préparation de l'extrait de l'écorce de grenade.

b. Biosynthèse des nanoparticules :

- 100ml d'acétate de zinc déshydraté ($\text{Zn} [\text{OOCCH}_3]_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (0.9M) sont ajoutés à 50ml d'extrait de pelure de grenade.
- Le mélange est chauffé à 70°C sous agitation magnétique. Notons que le PH de la solution a été ajusté à 8 avec l'ajout de NaOH. Au bout d'une heure on observe la formation d'un précipité blanc (nanoparticule de ZnO).
- Le mélange est chauffé à 70°C sous agitation magnétique. Notons que le PH de la solution a été ajusté à 8 avec l'ajout de NaOH. Au bout d'une heure on observe la formation d'un précipité blanc (nanoparticule de ZnO).
- Le mélange a été centrifugé pendant 30 min. Le précipité a été récupéré et soigneusement lavé avec de l'eau distillée puis séché dans l'étuve (100°C) et finalement calciné dans un four à 450°C pendant 4 heures.

Ces étapes sont résumées dans la figure IV.14.



Figure IV.14: Schéma descriptive représentant les différentes étapes de biosynthèse.

II. Caractérisation des nanoparticules ZnO

a. Caractérisation par la spectroscopie Infrarouge (FTIR)

La caractérisation en spectroscopie FTIR est faite dans le but de déterminer les différentes liaisons intervenant dans le processus d'élaboration des poudres des NPs d'oxyde de Zinc.

La figure IV.15 présente les spectres FTIR de nanoparticules de ZnO synthétisées à partir d'extraits de grenade. Les bandes caractéristiques de ce composé sont rassemblées dans le tableau IV.4.

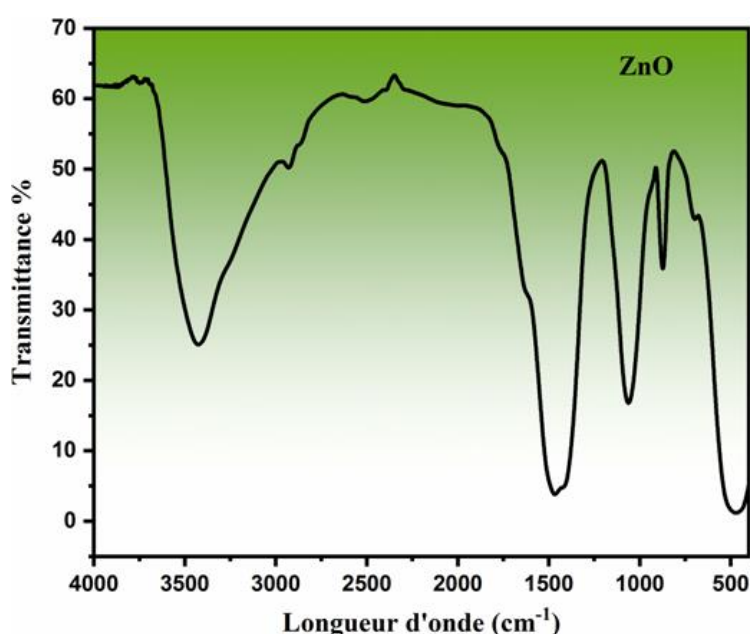


Figure IV.15 : Le spectre FTIR de nanoparticule de ZnO synthétisée

Tableau IV.4 : Les bandes caractéristiques du ZnO

Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Attributions
3400	O–H (humidité)
1600	H–O–H (déformation d'eau adsorbée)
500–600	Zn–O (vibration de valence Zn–O)

Le pic intense à basse fréquence (vers 500–600 cm^{-1}) est typique des vibrations Zn–O, confirmant la présence d’oxyde de zinc. Les bandes à 3400 cm^{-1} et 1600 cm^{-1} sont dues à l’eau absorbée sur la surface du ZnO, ce qui est courant pour des nanoparticules exposées à l’air.

b. Analyse par diffraction des rayons X :

La pureté de la phase a été vérifiée par l’analyse de diffraction X. Pour la mesure des profils des raies on a utilisé le système automatique de comptage point par point avec un pas de 0.02° et avec un temps d’acquisition de 40 minutes pendant un temps de comptage de 2 secondes et sur un domaine angulaire compris entre 10° et 90°.

La figure III.16 présente le diffractogramme de l’échantillon ZnO.

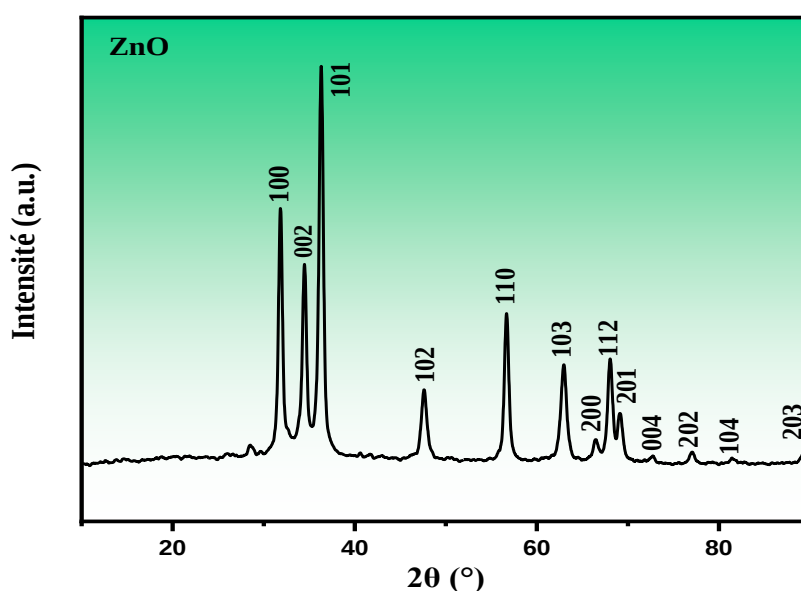


Figure III.16 : Diffractogramme du ZnO.

L’analyse du diffractogramme de l’échantillon préparé a été menée en comparant les résultats expérimentaux avec la fiche ASTM N° 01-089-7102. Cette comparaison (Fig. III.17) révèle une concordance remarquable caractérisée par la présence exclusive des pics attendus, sans aucuns pics parasites. Nous avons obtenue par synthèse verte un oxyde ZnO pur.

Par ailleurs, l’analyse de la symétrie du réseau indique que le composé cristallise dans un système hexagonal, appartenant au groupe d’espace P63mc. Les paramètres de maille théoriques obtenus sont présentés dans le tableau III.5.

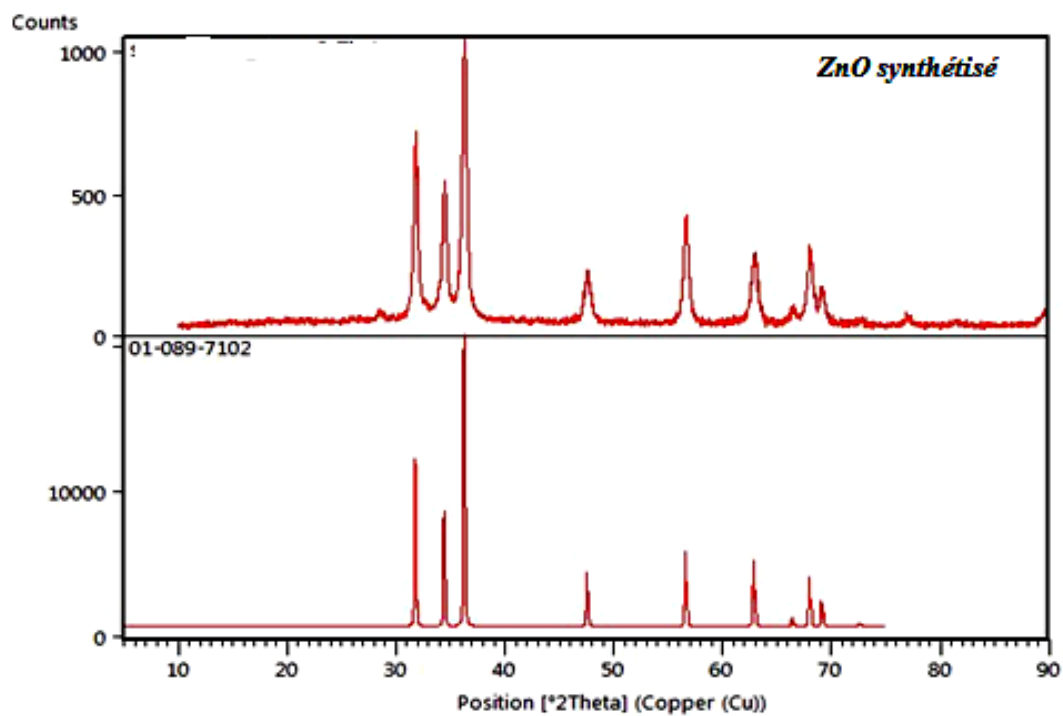


Figure III.17 : Comparaison du diffractogramme du ZnO avec celui de la fiche ASTM.

Tableau IV.5 : Les paramètres cristallins de ZnO.

a(Å)	b(Å)	c(Å)	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	$\gamma(^{\circ})$	V(10^6 pm ³)
3,2495	3,2495	5,2069	90,0000	90,0000	120,0000	47,61

Référence bibliographique

- [1] Ouache, R. (s.d.). TP préparation d'un savon. Université de Batna 2. [Tp1_synthese_de_laspirine_gp.pdf](#).
- [2] Dissilvio. (1999). Démonstration : Fabrication d'un savon. Chimie dans la buanderie. Université catholique de Louvain.
- [3] François, R. (1974). Bulletin officiel des annonces civiles et commerciales : Savonnerie de Marseille.
- [4] (2025, 16 mai). La saponification. [Dans un ballon, introduire:](#)
- [5] Azag, R., & Makhlouf, L. (2014). Essai de fabrication d'un savon à base de l'huile d'olive et de nigelle (pp. 35–36). Université Abderrahmane Mira de Bejaïa, Faculté des sciences de la nature et de la vie.
- [6] (s.d.). TP n°13 - PROF : Fabrication et propriétés des savons. [Chimie-TP13-prof.pdf](#).
- [7] (s.d.). TP – TS - Chimie – n°12 : Synthèse et propriétés des savons. [12_Synthèse et propriétés d'un savon](#).
- [8] (s.d.). TP1 : Synthèse de l'aspirine. Université de Batna-2, Faculté des sciences et technologie. [Tp1_synthese_de_laspirine_gp.pdf](#)
- [9] Fodil, H. (s.d.). TPN 2 : Préparation de savon. Université Echahid Hamma Lakhdar – El-Oued, Faculté de Technologie.
- [10] (s.d.). Synthèse d'une espèce chimique et identification (p. 4). [Aspirineimportant.pdf](#).
- [11] Hamadouche, H., & Bouarab, N. (s.d.). Fabrication et caractérisation thermique d'un film biodégradable à base d'amidon de maïs renforcé par une organoargile (Mémoire de master, Spécialité : Génie des procédés).
- [12] Chebil, L. (2006). Acylation des flavonoïdes par les lipases de *Candida antarctica* et de *Pseudomonas cepacia* : Études cinétique, structurale et conformationnelle (Thèse, Institut National Polytechnique de Lorraine).
- [13] https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/corporate_publications/files/efsaexplainscafaine150527fr.pdf
- [14] <https://www.camh.ca/fr/info-sante/index-sur-la-sante-mentale-et-la-dependance/la>

- [15] <https://www.vidal.fr/medicaments/substances/cafeine-698.html>.
- [16] (s.d.). TP 02 : Extraction de la caféine des feuilles de thé. https://elearning.univmsila.dz/moodle/pluginfile.php/271165/mod_resource/content/1/TP%2002%20EXTRACTION%20DE%20LA%20CAFEINE%20DES%20FEUILLES%20DE%20THE.pdf
- [17] Otmami, D., Mim, Y., & Bouzenna, A. E. (2021). État de l'art sur la synthèse verte des nanoparticules de ZnO à l'aide de l'extrait de différentes plantes (p. 26). Mémoire de fin d'études, Université Echahid Hamma Lakhdar - El Oued, Département de Génie des procédés et de la pétrochimie.
- [18] (s.d.). [Oxyde de zinc — Projet L3 effet tunnel](#)
- [19] Elkady, A. (2013). Crude alkaloid extract of *Rhazya stricta* inhibits cell growth and sensitizes human lung cancer cells to cisplatin through induction of apoptosis. *Genetics and Molecular Biology*, 36(1), 12–21.
- [20] (s.d.). Coriandre. Wikipédia. [Coriandre — Wikipédia](#)

Conclusion générale



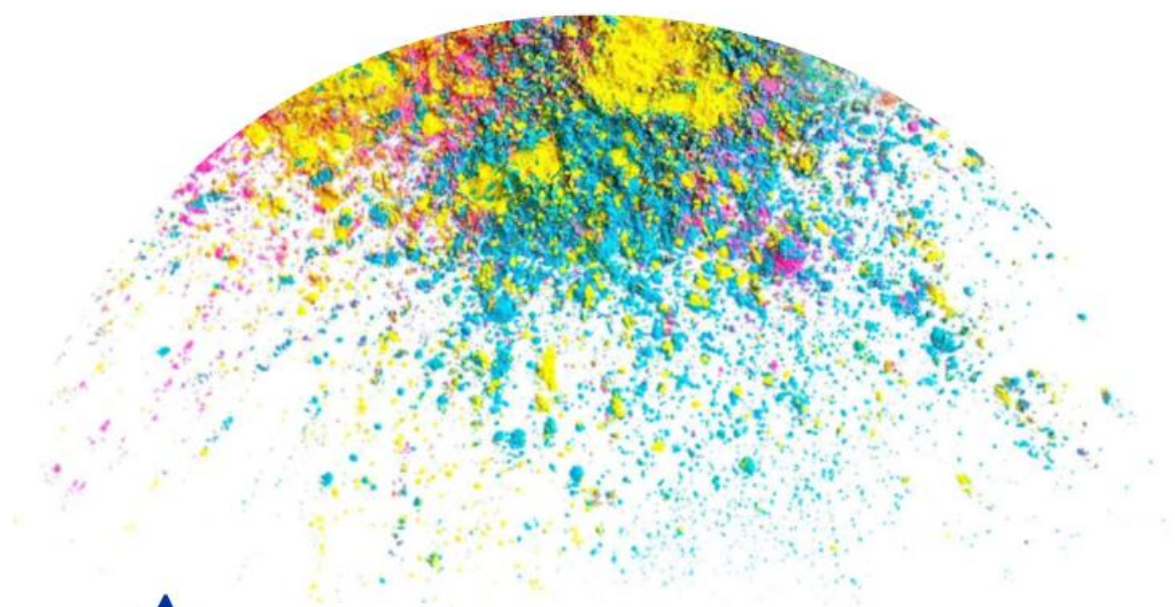
Conclusion générale

La chimie joue un rôle crucial dans la vie quotidienne et dans presque tous les aspects de la société moderne. Elle a des avantages indéniables, mais aussi certains inconvénients.

Les progrès en chimie ont permis la création de médicaments, de vaccins et de traitements qui sauvent des vies, le développement des engrais, des pesticides et des herbicides qui augmentent la production agricole, la fabrication de nombreux matériaux comme les plastiques, les métaux, les textiles, et les produits électroniques. Des produits comme les batteries, les panneaux solaires et les produits cosmétiques sont tous issus de processus chimiques. La chimie permet aussi de traiter les eaux usées, purifier l'air, recycler des matériaux, et développer des sources d'énergie plus propres et durables comme les biocarburants. Ceci n'empêche pas que de nombreux produits chimiques utilisés dans l'industrie, l'agriculture ou la consommation courante peuvent polluer l'air, l'eau et le sol. Les substances comme les plastiques non biodégradables, les métaux lourds et certains pesticides restent dans l'environnement et peuvent être toxiques pour la faune et l'homme. Certains produits chimiques, lorsqu'ils sont mal utilisés ou en quantité excessive, peuvent avoir des effets négatifs sur la santé. La production et la manipulation de produits chimiques dangereux comportent des risques d'accidents industriels majeurs, comme des fuites toxiques, des incendies ou des explosions.

À travers ce mémoire, nous avons tenté de retracer l'évolution de cette discipline depuis ses origines jusqu'à ses applications modernes, en mettant l'accent sur la richesse de ses domaines et la diversité de ses impacts. Ce survol historique a permis de mettre en évidence le lien profond entre la chimie et le progrès humain. Nous avons introduit le concept des couleurs de la chimie noire, rouge, rose et verte, une approche pédagogique originale qui permet de catégoriser les différentes facettes de cette science selon leurs implications sociétales. Une étude expérimentale a été réalisée pour appuyer la partie théorique, et pour mieux relier les notions vues en théorie à des applications concrètes en laboratoire.

Au terme de ce mémoire, il ressort que la chimie est une science aux multiples facettes, elle contribue au progrès et à la qualité de vie, mais peut aussi engendrer des impacts négatifs lorsqu'elle est mal maîtrisée. Nous avons ainsi mis en évidence l'équilibre entre ses avantages et ses inconvénients, tout en insistant sur la nécessité d'un usage éthique et durable. Cette expérience nous a permis de renforcer nos compétences scientifiques et notre engagement envers une chimie responsable et au service de l'homme et de l'environnement.



Annexes

<i>Années</i>	<i>Découvertes et Travaux réalisés</i>
Dès 30 000 av. J.-C.	Aspects de la chimie préhistorique : peintures et poterie
4.500 av. J.-C.	Les racines antiques de la chimie naissance de la métallurgie
3.000 av. J.-C.	Les débuts de l'art chimique fermentations, encres, colorants
550 av. J.-C.	Pythagore, Empedocle et la théorie des quatre éléments
400 av.J.-C.	Démocrite et Leucippe inventent l'atomisme
400 av. J.-C.	Platon : la mathématique, clef de toute connaissance du monde
350 av. J.-C.	Aristote fixe pour des siècles la théorie des éléments
I ^{er} siècle apr. J.-C.	Pline l'Ancien publie la première encyclopédie universelle
III ^e siècle apr. J.-C.	Les papyrus de Leyde et de Stockholm : premiers écrits alchimiques

<i>Année</i>	<i>Découvertes et Travaux réalisés</i>
Du III ^e au XVII ^e siècle	L'alchimie, ancêtre de la chimie
Moyen Age	Le laboratoire de l'alchimiste
1370	Nicolas Flamel, habile homme d'affaires ou alchimiste ?
1524	Paracelse, précurseur de la recherche médicale
1530	Georgius Agricola publie De re metallica
1597	Andreas Libavius écrit le premier traité de chimie systématique
1644	Descartes énonce sa théorie mécaniste de la matière
1645	Gassendi enseigne l'atomisme au Collège royal
1648	Van Helmont introduit la notion de gaz
1661-1662	Robert Boyle énonce la loi des gaz parfaits
1667	Bechar et Stahl étudient la combustion
1670	Newton expose sa théorie de la matière
1675 et 1759	Lémery et Rouelle, créateurs de la chimie moderne en France
1676	Mariotte retrouve, indépendamment, la loi de Boyle

1745	Marggraf découvre le sucre de betterave
1766	Cavendish découvre l'hydrogène et établit la composition de l'eau
1774	Priestley isole et caractérise l'oxygène ou air déphlogistiqué
1777	Scheele publie, un peu tard, ses principales découvertes : l'oxygène et le chlore

<i>Année</i>	<i>Découvertes et Travaux réalisés</i>
1778	Lavoisier et la naissance de la chimie moderne
1789	Marie-Anna de Lavoisier, première femme chimiste
1793	De Fourcroy : l'analyse chimique et l'enseignement
1801	Berthollet publie des travaux sur les affinités chimiques
1808	John Dalton introduit la théorie et la notation atomique
1811	Avogadro relie volume de gaz et nombre de molécules
1813	Chevreul initie la chimie des matières grasses
1819	Berzelius propose le système actuel de notation des composés chimiques
1824	Carnot inaugure la thermodynamique
1828	Wöhler effectue la première synthèse d'un composé organique
1834	Faraday énonce les lois de l'électrolyse
1839	Charles Goodyear invente la vulcanisation du caoutchouc
1840	Liebig publie le premier traité de chimie organique
1848	Pasteur découvre la chiralité, propriété nécessaire à la vie

1850	Clausius complète le deuxième principe de la thermodynamique
1862	L'œuf de Berthelot : un tournant dans l'histoire de la chimie
1665	Kekulé établit la structure moléculaire du benzène
1869	Mendeleïev publie un tableau périodique des éléments
1874	Le Bel et Van't Hoff fondent la stéréochimie
1889	Arrhenius relie la vitesse des réactions à la température
1889	Lehmann caractérise les cristaux liquides
1896	Becquerel découvre la radioactivité
1897	Thomson découvre l'électron et ses propriétés
1899	Planck fait la révolution avec les quanta
1900	Grignard crée une grande méthode de synthèse organique
1902	Marie Curie isole un décigramme de radium.
1909	Haber met au point la synthèse catalytique de l'ammoniac
1912	Bragg père et fils énoncent la loi de diffraction des rayons X
1912	Funk précise le rôle et la nature des vitamines
1913	Bohr initie le traitement quantique de l'atome
1916	Lewis invente la liaison chimique pédagogique
1922	Haberlandt invente la contraception hormonale
1925	Pauli postule les propriétés du spin électronique
1930	Hückel propose une théorie quantique des molécules insaturées
1931	Astbury décrit l'hélice α des protéines
1935	Carothers et son équipe synthétisent le nylon

1941	Woodward synthétise des molécules naturelles
1944	Schrödinger publie What is Life?
1953	Ziegler polymérise l'éthylène, puis Natta le propène
1955	Wilkinson révolutionne la catalyse d'hydrogénation.
1959	Corey fait un art de la synthèse des molécules naturelles
1968	Woodward et Hoffmann créent la chimie quantique
1969	Lehn explore la reconnaissance moléculaire
1985	Kroto découvre une nouvelle variété de carbone
1991	De Gennes reçoit le prix Nobel pour la matière malle

<i>Année</i>	<i>Découvertes et Travaux réalisés</i>
Il y a environ 13,7 milliards d'années	Les premiers atomes
Il y a 4 milliards d'années	L'atmosphère terrestre primitive
Pendant le premier milliard d'années	Le rôle éminent des comètes
Entre 4,3 et 3,8 milliards d'années	La chimie probiotique
Il y a 3,8 milliards d'années	La chiralité, la vie nait gauchère !
Il y a plus de 3milliards d'années	Débuts de la vie et de la photosynthèse



تصريح شرفي

خوفاً بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإنجاز بحث
(ملحق القرار 1082 المؤرخ في 2021/12/27)



أنا الممضي أسفله

السيد(ة): الكنية بدرة
الصفة: طالب سنة ثانية ماستر كيمياء
تخصص: كيمياء المواد

الحامل(ة) لبطاقة التعريف الوطنية رقم: 2.0.59.94.4.2.0 الصادرة بتاريخ: 2020/08/26
المسجل بكلية: العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والطقسم: علوم المادة والمكلف
بانجاز أعمال بحث : مذكرة ماستر في الكيمياء

عنوانها: les couleurs de la chimie
.....

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعات المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات المهنية والنزاهة الأكاديمية المطلوبة في إنجاز
البحث المذكور أعلاه وفق ما ينص عليه القرار رقم 1082 المؤرخ في 2021/12/27 المحدد للقواعد المتعلقة بالوقاية من
السرقعة العلمية ومكافحتها.

التاريخ: 25.12.2021

إمضاء المعني بالمر