

## Mémoire de fin de cycle

Présenté par

**BENMAAMAR Hanane et HAMMICHE Siham**

Pour l'obtention du diplôme de

**Master**

**Filière : Génie des Procédés**

**Spécialité : Science et Technologie du Médicament**

Thème

**Elaboration et caractérisation d'un masque purifiant à base de la zéolite**

Soutenue le : 03 juillet 2017

Devant le Jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	
M <sup>r</sup> KETRANE. R	MCA à l'Université A.MIRA- Bejaia	Président
M <sup>r</sup> AKDIM. A	MAA à l'Université A.MIRA- Bejaia	Promoteur
M <sup>me</sup> ACHAT. S	MCA à l'Université A.MIRA- Bejaia	Examinatrice

## Mémoire de fin de cycle

Présenté par

**BENMAAMAR Hanane et HAMMICHE Siham**

Pour l'obtention du diplôme de

**Master**

**Filière : Génie des Procédés**

**Spécialité : Science et Technologie du Médicament**

Thème

**Elaboration et caractérisation d'un masque purifiant à base de la zéolite**

Soutenu le : 03 juillet 2017

Devant le Jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	
M <sup>r</sup> KETRANE. R	MCA à l'Université A.MIRA- Bejaia	Président
M <sup>r</sup> AKDIM. A	MAA à l'Université A.MIRA- Bejaia	Promoteur
M <sup>me</sup> ACHAT. S	MCA à l'Université A.MIRA- Bejaia	Examinatrice

## **Remerciement**

Nous tenons à exprimer notre profond respect et nos sincères remerciements à tout le personnel du laboratoire de recherche BBBS de université de Béjaia pour leurs aides et conseils.

Nous tenons à remercier également M<sup>r</sup>AKDIM. A, de nous avoir encadrer,nous le remercionségalementpour tous ses conseils et son soutien tout le long de la réalisation de ce modeste travail.

Monsieur KETRANER, maître de conférences à l'université de Bejaia nous a fait un grand honneur de présider le jury de notre mémoire. Nous tenons à remercier sincèrement M<sup>elle</sup> ACHAT.S maître de conférences à l'Université de Bejaia, pour nous avoir fait l'honneur de juger ce travail.

On tient à inclure à ces remerciements, M<sup>elle</sup> CHETAB, M<sup>elle</sup> BENSADIA, M<sup>r</sup> MOUKRANI, M<sup>elle</sup> et M<sup>r</sup> DAOUDI, M<sup>r</sup>OUAKSEL pour leursaides, leurs disponibilités et leurs amabilités.

Il nous est particulièrement agréable d'exprimer notre gratitude et nos vifs remerciements à tous les enseignants qui nous ont encadrés durant notre cursus.

Nous témoignons notre reconnaissance à nos familles et nos amis qui nous ont soutenues tout au long de ces années d'étude.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui m'encouragent à aller de l'avant et qui m'ont appris le chemin de la réussite et des succès.*

*A mes chers parents, qui ont sacrifié leurs vies pour ma réussite et m'ont éclairé le chemin par leurs conseils judicieux. Mon espoir qu'un jour, je pourrais leur rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi, que Dieu leur prête bonheur et longue vie. Tout le mérite vous revient !*

*A mes chers frères : Hillaal et Chafaa.*

*A mon ange Kenza, merci de faire de notre vie un bonheur.*

*A toute ma famille, cousin et cousines.*

*A mes meilleurs amis, Yamina, Assia, Kahina, Amina, Zakia, Khalida.*

*A mon binôme Siham.*

*A tous mes amis génies des procédés et science technologie du médicament et aux moments passés ensemble...*

*A toi, oui toi ...*

*Et à moi bien sûr...*

*Hanane*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui m'encourage à aller de l'avant et qui m'ont appris le chemin de la réussite et des succès.*

*A mes chers parents, qui ont sacrifié leurs vies pour ma réussite et m'ont éclairé le chemin par leurs conseils judicieux. Mon espoir qu'un jour, je pourrais leur rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi, que dieu leur prête bonheur et longue vie. Tout le mérite vous revient !*

*A mes chers frère et sœur : Makhlouf et Ryma*

*A mon chérie Mohand, merci de faire de ma vie un bonheur.*

*A toute ma famille, cousin et cousines.*

*A ma meilleur amie Samia*

*A mon binôme Hanane.*

*A tous mes amis génies des procédés et science technologie du médicament et aux moments passé ensemble...*

*A toi, oui toi ...*

*Et à moi bien sûr...*

*Siham*



***Tables des  
matières***

## Tables des matières

### LISTE DES FIGURE

### LISTE DES TABLEAUX

### LISTE DES ABREVIATIONS

### INTRODUCTION GENERALE .....1

#### Chapitre I : Synthèse bibliographique

#### Partie I.1. Présentation de la zéolite .....3

##### I.1.1. Généralité et historique .....3

##### I.1.2. Pétrographie et minéralogie .....4

###### I.1.2.1. Structure .....4

###### I.1.2.2. Propriétés physiques, chimiques et minéralogiques .....6

##### I.1.3. Géologie et gisement .....10

###### I.1.3.1. Genèse .....10

###### I.1.3.2. Critères de sélection .....12

###### I.1.3.3. Exploitation et traitement .....13

##### I.1.4. La production industrielle .....14

###### I.1.4.1. Principe .....14

###### I.1.4.2. Facteurs influents sur la synthèse des zéolithes .....15

###### I.1.4.3. Mécanismes de formation des zéolithes .....17

##### I.1.5. Secteurs d'utilisation .....18

###### I.1.5.1. Utilisation dans le domaine de la construction .....18

###### I.1.5.2. Protection nucléaire .....18

###### I.1.5.3. Agriculture .....19

###### I.1.5.4. Protection de l'environnement .....21

###### I.1.5.5. Machines thermiques et gaz industriels .....22

##### I.5.6. Médecine .....22

##### I.5.7. Autres secteurs d'utilisation .....26

#### Partie 2: Masque dermatologique .....27

##### I.2.1. Notion de la parapharmacie .....27

I.2.2. Historique sur les produits cosmétiques .....	27
I.2.3. Les produits cosmétiques .....	28
I.2.3.1. Fonction du produit cosmétique .....	28
I.2.3.2. Frontière avec le médicament .....	28
I.2.3.3. Catégories des produits cosmétiques .....	29
I.2.3.4. Composition des produits cosmétiques .....	30
I.2.4. La dermatologie .....	33
I.2.4.1. Rappels sur la peau .....	33
I.2.4.2. Les problèmes d'ordres dermatologiques .....	36
I. 2.4.3. Les Problèmes de la peau du visage .....	37
I.2.4.4. Les maladies de la peau du visage .....	39
I.2.5. Les masque .....	40
I.2.5.1. Caractéristiques – Rôle .....	40
I.2.5.2. Les différents types de masques .....	40
I.2.5.3. Quel masque choisir pour ma peau ? .....	43
I.2.5.4. Quelques précautions avant le masque .....	44
I.2.5.5. Modalités d'utilisation .....	44

## **Chapitre II : Matériels et méthodes**

<b>Partie 1 : La zéolite de Tinebdar</b> .....	45
II.1.1. Aperçu géographique et administrative .....	45
II.1.1.1. Situation de gisement de tuf .....	45
II.1.1.2. Précipitation et température .....	46
II.1.1.3. Réseau hydraulique et ressources hydriques de la région .....	46
II.1.1.4. Infrastructure autour du site .....	47
II.1.2. Contexte géologique et géomorphologique .....	47
II.1.2.1. Formation et genèse .....	47
II.1.2.2. Exploitation .....	48
<b>Partie 2 : Le masque purifiant</b> .....	49
II.2.1. Actifs cosmétiques .....	49



II.2.1.1. L'argile rouge .....	49
II.2.1.2. La zéolite .....	50
II.2.1.3. La poudre d'orange amère .....	51
II.2.1.4. L'huile de pépins de raisin .....	52
II.2.1.5. L'eau de rose .....	53
II.2.2. Mode d'action .....	54
II.2.3. Propriétés et Intérêt dermatologique .....	54
II.2.4. Ingrédient et dosage du masque .....	55
II.2.5. Mode et conseil d'utilisation .....	55
<b>Partie 3 : Formulation et caractérisation du masque</b> .....	<b>56</b>
II. 3.1. Préparation des échantillons .....	56
II. 3.1.1. Le lavage .....	56
II. 3.1.2. Le séchage .....	56
II. 3.1.3. Le concassage .....	57
II. 3.1.4. Le Broyage .....	57
II. 3.1.5. Le tamisage .....	57
II. 3.1.6. L'activation .....	58
II. 3.1.7. Le mélange .....	58
II. 3.2. Caractérisation et analyse instrumentale .....	60
II. 3.2.1. Caractérisation minéralogique .....	60
II. 3.2.2. Caractérisation chimique .....	61

### **Chapitre III : Résultats et discussions**

III.1. Analyse minéralo-chimique des minéraux bruts .....	64
III.1.1. La zéolite .....	64
III.1.1.1. Caractérisation minéralogique par diffraction des rayons X .....	64
III.1. 1.2. Analyse chimique par fluorescence X .....	64
III.1. 2. L'argile rouge .....	65
III.1.2.1. Analyse minéralogique par DRX .....	65
III.1.2.2. Analyse chimique par fluorescence .....	66

III.2. Analyse chimique de la zéolite avant et après activation .....	66
III.2. 1. Analyse par fluorescence de X .....	67
III.2.2 Analyse par absorption atomique .....	68
III.3. Analyse du masque purifiant avant et après utilisation .....	68



***Liste des  
Figures***

Liste des figures

<b>Figure I.1.1.</b> Zéolithes naturelles : a) Scolecite, b) Stilbite. ....	3
<b>Figure I.1.2.</b> Unité de base des zéolithes.....	5
<b>Figure I.1.3.</b> Neutralisation de la charge de la charpente dans une zéolite.....	5
<b>Figure I.1.4.</b> Structure poreuse des principales zéolithes utilisées industriellement.....	6
<b>Figure I.1.5.</b> Estimation de la consommation annuelle des zéolithes dans leurs principales applications.....	8
<b>Figure I.1.6.</b> Schéma de synthèse des zéolithes.....	15
<b>Figure I.1.7.</b> Mécanismes de formation des zéolithes.....	17
<b>Figure I.2.1.</b> composition générale d'un produit cosmétique.....	31
<b>Figure I.2.2.</b> Coupe de la peau [64].....	34
<b>Figure II.1.1.</b> Localisation de gisement du tuf de Remila. (Google earth).....	45
<b>Figure II.1.2.</b> Diagramme représentant la variation annuelle de la précipitation et la température de la région de Sidi Aich.....	46
<b>Figure II.1.3.</b> Extrait de la carte géologique de la région de Sidi Aich.....	47
<b>Figure II.1.4.</b> Coupe lithologique du gisement.....	48
<b>Figure II. 3.1.</b> La zéolite a), l'argile rouge b) et les oranges amères c) à l'état brute.....	56
<b>Figure II. 3.2.</b> Les échantillons de la zéolite a), l'argile rouge b) et les écorces d'orange amère c) à l'état final.....	58
<b>Figure II.3.3.</b> Schéma récapitulatif du Protocole expérimental.....	59
<b>Figure II.3.4.</b> Diffraction de Rayon X – Relation de Bragg.....	61
<b>Figure III.1.</b> Diffragtogramme de rayons X de la zéolite brute utilisée.....	63
<b>Figure III.2.</b> Histogramme de la composition chimique de la zéolite de Tinebdar.....	65
<b>Figure III.3.</b> Diffragtogramme de rayons X de l'argile utilisée .....	66
<b>Figure III.4.</b> Histogramme de la composition chimique de la zéolite de Tinebdar.....	67

**Figure III.5.** Histogramme des compositions chimiques de la zéolite brute et activée.....66

**Figure III.6.** Histogramme concentrations du masque purifiant en métaux lourds des.....67



***Liste des  
tableaux***

### Liste des tableaux

<b>Tableau I.1.1.</b> Principales propriétés physiques et chimiques des zéolithes naturelles utilisées industriellement.....	9
<b>Tableau III.1.</b> Compositions chimiques de la zéolite de Tinebdar. ....	65
<b>Tableau III.2.</b> Compositions chimiques de l'argile utilisée.....	66
<b>Tableau III.3.</b> Tableau de la composition chimique de la zéolite avant et après activation...	67
<b>Tableau III.4.</b> Les compositions chimiques de la zéolite avant et après activation.....	68
<b>Tableau III.5.</b> Tableau des concentrations du masque purifiant en métaux lourds.....	69



# ***Abréviation***



## Liste des abréviations

---

IZA : International Zéolite Association

MOR : Mordénite

LTA : Linde Type A

BTU : British Thermal Unit

FHL : Film HydroLipidique

L/H : Lipophile dans Hydrophile

RN : Route National

DRX : Diffraction des rayons X

ICDD : International Centre of Diffraction Data.

FX : Fluorescence X

SAA : Analyse par absorption atomique

PH : Potentiel Hydrogène

PAF : Perte au feu

ppm : partie par million



***INTRODUCTION  
GENERALE***

## **Introduction générale**

---

### **Introduction générale**

L'apparence physique et le bien être sont bien souvent une priorité dans la vie de chacun. En effet, l'image que l'on renvoie aux autres est quelque chose de primordial et joue un rôle non négligeable lors des contacts sociaux.

Ceci a toujours été vrai mais l'est encore plus aujourd'hui. En effet, le marché des cosmétiques ne cesse pas de croître et l'importance qu'il prend, notamment dans les officines, s'avère de plus en plus grande.

Ces cosmétiques sont en général bien tolérés par la majorité des consommateurs. Attentifs à leurs demandes, les industries cosmétiques proposent des produits toujours plus spécifiques, innovants et sophistiqués.

Mais, leur essor important fait qu'ils sont devenus des produits de grande consommation par une population de plus en plus vaste et variée. De plus ces produits ont des compositions de plus en plus complexes, avec un nombre de plus en plus important de composants.

Bien qu'ils soient réglementés et contrôlés, ces composants réputés inoffensifs s'avèrent parfois dangereux et exposent à de nombreux risques d'effets indésirables dont le diagnostic étiologique s'avère parfois difficile à établir ce qui constitue un réel problème de santé publique.

La cosmétique, qui par définition, devrait nous aider à nous sentir mieux en donnant de nous une image optimale s'avère alors source d'irritation, voire de problèmes cutanés, d'où l'importance de tourner vers le naturel qui est devenu un véritable mode de vie [1,2].

Un segment autrefois confidentiel auquel les grands groupes s'intéressent désormais. Le naturel intéresse plus que jamais les grandes marques. Ce dernier a la particularité de ne pas contenir de conservateurs (notamment des parabènes), d'allergènes, de produits synthétiques, de parfums et de colorants, Il fait appel, en partie, à des composants naturels : des cires, des eaux florales, des huiles végétales, des huiles essentielles, des argiles, des poudres de roches etc.

## Introduction générale

---

C'est pour cette raison que, dans ce travail, nous avons essayé de contribuer à la mise au point d'un nouveau produit en utilisant des matériaux appartenant à la famille des aluminosilicates qui sont les zéolites.

Les zéolites possèdent une affinité élevée pour piéger le plomb, le cadmium, l'arsenic, le mercure et d'autres métaux lourds potentiellement dangereux qui ont envahi notre monde actuel [3].

L'intérêt des recherches menées au cours de cette étude étant alors d'élaborer un masque purifiant naturel à base de la zéolite capable de filtrer et de retenir ces toxines et ainsi ouvrir une autre piste de traitement cosmétique qui visera la faisabilité au niveau industriel.

Le manuscrit s'articulera de la manière suivante :

Le premier chapitre est structuré en deux parties :

La première partie sera consacrée à la présentation de quelques éléments bibliographiques sur les zéolites permettant ainsi d'approfondir nos connaissances de celle-ci.

La deuxième partie est orientée vers des généralités sur la cosmétologie et la dermatologie.

L'origine de la zéolite utilisée, Le protocole expérimental et les différentes techniques de caractérisation seront présentés dans les trois parties du second chapitre.

Le dernier chapitre regroupe les résultats issus de nos différentes analyses, les conclusions et les perspectives de ce travail.

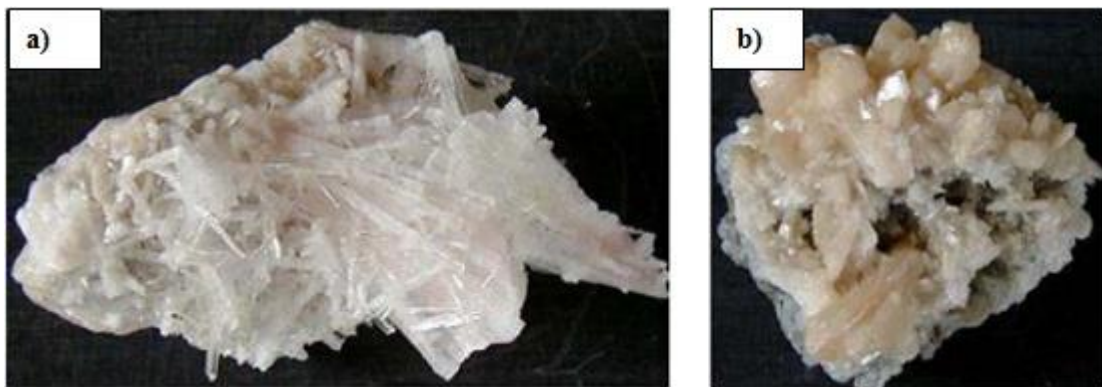


# ***CHAPITRE I***

## Partie I.1. Présentation de la zéolite

### I.1.1. Généralité et historique

L'histoire des zéolithes a véritablement commencé avec la découverte, il y a environ 250 ans (1756) par le minéralogiste suédois A.F. Cronstedt d'un minéral (la stilbite). Cette nouvelle famille de minéraux considérés comme matériaux inorganiques composé essentiellement de silicates, d'aluminium et d'oxygène. Il remarquera que sous l'effet de la chaleur, ce matériau dégage une importante quantité d'eau et l'appela zéolithe dont l'étymologie grecque « zéo- » (de zein, bouillir) et « -lithe » (de lithos, pierre) peut être traduite par « pierre qui bout » [4,5].



**Figure I.1.1.** Zéolithes naturelles : a) Scolecite, b) Stilbite [6].

Malgré cette importante découverte, cette nouvelle classe de minerais n'a présenté de l'intérêt que quelques décennies plus tard. Ainsi en 1840, Damour [7] découvrit que les cristaux de zéolithes pouvaient être déshydratés par un processus réversible et que cette déshydratation n'induisait aucun changement dans la morphologie de ces matériaux. En 1858, Eichhorn [8] mit en évidence la réversibilité du phénomène d'échange d'ions dans les minéraux. En 1862, St. Clair Deville [9] établit la première synthèse hydrothermale de la zéolithe : la levynite. En 1896, Friedel [10] développa l'idée que la structure des zéolithes déshydratées est constituée de sous structures ouvertes après avoir vu que de nombreux liquides comme l'alcool, le benzène, et le chloroforme peuvent y être enfermés. En 1930, les premières structures de zéolithes furent déterminées par Taylor [11] et Pauling [12] [13]. Au milieu des années 1930, on commença à trouver des ouvrages qui décrivent les procédures d'échanges d'ions, les propriétés d'adsorption, de tamisage moléculaire, et les propriétés structurales de zéolithes minérales naturelles et synthétiques. Pendant cette période et jusqu'aux années quarante, Barrer commença un travail innovant sur l'adsorption et la synthèse de zéolithes. Il établit en 1945 [14] la première classification fondée sur la taille

moléculaire des zéolithes connues à l'époque et présenta en 1948 [15] la première synthèse de zéolithes y compris la synthèse d'une mordenite analogue de la naturelle. En 1950, au laboratoire de l'entreprise Union Carbide, Dr. Robert M. Milton synthétisa la faujasite X de manière reproductible avec une grande pureté. Une année après, Dr. Donald W. Breck rejoignit le groupe de Milton et synthétisa, en 1954, la faujasite Y [16]. En 1959, l'Union Carbide commercialisa la zéolithe HY comme catalyseur pour l'isomérisation des paraffines [16] [17].

Les études et les applications des zéolithes ont augmenté considérablement ces dernières décennies et une grande quantité de publications et brevets ont été diffusés [18].

Les zéolithes naturelles sont de plus en plus substituées par des zéolithes synthétiques et aujourd'hui plus de 150 structures cristallines différentes de la zéolite sont connues [19] dont le nom est désigné, selon la « commission structure » de l'IZA (International Zeolite Association), par un code de trois lettres capitales [20].

## **I.1.2. Pétrographie et minéralogie**

### **I.1.2.1. Structure**

Les zéolites sont des minéraux poreux cristallins. Ce sont généralement des aluminosilicates que l'on trouve dans les bassins sédimentaires et dans des régions volcaniques [21].

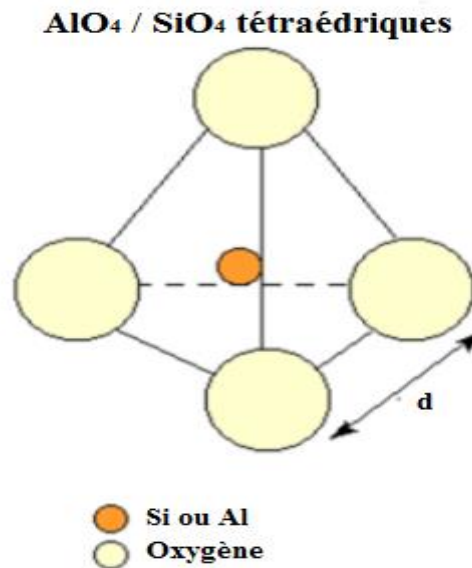
Les zéolites appartiennent à la famille des tectosilicates. Leur structure cristalline tridimensionnelle résulte de l'agencement de tétraèdres TO<sub>4</sub> («T» étant un atome à coordinence tétraédrique représentant généralement les éléments Si et Al) qui constituent les unités structurales primaires du réseau cristallin. Ces derniers se connectent entre eux par les atomes d'O en respectant la règle de Loewenstein, qui exclue la formation de liaison entre deux tétraèdres AlO<sub>4</sub> adjacents, pour aboutir à la formation d'« unités secondaires de construction » tels que les cubes, les prismes hexagonaux, les cuboctaèdres, les cages, etc. La connexion de ces unités donne naissance à des canaux de dimensions bien régulières. La structure finale de la zéolite est le résultat de l'assemblage des unités secondaires [22].

La composition des mailles élémentaires d'une zéolite s'écrit comme suit :



Où : (M) est le cation compensateur de charge et (n) sa valence.

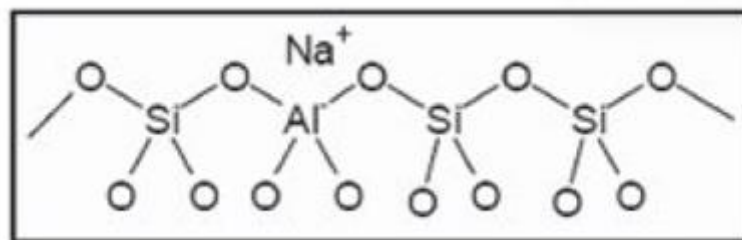
Dans tous les cas M représente un cation échangeable, soit métallique-alcalin ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ...), alcalino-terreux ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ...) ou métal de transition-soit un ammonium, soit un proton [24]. (x) et (y) sont le nombre total de tétraèdres  $\text{AlO}_4$  et  $\text{SiO}_4$  par maille, et (w) est le nombre de molécule d'eau par maille [23].



**Figure I.1.2** : unité de base des zéolithes [25].

La présence des atomes d'aluminium, qui ne peuvent accepter que l'électron donné par trois atomes d'oxygène crée au sein du réseau zéolitique un déficit de charges qui sera compensé par l'ajout de cations [26]. Ces cations jouent un rôle important dans la détermination des propriétés catalytiques, d'adsorption, et de séparation des zéolites [27]. Ils sont répartis au sein du réseau de la zéolite où ils occupent des positions bien définies [23].

On utilise souvent le rapport Si/Alqui, dans tous les cas, est supérieur à un, puisque deux atomes d'aluminium ne peuvent être voisins directs selon la règle de Loewenstein [19] pour définir la nature d'une zéolithe [23]. Ce rapport peut cependant s'élever jusqu'à l'infini dans les matériaux purement siliciques (silicate) [28].

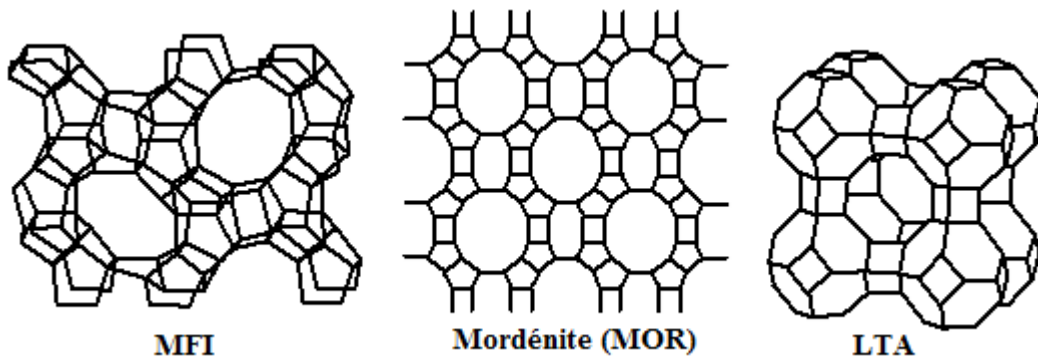


**Figure I.1.3.** Neutralisation de la charge de la charpente dans une zéolithe [29].

La structure a des canaux et cavités de dimensions moléculaires dans lesquels se trouvent les cations de compensation et des molécules d'eau. Ces deux espèces ont une grande



mobilité ce qui explique que l'échange ionique et la déshydratation soient réversibles. Ce type de structure microscopique fait que les zéolithes ont une surface interne extrêmement grande (entre 500 et 1000 m<sup>2</sup>/g) par rapport à la surface externe. La microporosité est ouverte et la structure permet le transfert de matière entre l'espace inter cristallin et le milieu qui l'entoure. Ce transfert est limité par le diamètre des pores des zéolites, car seules les molécules qui ont des dimensions inférieures pourront entrer ou sortir du réseau cristallin du solide. Le diamètre de pore se situe entre 2 et 12 Å [30].



**Figure I.1.4.** Structure poreuse des principales zéolites utilisées industriellement [31] [32].

### I.1.2.2 Propriétés physiques, chimiques et minéralogiques

Toutes les applications des zéolites naturelles mettent en jeu une ou plusieurs des différentes propriétés physiques ou chimiques fondamentales qui caractérisent ces minéraux, propriétés qui sont directement liées à leur composition chimique et à leur structure cristalline [26].

Les principales propriétés remarquables des zéolites naturelles sont [33] :

- un haut degré d'hydratation et une facilité à se déshydrater,
- une basse densité et un volume important, une fois déshydratées,
- une stabilité du réseau structural cristallin après déshydratation,
- des propriétés d'échange des cations,
- des chaînes de taille moléculaire uniforme (canaux homogènes) dans les cristaux déshydratés,
- une capacité d'adsorption de composés gazeux,
- des propriétés catalytiques avec des protons H<sup>+</sup> à changement de forme,
- des propriétés électriques particulières.

Il existe trois grandes propriétés qui rendent les zéolites importantes du point de vue technologique : leur sélectivité et leurs performances, leurs propriétés échangeuses d'ions, et leurs caractéristiques catalytiques actives.

➤ **L'échange ionique**

La principale application industrielle des zéolites est l'échange ionique. Les tonnages utilisés sont nettement supérieurs à ceux des applications en adsorption et catalyse [34]. La capacité d'échange d'ions des zéolites est due à la présence dans la charpente minérale d'espèces divalentes ou trivalentes (l'aluminium) qui substituent partiellement les atomes de silicium.

Les cations extra charpentes de la structure peuvent être échangés partiellement ou totalement par d'autres cations par un processus réversible [35,36].

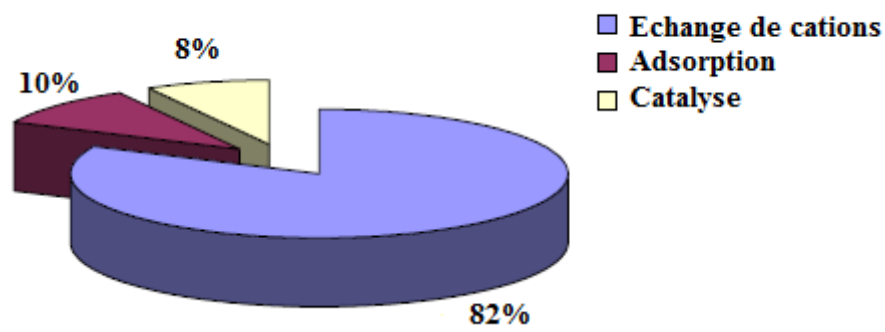
La capacité d'échange d'une zéolite peut être définie comme étant la quantité de cations que celle-ci peut retenir par gramme de zéolithe. Plus la zéolithe est riche en aluminium, plus sa capacité d'échange est grande (Les zéolites qui ont le plus de tétraèdres en charge négative dans leurs réseaux, ont une capacité d'échange cationique plus élevée) [37].

➤ **L'adsorption**

Les zéolites hydrophobes ont été identifiées comme une alternative intéressante au charbon actif pour ce domaine d'utilisation de l'adsorption [38]. La diversité de structure et de composition chimique permet la construction de matériaux présentant des propriétés d'adsorption très sélective vis-à-vis d'un composé précis, ce qui fait que le matériau pourra être utilisé pour l'extraction et le stockage de ce composé. On emploie souvent le terme de « tamis moléculaire » pour désigner les zéolithes. Elles permettent de séparer des molécules de taille et de nature différentes [35,36].

➤ **Catalyse**

La dernière grande application des zéolites est leur utilisation en catalyse. Leur grande surface interne permet de remplacer un catalyseur synthétisé sous forme de poudre. L'adsorption de molécules sur la surface interne de la zéolite modifie les propriétés de cette molécule, la rendant parfois plus réactive. Les zéolites échangées avec des protons sont des catalyseurs acides particulièrement efficaces. Les catalyseurs zéolitiques présentent, en plus d'une activité catalytique importante, une forte sélectivité en raison de l'existence d'une sélectivité d'adsorption [39]



**Figure I.1.5 :** Estimation de la consommation annuelle des zéolites dans leurs principales applications [40].

Les principales propriétés physiques et chimiques des zéolites naturelles utilisées industriellement sont consignées dans le tableau I.1.1.

**Tableau I.1.1.** Principales propriétés physiques et chimiques des zéolites naturelles utilisées industriellement [26].

Espèce minérale	Formule structurale type	Système cristallin	Porosité (%)	Densité réelle	Dimensions des canaux (Å°)	Stabilité thermique	Capacité d'échange cationique (meq/g)	Principaux cations échangeables
chabazite	$(\text{Na}_2\text{Ca})_6(\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40\text{H}_2\text{O}$	Hexagonal	47	2,05-2,10	3,7×4,2	Elevée	3,81	Ca, Na
Clinoptilolite	$(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_{12}\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	Monoclinique	39 ?	2,16	3,9×5,4	Elevée	2,54	Na, K
Erionite	$(\text{Na}_2\text{Ca}_6\text{K})_9(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{27}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$	Hexagonal	35	2,02-2,08	3,6×5,2	Elevée	3,12	Na, K
Heulandite	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	Monoclinique	39	2,10-2,20	4,0×5,5 4,4×7,2 4,1-4,7	Basse	2,91	Ca, Na
Mordénite	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	Orthorhombique	28	2,12-2,15	2,9×5,7	Elevée	2,29	Ca, Na
Phillipsite	$(\text{Na}_2\text{K})_{10}(\text{Al}_{10}\text{Si}_{22}\text{O}_{62}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$	Orthorhombique	31	2,15-2,20	4,2×4,4 2,8×4,8 3,3	Basse	3,87	K
Analcime	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Cubique	18	2,24-2,29	2,6	Elevée	4,54	Na

### **I.1.3. Géologie et gisement**

#### **I.1.3.1. Genèse**

Les zéolites naturelles sont connues depuis longtemps en tant que minéraux bien cristallisés, présents en remplissage de vacuoles, de géodes et de fissures dans les roches magmatiques et métamorphismes. Mais seulement en 1933 qu'une publication a fait état pour la première fois l'existence de minéraux zéolitiques au sein de roches sédimentaires.

De nombreux travaux scientifiques ont montré que les minéraux zéolitiques se rencontrent dans divers contextes géologiques, dans des roches de nature et d'âge variables, et qu'ils peuvent se former à partir de différents matériaux initiaux, dans des conditions physico-chimiques également variables.

Dans la très grande majorité des cas, les zéolites proviennent de la transformation du verre volcanique, aluminosilicaté et amorphe, thermodynamiquement instable, en présence d'une phase aqueuse (réactions de dissolution-précipitation), à différents stades d'évolution d'un dépôt (syngénèse, diagenèse, épigénèse). De ce fait, les roches pyroclastiques (tufs et brèches, cendreuses et/ou ponceuses, de type écoulements ou retombées aériennes ; ignimbrites non soudées ;...) et épicyclastiques (ou volcano-sédimentaires), situées dans des zones volcaniques ou des bassins sédimentaires, constituent les formations géologiques les plus favorables au développement des zéolites par altération du verre volcanique.

Les zéolites peuvent toutefois également se former à partir de matériaux autres : argiles smectitiques, silice biogénique, feldspaths, quartz, etc et minéraux zéolitiques eux même.

Les principaux paramètres physico-chimiques qui contrôlent la genèse et la stabilité des zéolites, déduits des données de terrain et des études expérimentales, sont la texture et la composition de la roche hôte, la salinité de la solution interstitielle, le temps de réaction, la température, la pression, le pH, le rapport d'activité Si/Al, les activités de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et la pression partielle d'eau. Certains de ces paramètres étant intimement liés entre eux, il est parfois difficile de préciser leur importance relative.

Néanmoins, il apparait que la pression, la température et le temps sont les trois paramètres physiques qui conditionnent le plus fortement l'altération zéolitique, et que le pH du milieu est un paramètre chimique déterminant dans la mesure où il contrôle la vitesse des réactions. A pH 9,5 par exemple (cas de nombreux lacs désertiques), la formation d'importantes quantités de zéolites ne nécessite que quelques milliers d'années. D'une

manière générale, la vitesse de dissolution du verre augmente avec la salinité et l'alcalinité du milieu.

Les conditions les plus favorables au développement d'une altération rapide et intense du verre volcanique, et à la genèse des zéolites, sont réunies quand le matériel pyroclastique parental est vitreux et très finement divisé (cas des cendres) et quand le pH, la teneur en silice des solutions (qui favorisent la coordinance tétraédrique de l'aluminium) et l'activité des ions alcalins et alcalino-terreux sont élevés dans le milieu.

D'autre part, certains paramètres influent sur l'apparition de telle ou telle espèce zéolitique. L'augmentation de la température, de la force ionique et de la pression partielle de CO<sub>2</sub> favorise la cristallisation des zéolites les moins hydratées telles que la modernité.

La composition chimique des produits volcaniques originels peut, dans certains cas, jouer un rôle également : la philippite se développe le plus souvent aux dépens d'un matériel basaltique et la clinoptilolite aux dépens d'un matériel siliceux, en contexte sédimentaire marin [26].

On reconnaît aujourd'hui six principaux types de gisements :

➤ **Système hydrologique fermé**

Il s'agit de systèmes fermés dans lesquels l'eau est confinée, ne pouvant se déplacer librement à l'intérieur et vers l'extérieur de ceux-ci. Typiquement, ce sont des gisements formés dans les lacs salés et alcalins, à partir de dépôts pyroclastiques (retombées aériennes) vitreux et cendreux, et caractérisés par un degré de pureté élevé.

➤ **Système hydrologique ouvert**

Dans ces systèmes, les eaux de percolation, météoriques et souterraines, se déplacent librement à travers les roches encaissantes. Au cours de cette migration, leur composition chimique se modifie du fait de la dissolution des matériaux volcaniques vitreux et réactifs. Dans les zones où l'eau reste relativement peu minéralisée, le verre s'altère en montmorillonite, et les zéolites se forment dans les zones où elle est plus alcaline.

➤ **Métamorphisme d'enfouissement**

Les zéolites et les minéraux associés se rencontrent couramment dans d'épaisses séquences volcanosédimentaires marines affectées par un métamorphisme de faible

intensité. La succession verticale des assemblages minéraux traduit un degré d'hydratation décroissant, et une température et une pression de formation croissante avec la profondeur.

➤ **Hydrothermal**

Les minéraux zéolitiques et associés sont courants dans les zones ayant subi une altération hydrothermale, notamment dans les champs géothermiques anciens et actuels et dans les dépôts de sources chaudes.

➤ **Sédimentaire marin**

Les zéolites se forment à basse température en contexte sédimentaire marin. Elles peuvent remplacer jusqu'à 80% des sédiments marins initiaux.

➤ **Zones d'altération**

Des zéolites peuvent se former, le plus souvent aux dépens de matériaux volcaniques, dans des sols salés et alcalins. Les solutions percolantes, alimentées par les eaux météoriques, y sont de type carbonaté sodique du fait de l'évapotranspiration [26].

### **I.1.3.2. Critères de sélection**

D'un point de vue géologique, les gisements de zéolites naturelles qui présentent le plus grand intérêt économique sont les gisements :

- "Système hydrologique fermé", qui recèlent souvent des niveaux zéolitiques d'épaisseur relativement modérée (quelques dizaines de centimètres à quelques mètres), mais dans lesquels les zones submonominérales contenant des zéolites à larges pores (chabazite notamment) ne sont pas rares, ce qui n'est généralement pas le cas dans les autres types de gisements.
- "Système hydrologique ouvert" et "sédimentaire marin", où les niveaux zéolitiques sont caractérisés par la clinoptilolite et la mordénite, et dont les épaisseurs atteignent quelques dizaines à quelques centaines de mètres.

Les gisements de types "hydrothermal" et "métamorphisme d'enfouissement" peuvent également recéler des ressources exploitables.

Par ailleurs, et d'une manière générale, la priorité sera donnée aux gisements stratiformes et situés en position affleurante ou subaffleurante afin de permettre une exploitation à ciel ouvert.

D'un point de vue minéralogique, les gisements les plus recherchés sont ceux dont les matériaux contiennent au moins 70% d'une même espèce zéolitique [26].

### **I.1.3.3. Exploitation et traitement**

L'extraction des matériaux zéolitiques est le plus souvent réalisée, après abattage à l'explosif, à l'aide de moyens mécanisés conventionnels (bulldozers, scrapers, chargeuses). Elle peut être conduite en gradins quand les niveaux sont épais, et être sélective quand les gisements sont composites.

On procède habituellement au contrôle de la qualité des matériaux à différents stades : à partir d'échantillons de sondages, et de prélèvements au front de taille, au chargement des camions et dans le circuit de traitement.

Dans la majorité des cas, les matériaux zéolitiques bruts font l'objet d'un traitement par voie sèche, qui comprend habituellement le concassage, le broyage et le tamisage.

Les coupures granulométriques peuvent être de plus affinées par une sélection à l'aide de classificateurs pneumatiques (cyclones à air), et la concentration des matériaux en zéolites peut être augmentée par séparation densimétrique (élimination des impuretés).

Un traitement des matériaux par voie humide est parfois réalisé, comprenant la sélection par hydrocyclones, le lavage à l'eau (élimination des impuretés et des fines), la floculation et la filtration.

Par ailleurs, des applications très spécifiques requièrent de plus des traitements particuliers qui améliorent certaines propriétés des zéolites naturelles :

- Traitement acide (lavage à HCl par exemple) et calcination à 550°C, pour augmenter le rapport Si/Al (désalumination) et la surface spécifique, et donc la capacité d'adsorption ;
- Echange et activation (avec NaCl, CaCl<sub>2</sub>, NaOH,...) pour accroître les capacités d'échange cationique et d'adsorption



- Hydratation : la chabazite hydratée à des applications faisant intervenir l'échange cationique par exemple ;
- Pelletisation et légère calcination pour réduire la friabilité.

D'autres types de traitements spéciaux sont actuellement au stade des essais, par exemple :

- La modification de la structure des zéolites hydrophiles en vue de les rendre organophyles (affinité pour les composés organiques) afin de séparer l'eau des composés organiques et d'améliorer les propriétés désodorisantes ;
- Le traitement pour favoriser la sélectivité des zéolites vis-à-vis des composés anioniques tels que le chrome hexavalent [26].

### **I.1.4. La production industrielle**

Les zéolithes de synthèse ont remplacé progressivement les zéolithes naturelles. En effet, ces dernières n'ont que peu d'intérêt pour les chimistes de part la présence d'impuretés. A ce jour, il existe près de 200 zéolithes différentes dont 150 ont été conçues en laboratoire [22].

#### **I.1.4.1. Principe**

Les zéolithes sont obtenues généralement par synthèse hydrothermale sous des conditions très proche de celles qui ont donné les zéolithes naturelles. Celle-ci passe par la préparation d'un hydrogel (milieu réactionnel) qui contient une source de silicium et une source d'aluminium, dans le cas de la synthèse de zéolites de type aluminosilicates, une source d'un agent minéralisateur ( $\text{OH}^-$  ou  $\text{F}^-$ ) et des cations de compensation (généralement des alcalins ou des alcalino-terreux). La présence d'un agent structurant organique est parfois nécessaire (sels d'amine quaternaire, des amines, des éthers cycliques...).

Le vieillissement de ce gel à température ambiante (ou légèrement supérieure) permet la dissolution lente de ce solide et la formation dans la solution de monomères et oligomères silicates et aluminates qui se condensent en précurseurs aluminosilicatés spécifiques de la structure souhaitée (unités de construction secondaires) ; ceux-ci s'organisent en structures plus étendues conduisant finalement à la phase cristalline. Les diverses étapes sont indiquées dans la figure ci-dessous. La cristallisation est réalisée entre 60 et 200°C, un autoclave devra être utilisé pour les températures supérieures à 100°C. Comme toute cristallisation, la

zéolitisation peut être divisée en trois étapes : super saturation de la solution, nucléation, croissance des cristaux [41].

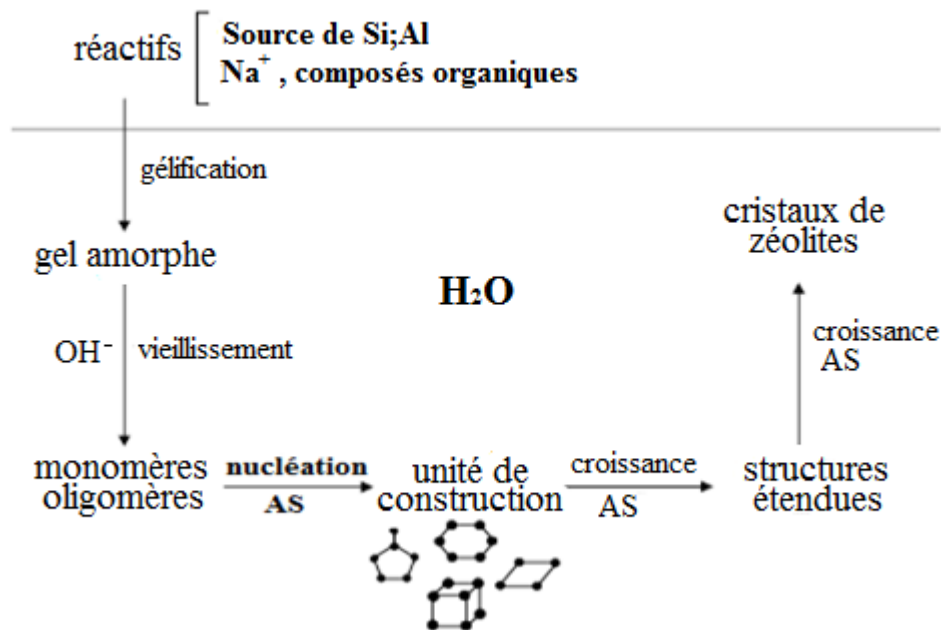


Figure I.1.6. Schéma de synthèse des zéolites [42-44].

#### I.1.4.2. Facteurs influents sur la synthèse des zéolithes

Le mécanisme de formation des zéolithes n'est cependant pas encore bien clarifié parce qu'en plus de la température et la pression, beaucoup d'autres paramètres influencent la synthèse de ces matériaux. Les plus importants parmi eux sont :

##### ➤ La nature des réactifs et la composition du mélange

La nature des réactifs et la composition du mélange réactionnel de départ sont des facteurs très importants dans la synthèse des zéolithes. En effet, une source de silice très réactive favorise, d'une part, la formation de la phase zéolitique métastable (produit cinétique) et conduit, d'autre part, à l'augmentation du nombre de centres de nucléation et par conséquent à des cristaux de petite taille [41].

Une zéolite donnée ne peut se former que dans un domaine bien défini de rapports SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> du mélange réactionnel de départ. Le changement de ce paramètre peut conduire soit à une autre phase, soit à de l'amorphe ou un mélange de phase [45].

➤ **L'influence du pH**

L'alcalinité de la solution affecte également la composition de la zéolite (diminution du rapport Si/Al avec l'augmentation du pH) et la morphologie des cristaux [42-44].

➤ **Le vieillissement**

Il consiste à laisser mûrir le gel à une température inférieure à celle de cristallisation de la zéolite. Ceci a pour conséquence de stabiliser le germe d'une zéolite donnée au détriment des autres, et d'orienter le milieu de synthèse vers la formation de la phase zéolitique désirée [46]. En plus, une augmentation du temps de mûrissement se traduit par une augmentation du nombre de germes et par conséquent une diminution de la taille des cristaux de la zéolite formée [47,48].

➤ **L'ajout de germes**

Les germes utilisés dans cette méthode peuvent être obtenues par broyage des cristaux de zéolites ou par synthèse directe. Une fois ajoutés au milieu réactionnel, ces germes (nanocristaux) vont se comporter comme des centres de croissance [48] ; ce qui va rendre la réaction plus spécifique et donc on peut par cette méthode contrôler le type de zéolite obtenue.

➤ **L'agitation**

L'agitation est une étape très importante dans la synthèse des zéolites pour homogénéiser le milieu réactionnel. En effet, le temps et la vitesse de l'agitation ont une grande influence non seulement sur la taille des cristaux et leur distribution lors de la synthèse des zéolites mais aussi sur la nature de la phase formée c'est-à-dire pour une même composition de gel de synthèse, on peut avoir par exemple une zéolite en absence d'agitation et une autre de nature différente en présence de celle-ci [49].

➤ **Influence de température de synthèse**

La température a également un effet sur la synthèse de zéolites puisqu'elle influence la vitesse de cristallisation (augmenter la température permet d'obtenir des temps plus courts de cristallisation), et la taille des cristaux obtenus. La température détermine aussi le type de zéolite formé, généralement des températures de synthèse élevées conduisent à la formation de phases denses.

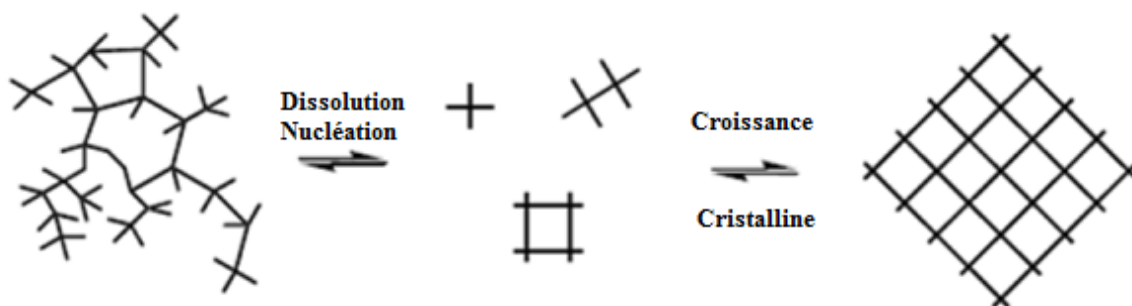
➤ **Influence de la durée de synthèse**

La durée de cristallisation est un facteur déterminant dans la synthèse des zéolites. Le contrôle de ce facteur joue un rôle très important dans l'obtention de la phase zéolitique désirée. En effet, une durée de chauffage prolongée conduit à la formation des phases zéolitiques thermodynamiquement stables non désirées, un temps de cristallisation très lent conduit à la formation des phases denses [50].

### I.1.4.3. Mécanismes de formation des zéolites

Deux mécanismes ont été proposés pour la formation des zéolites. Le premier se fait par la transformation directe du gel de synthèse en zéolite par la réorganisation de la phase solide (figure). Le deuxième par contre stipule que celle-ci se fait en solution. En effet, la phase solide (gel de synthèse) joue le rôle de réservoir de réactifs et se dissout sous l'influence des agents minéralisateurs  $\text{OH}^-$  et  $\text{F}^-$  pour former des germes qui croît ensuite en solution pour générer le cristal (figure) [51].

#### 1<sup>er</sup> mécanisme



#### 2<sup>ème</sup> mécanisme

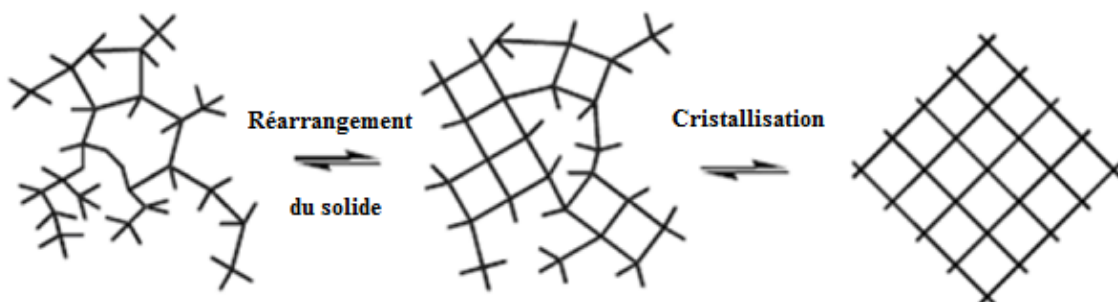


Figure I.1.7. Mécanismes de formation des zéolites [51].

### **I.1.5. Secteurs d'utilisation**

La variété des typologies de zéolites et de leur composition chimique confère à ces dernières une large variété de propriétés compatible avec des applications industrielles dans divers domaines.

#### **I.1.5.1. Utilisation dans le domaine de la construction**

##### **➤ Utilisation dans les ciments**

Certaines zéolites sont capables de remplacer avec succès les fumées de silice dans la formulation des ciments en améliorant les performances de ces derniers : résistance à la compression supérieure et réduction de l'expansion causée par les réactions alcalins-granulats dans les bétons. Ces meilleures performances de mélanges ciment-tuf zéolitiques sont attribuées à une plus grande réactivité de la chaux avec les zéolites comparativement aux verres volcaniques.

Du fait de cette plus grande réactivité, l'hydratation des mélanges ciment-tuf zéolitiques est plus rapide, et la formation d'une phase non cristallisée, de type silicate de calcium hydraté, capable d'incorporer les éléments alcalins libres présents dans le mélange, est accélérée [26].

##### **➤ Utilisation dans les bétons**

Les tufs zéolitiques peuvent également être utilisés pour la fabrication, par calcination à des températures de 1200 à 1400°C, de matériaux expansés, ou granulats légers qui entrent dans la composition de bétons allégés [26]. Matériaux plus légers que le sable du fait de leur structure poreuse, elles permettent de réduire la densité des bétons et d'augmenter leur vitesse de cicatrisation en maintenant un niveau élevé de résistance [52].

#### **I.1.5.2. Protection nucléaire**

Les zéolithes ont une place de premier plan en matière de protection nucléaire. Rappelons que dans les deux cas majeurs d'accidents nucléaires civils (Three Miles Island et Tchernobyl), les zéolithes ont été utilisées avec succès.

Les zéolithes interviennent pour le piégeage de radioéléments tels que le césium et le strontium. Elles sont mises en œuvre dans des filtres pour piéger les éléments radioactifs

contenus dans les effluents ou mélangées dans des bétons afin de confiner la pollution radioactive [52].

### **I.1.5.3. Agriculture**

Les zéolites naturelles sont largement utilisées dans le secteur de l'agriculture au sens large, en tant qu'amendements de sols et substrats de cultures, supports de fertilisants et de produits phytosanitaires, et additifs dans l'alimentation et les litières animales.

Les matériaux zéolitiques sont utilisés pour l'amendement des sols où leur action se traduit par :

- Une augmentation de leur capacité d'échange cationique, c'est-à-dire de leur aptitude à fixer les substances nutritives des plantes (azote, potassium, calcium, ammonium, phosphore) qui sont ainsi libérées de façon progressive dans les sols (efficacité prolongée) et les cations indésirables, notamment les métaux lourds (Cu, Cd, Pb, Zn,...), ce qui réduit leur consommation par les plantes ;
- Un apport en éléments nutritifs qu'elles contiennent naturellement (potassium, calcium, sodium) et qui sont libérés dans les sols par échange cationique ;
- Une amélioration de la structure physique et de l'aération des sols.

L'efficacité de l'incorporation des zéolites naturelles dans les sols est d'autant plus importante que ceux-ci sont acides, sableux et dépourvus de matière organique.

L'aptitude des zéolites naturelle à fixer les substances nutritives est, du fait de leur forte sélectivité pour cet ion, particulièrement développée pour l'ammonium, ce qui ralentit sa consommation par les bactéries nitrifiantes, permettant ainsi de diminuer l'emploi des fertilisants azotés.

Les produits zéolitiques sont par ailleurs employés comme substrats de cultures hors-sol (cultures dites "hydroponiques" ou "zéolitiques"), composts(en mélange avec des lisiers, fumiers et tourbe par exemple), supports de semences (amélioration de la germination) et additifs ou supports d'engrais (azotés, phosphatés, potassiques,...) et de produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides, pesticides) en tant qu'agents antimottants et en apportant un effet retard [26].

L'alimentation animale constitue le secteur d'utilisation des zéolites naturelles qui connaît la plus forte croissance. Elles entrent, à raison de 1 à 15% selon les cas, dans la composition des rations alimentaires, et ont pour effet d'une manière générale :

- D'améliorer l'assimilation des aliments : les zéolites agissent comme un tampon dans le système digestif de l'animal, emmagasinant l'azote sous forme d'ions ammonium et le restituant progressivement par échange ionique avec le sodium et le potassium. Ceci se traduit par une augmentation du taux de croissance et de la qualité des productions (viande, lait, œufs...);
- D'améliorer l'état de santé des animaux : réduction des maladies gastro-intestinales et cardiaques, meilleure ossification du squelette, adsorption d'éléments toxiques (métaux lourds notamment), abaissement du taux de mortalité ; d'où une économie dans la consommation d'antibiotiques et d'autres médicaments ;
- D'améliorer les caractéristiques des déjections, qui sont plus sèches et moins odorantes, et par là même celles des fumiers qui peuvent être mieux valorisés en tant que fertilisants [26].

Dans le secteur de l'élevage, les zéolites naturelles, du fait de leurs propriétés déshydratantes et désodorisantes, sont de plus utilisées pour l'assainissement de l'atmosphère des locaux et comme composants des litières. Cela a également pour effet d'améliorer le bien-être et l'état de santé des animaux [26].

En aquaculture, les zéolites naturelles sont utilisées en alimentation et pour l'épuration des eaux des systèmes qui fonctionnent en circuits fermés, notamment pour l'élimination de l'ammoniac, du fait de leur grande sélectivité pour ce dernier. Ce composé, produit par la dégradation des aliments non consommés et par les déjections des poissons, peut, dans des environnements appauvris en oxygène et à des concentrations excédant quelque ppm, causer différents types de maladies et même la mort des poissons.

Des graviers de zéolites naturelles sont utilisés dans les aquariums pour la même raison. Il a été démontré qu'elles peuvent éliminer 97 à 99% de l'ammoniac dans une eau où sa concentration n'est seulement que de 0,3 mg/l. [26]

#### I.1.5.4. Protection de l'environnement

Compte tenu de leur capacité d'adsorption et d'échange cationique et de leur sélectivité vis-à-vis d'ions et de molécules indésirables (ammonium, métaux lourds et radionucléides notamment), les zéolites naturelles sont des matériaux actifs utilisés pour le traitement d'effluents liquides et gazeux et de déchets solides divers (urbains, agricoles, industriels, miniers et radioactifs), ainsi que pour le confinement de certains déchets.

L'emploi des zéolites naturelles dans le traitement par filtration des eaux usées d'origine urbaine a pour effet de réduire les teneurs en ammonium, en métaux lourds (Cd, Cu, Pb, Ni, Zn, Cr, Ba,...), en substances chlorées, en phosphore, en azote, en composés organiques et en herbicides.

L'adjonction de zéolites naturelles sous forme pulvérulente dans les boues des stations d'épuration permet d'en optimiser le traitement. Ces matériaux ont également pour principaux effets :

- D'augmenter la vitesse de sédimentation des boues.
- D'améliorer leurs caractéristiques (boues plus sèches et moins odorantes), ce qui facilite leur stabilisation.
- De diminuer le temps de décomposition de l'azote ammoniacal (oxydation des ions ammoniac en nitrates par les bactéries nitrifiantes).
- D'améliorer la rétention des métaux lourds résiduels dans les boues, ce qui rend plus sûr l'emploi de ces dernières en agriculture. [26]

Les zéolites naturelles constituent en effet des supports bactériens idéaux qui permettent aux microorganismes de se fixer plus rapidement et, compte tenu de leur surface spécifique élevée et de l'apport qu'elles représentent en éléments nutritifs (Na, K, Ca, Mg), de se développer plus facilement.

Ces supports biologiques sont capables de dégager des polluants organiques, Les microorganismes sont prélevés in situ et sélectionnés en fonction du type de polluant. Les zéolites servent non seulement de support mais aussi de stabilisateur de pH et de séquestrant de certains polluants comme les métaux lourds [52].



**I.1.5.5. Machines thermiques et gaz industriels**

Compte tenu de leur propriété unique d'adsorption et de désorption de l'eau et de certains gaz, les zéolites sont des échangeurs de chaleur utilisés pour la production d'air conditionné, la réfrigération et le chauffage de l'eau [26].

Du fait de leur propriété d'adsorption sélective, les zéolites naturelles permettent de séparer différents composés gazeux, notamment l'azote et l'oxygène pour la production d'air enrichi en oxygène [52].

Il a été démontré qu'une tonne de zéolites naturelle incorporées dans des panneaux solaires ayant une surface au sol d'environ 20 m<sup>2</sup> peut produire une tonne d'air conditionné.

La déshydratation des zéolites durant la journée, et leur réhydratation durant la nuit, permettent des échanges énergétiques de plusieurs centaines de BTU par kilogramme de zéolites, ce qui est suffisant pour la climatisation de petits bâtiments et pour le fonctionnement de réfrigérateurs.

Les zéolites naturelles peuvent absorber de grandes quantités de gaz réfrigérants différents à une température proche de la température ambiante. Si ces matériaux sont alors chauffés dans un système fermé, elles résorbent ces gaz à des pressions considérablement supérieures et sont ainsi capables de remplacer le compresseur habituellement employé dans les systèmes de réfrigération et de pompe à chaleur. Le chauffage et le refroidissement en alternance des zéolites permettent la désorption de grandes quantités de gaz réfrigérants à une pression élevée à laquelle se produit leur condensation.

L'adsorption à basses pressions qui s'en suit provoque l'évaporation du liquide réfrigérant, d'où une baisse substantielle de la température.

Les champs d'application des procédés thermiques mettant en jeu les zéolites naturelles sont vastes (habitat, loisirs, transports), et ils paraissent potentiellement importants, en particulier pour les pays en voie de développement confrontés à des problèmes énergétiques et de conservation d'aliments et de médicaments. [26]

**I.5.6. Médecine**

Les zéolites entrent dans la composition de médicaments, leur prise s'avère intéressante particulièrement en cas de diverses manifestations pathogènes. Ce fait est dû à sa faculté de

pouvoir carrément fixer n'importe quel élément chimique. Les défenses naturelles de l'organisme sont ainsi activées et la résistance par rapport la colonisation des agents pathogènes est baissée de manière considérable. Les effets -souvent fatals des antibiotiques peuvent ainsi être neutralisés.

➤ **Zéolite et cancer**

La prévention du cancer est ainsi l'un des défis auxquels les scientifiques doivent faire face et l'élimination des substances cancérigènes de l'environnement induite par l'industrie moderne en constitue une phase importante.

Les nitrosamines sont probablement les substances cancérigènes les plus répandues qui pénètrent dans l'estomac humain par le biais des aliments, des boissons et de la pollution environnementale. Elles requièrent une activation métabolique avant de provoquer cancers et mutations. Dans la mesure où une matière absorbante sélective est utilisée, il est très possible, et essentiel, de piéger ces nitrosamines. la zéolite a été utilisée dans des remèdes à libération prolongée, des remèdes anti tumoraux, des remèdes enzymatique et des additifs dans les cigarettes pour éliminer les substances cancérogènes. Elle stoppe la croissance des tumeurs en supprimant indirectement les signaux de croissance.

➤ **Puissant antioxydant**

Plus de 90% des diverses pathologies (cancers, maladies cardio-vasculaires, diabète, maladies neuro-végétatives, etc.) tout autant que le vieillissement sont les conséquences de dysfonctionnement cellulaire et de lésions des cellules provoqués par l'influence directe ou indirecte des radicaux libres.

De par son propre système antioxydant, la cellule se protège elle-même des lésions provoquées par ces radicaux libres. Cependant, lorsque le système de défense s'affaiblit et que l'influence des radicaux libres augmentez, le système de protection cellulaire devient insuffisant et il en résulte des lésions cellulaires.

La zéolite constitue un antioxydant unique qui agit en absorbant l'excès de radicaux libres au sein de sa structure complexe, elle les neutralise et elle les élimine

➤ **Régulateur du pH sanguin**

La présence de substances tampons, dissoutes dans le sang permet de conserver un pH relativement constant entre (7,35et 7,45), à savoir le pH optimal pour l'organisme humain

afin de maintenir son homéostasie. La zéolite renforce ces substances tampon et stabilise la valeur de pH tolérante.

Un sang acidifié, (7,34 ou inférieur), génère un terrain favorable au cancer et perturbe les fonctions des cellules cérébrales, ce qui entraîne de la dépression, de l'anxiété et des illusions.

➤ **Systèmes circulatoire**

Meilleure pression artérielle, réduction et récupération totale des œdèmes, disparition des élargissements des capillaires sanguins, renforcement du muscle cardiaque, accélération de la récupération post-infarctus.

➤ **Système digestif**

Stabilisation et régulation optimale du système, élimination et meilleure récupération des brûlures digestives et stomacales ainsi que des ulcères duodénaux.

➤ **Rhumatismes**

Utilisée dans traitement de tous les types de rhumatisme, incluant les sciaticques, les discopathies, l'arthrite ou l'arthrite rhumatismale.

➤ **Fonction rénales**

Effet diurétique et influence positive permettant une amélioration des fonctions rénales, traitement des infections rénales.

➤ **Pathologies dermatologique**

En plus de l'utilisation interne, les zéolites sont également excellentes pour une application topique dans le cas de nombreux problèmes de la peau comme les dermatites.

➤ **Effet neuropsychiatriques**

Traitement efficace de l'insomnie, de la névrose, de la dépression, adjuvant du traitement de l'épilepsie, de la schizophrénie et de la maladie d'Alzheimer.

➤ **Augmentation de l'endurance**

Amélioration de l'endurance lors d'efforts physiques intenses, diminution, voire même une élimination des douleurs après un exercice intense.

➤ **Antidiarrhétique**

Adjuvant pour vaccins et traitement des diarrhées et du syndrome de l'intestin irritable, à savoir une situation par laquelle le tractus intestinal ne fonctionne pas de manière harmonieuse.

La zéolite a une influence positive sur la flore bactérienne et la résorption des vitamines et des oligoéléments.

➤ **Mycotoxines**

La zéolite est réputée pour sa capacité de neutraliser des mycotoxines en formant des complexes hautement stables. Ces mycotoxines peuvent provoquer des pathologies rénales et hépatiques et affaiblir le système immunitaire.

➤ **Diabète**

Stabilisation et une diminution nette de la quantité de sucre dans le sang.

➤ **Glandes endocrines**

Optimisation de l'activité des glandes endocrines, notamment des nœuds lymphatiques.

➤ **Brûlures**

Accélération de la guérison des brûlures, et réduction des dégâts au niveau de la peau.

➤ **Périodontosis**

Le traitement du périodontosis et l'élimination des micro-organismes dans la bouche.

➤ **Mycose**

Élimination complète et rapide de nombreuses infections de la peau ou des muqueuses, élimination des mycoses plantaires, traitement des mycoses au niveau des organes internes (qui peuvent être le résultat de procédures radiologiques en combinaison avec des antibiotiques) [3].

### I.5.7. Autres secteurs d'utilisation

➤ **Dessiccateurs et produits absorbants et désodorisants :**

De par leurs propriétés absorbantes et désodorisantes, les zéolites entrent dans la composition de produits de consommation courante au niveau domestique : épurateur d'air ambiant, produits nettoyants, désodorisants pour chaussures, couches pour bébé [26].

➤ **Catalyse et raffinage de pétrole**

Compte tenu de leurs propriétés spécifiques régulières (canaux de grande dimension, surface spécifique interne et capacité d'adsorption élevées, les zéolites synthétiques sont les produits de loin les plus utilisés dans ce secteur.

Toutefois, des zéolites naturelles très pures sont parfois employées, après traitement spécifique (traitement à l'acide, activation chimique), pour catalyser certaines réactions dans les industries pétrolières et pétrochimiques [26].

➤ **Charges minérales**

Ce secteur d'utilisation n'apparaît viable que très localement, du fait de l'abondance des zéolites naturelles et de leur prix réduit, et reste donc très marginal à l'échelle mondiale.

Il en est de même des charges zéolitiques pour peintures, résines, caoutchoucs, colles et matières plastiques qui sont employées dans quelques rares pays [26].

## **Partie 2:Masque dermatologique**

### **I.2.1. Notion de la parapharmacie**

La Parapharmacie désigne un ensemble de produits (produits de parapharmacie ou parapharmaceutiques) ainsi qu'un lieu de vente de produits de parapharmacie ou encore une boutique de vente en ligne (parapharmacie sur internet).

Une parapharmacie vend aux particuliers des produits de soins, des produits de bien-être, des cosmétiques, des produits diététiques, des produits d'hygiène, des compléments alimentaires, ou de la cosmétofood.

Les produits que vend une parapharmacie sont tous accessibles sans prescription médicale délivrée par un médecin [53].

### **I.2.2. Historique sur les produits cosmétiques**

Trois mille ans avant Jésus Christ, les Égyptiens connaissaient déjà les onguents et les huiles parfumées, le maquillage et le dentifrice, ainsi que l'épilation.

Au Ier siècle, Néron et Poppée éclaircissaient leur peau avec de la céruse et de la craie, soulignaient leurs yeux au khôl et rehaussaient leur teint et leur lèvres avec du rouge.

Au Moyen-âge la mode est au front apparent, les femmes s'épilaient les sourcils et parfois le début des cheveux pour accentuer la grandeur du front.

C'est au retour des croisés que le maquillage s'est répandue en Europe du Nord ; à partir du XIVe siècle, les nobles usent de crème, de fond de teint, de teinture à cheveux et de parfum et dès le XVIIIe siècle les cosmétiques sont utilisés dans toutes les classes sociales. C'est surtout par le manque d'hygiène qu'ils utilisaient des cosmétiques (pour masquer les odeurs et saletés...).

Tout au long de l'histoire, les cosmétiques employés dépendaient des périodes, des modes et des matières premières disponibles. Certains produits pouvaient même être dangereux pour la santé (blanc de céruse à base de plomb) : jusqu'au début du XIXe siècle les cosmétiques contiennent du plomb.

Au XXe siècle et surtout au XXIe siècle, l'industrialisation et des découvertes changent le visage de la cosmétologie : parfums de synthèse, dérivés pétroliers, tensioactifs synthétiques et stabilisateurs d'émulsion. Ces nouveaux ingrédients ainsi que des formulations complexes réalisées par des chercheurs caractérisent les cosmétiques modernes [54].

### I.2.3. Les produits cosmétiques

« On entend par produit cosmétique toute substance ou mélange destiné à être mis 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 » [55].

#### I.2.3.1. Fonction du produit cosmétique

Le produit cosmétique n'est pas un médicament, il n'a aucune action thérapeutique, il permet d'entretenir une peau saine ou de traiter des problèmes cutanés.

- **Nettoyer** : éliminer toute les impuretés de la zone d'application tout en préservant sa fragilité et son intégrité. Ex : dentifrice, shampoing, gel douche, démaquillant...)
- **Parfumer** : donner une odeur agréable à la zone d'application. Ex : parfum, eau de toilette, lait corporel parfumé...)
- **Modifier l'aspect** : donner un aspect plus agréable, embellir, la zone d'application. Ex : maquillages, coloration cheveux, permanente, crèmes matifiantes, vernis à ongles, produits d'épilations ...)
- **Protéger** : renforcer les défenses naturelles de la zone d'application pour mieux combattre les agressions extérieures. Ex : produits solaires, soin de jour, lait corporels, base ongles, baumes à lèvres.
- **Maintenir en bon état** : conserver son capital le plus longtemps possible. Ex : masque, sérum, crème de nuit, huile fortifiante (ongle) solutions bucco dentaires.
- **Corriger les odeurs corporelles** : modifier l'odeur pour la rendre agréable. Ex : déodorant pied, déodorant aisselles, brume capillaires [55].

#### I.2.3.2. Frontière avec le médicament

« On entend par médicament toute substance ou composition présentée comme possédant des propriétés curatives ou préventives à l'égard des maladies humaines ou animales, ainsi que toute substance ou composition pouvant être utilisée chez l'homme ou chez l'animal ou pouvant leur être administrée, en vue d'établir un diagnostic médical ou de restaurer, corriger ou modifier leurs fonctions physiologiques en exerçant une action pharmacologique, immunologique ou métabolique » [56].

On pourrait dire que le médicament présente une efficacité thérapeutique vis-à-vis d'un individu malade, le produit cosmétique présente une efficacité « physiologique » limitée à l'enveloppe cutanée ou muqueuse d'un individu sain ou présumé tel et ne constitue en aucun cas un traitement pour un individu malade.

La différenciation sera néanmoins toujours délicate, les critères de définition du médicament pouvant s'appuyer sur la présentation, la fonction, la composition, le vocabulaire employé. Selon les revendications, un produit peut donc être cosmétique ou médicament.

Ainsi, un produit anti-acnéique est un médicament, l'acné étant une maladie, la même formule considérée comme « régulatrice de la sécrétion sébacée » est un produit cosmétique.

Sur un plan législatif, le produit cosmétique n'est pas soumis à une autorisation de mise sur le marché, l'évaluation du rapport bénéfice-risque étant spécifique au médicament.

L'exigence prévue par les textes est l'absence de nocivité pour la santé. Il incombe aux fabricants de garantir que leurs produits satisfont aux exigences législatives, réglementaires et ne présentent aucun danger pour la santé [57].

### **I.2.3.3. Catégories des produits cosmétiques**

Les différentes catégories de produits cosmétiques sont [58] :

- crèmes, émulsions, lotions, gels et huiles pour la peau (mains, visage, pieds, notamment).
- masques de beauté, à l'exclusion des produits d'abrasion superficielle de la peau par voie chimique.
- fonds de teint (liquides, pâtes, poudres).
- poudres pour maquillage, poudres à appliquer après le bain, poudres pour l'hygiène corporelle et autres poudres.
- savons de toilette, savons déodorants et autres savons.
- parfums, eaux de toilette et eaux de Cologne.
- préparations pour le bain et la douche (sels, mousses, huiles, gels et autres préparations).
- dépilatoires.
- déodorants et antisudoraux.
- produits de soins capillaires.
- teintures capillaires et décolorants.
- produits pour l'ondulation, le défrisage et la fixation.



- produits de mise en plis.
- produits de nettoyage (lotions, poudres, shampooings).
- produits d'entretien pour la chevelure (lotions, crèmes, huiles).
- produits de coiffage (lotions, laques, brillantines).
- produits pour le rasage (savons, mousses, lotions et autres produits).
- produits de maquillage et démaquillage du visage et des yeux.
- produits destinés à être appliqués sur les lèvres.
- produits pour soins dentaires et buccaux.
- produits pour les soins et le maquillage des ongles.
- produits pour les soins intimes externes.
- produits solaires.
- produits de bronzage sans soleil.
- produits permettant de blanchir la peau.
- produits antirides.

Ne sont donc pas des produits cosmétiques :

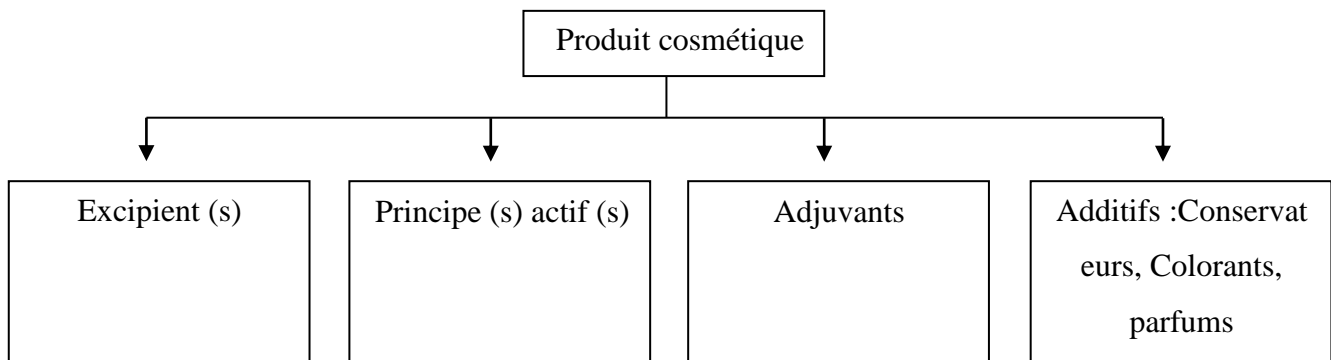
- Les solutions de lavage oculaire, auriculaire, nasal qui sont des dispositifs médicaux.
- Les lubrifiants qui sont, soit des médicaments, soit des dispositifs médicaux.
- Les compléments alimentaires à visée esthétique (embellissement de la peau, des ongles et des cheveux) qui suivent la réglementation des produits alimentaires.
- Les produits de tatouage qui sont des produits de consommation courante.

#### **I.2.3.4. Composition des produits cosmétiques**

Tout produit cosmétique constitue un mélange composé de plusieurs éléments appelés ingrédients cosmétiques.

- Un ou plusieurs excipients.
- Un ou plusieurs principes actifs.
- Des adjuvants.
- Des additifs.

Le terme « ingrédient » provient du latin « ingredi » qui signifie « qui entre dans ». Un « ingrédient cosmétique » est toute substance chimique ou préparation d'origine synthétique ou naturelle, à l'exclusion des compositions parfumantes ou aromatiques, entrant dans la composition des produits cosmétiques. [59]



**Figure I.2.1.** composition générale d'un produit cosmétique

### a) Principe(s) actif(s)

Les principes actifs sont des substances d'origine naturelle ou chimique (synthétique). Ils sont introduits en faible quantité dans un produit cosmétique. C'est ce qu'on appelle la « partie active » du produit, responsable de son efficacité.

Les principes actifs sont donc choisis pour leur action sur les différents types de peau. Ils peuvent avoir des actions hydratantes, apaisantes, amincissantes, etc. Ils sont répertoriés dans différentes catégories selon le type de peau.

### b) Excipient

C'est une substance associée au principe actif d'un cosmétique. C'est un mélange homogène ou hétérogène, composé d'une ou de deux phases associées grâce à un stabilisateur. Il peut être soit une solution, soit une dispersion.

- Phase hydrophile : essentiellement de l'eau, de la glycérine, etc.
- Phase lipophile : de l'huile végétale (de noisette, de coton) ou minérale ; c'est-à-dire issue de l'industrie pétrochimique (vaseline, paraffine, huile de vaseline), des silicones.

L'excipient donne sa forme au produit cosmétique, il détermine son mode d'emploi, constitue le support du ou des principes actifs et permet d'incorporer ou de véhiculer ces derniers dans les produits cosmétiques [8]. Un excipient permet donc d'accélérer la diffusion du principe actif dans la peau. Il peut représenter jusqu'à 90% du produit cosmétique.

**c) Adjuvants**

Très souvent indispensables, les adjuvants sont des éléments destinés à renforcer les propriétés d'une substance ou à faciliter sa fabrication. Il en existe plusieurs catégories qui jouent chacun un rôle distinct :

➤ Les stabilisants

Ce sont les tensioactifs ou les gélifiants. Ils augmentent la viscosité, la stabilité et l'hydratation de l'émulsion. Ils ne servent pas toujours de stabilisants mais sont utilisés pour leurs autres propriétés [8]. Les tensioactifs sont le plus souvent utilisés pour leurs pouvoirs nettoyant et moussant (savon, alkyl, sulfate de sodium...)

Les gélifiants sont des agents de texture, ils sont aussi appelés épaississants (gomme arabique, xanthane, cellulose, gélatine,...etc).

➤ Les humectants

Les humectants sont des substances naturelles ou chimiques qui maintiennent le taux d'humidité du produit cosmétique et retardent ainsi leur déshydratation (le glycérol, le propylène glycol, l'éthylène glycol, le sorbitol,...etc). Ils sont présents uniquement dans les produits cosmétiques dont l'excipient est composé d'une phase aqueuse donc dans les solutions hydrophiles, ou les émulsions ou les suspensions [60].

**d) Les additifs**

Les additifs sont ajoutés pour rendre les ingrédients stables, pour conserver, pour harmoniser, pour parfumer, pour colorer, pour mousser, etc. Ils sont le plus souvent facultatifs, mais indispensables pour certaines catégories de produits cosmétiques. Ils comprennent :

➤ Les colorants

Ce sont des substances qui sont exclusivement ou principalement destinées à colorer le produit cosmétique, l'ensemble du corps ou certaines parties de celui-ci. Le colorant peut être d'origine naturelle à partir de : végétaux (le curcuma, le carotène, le henné, etc), animaux (acide carminique, Nacre), minéraux (talc, Kaolin, argiles, etc) ou d'origine synthétique (éosine, érythrosine, vert Malachite, etc). Selon la nature du produit cosmétique, on utilise soit des colorants hydrosolubles ou liposolubles ou même les deux.

➤ Les conservateurs

Ce sont des substances naturelles ou de synthèse qui sont ajoutées en faible proportion pour empêcher toute dégradation des produits cosmétiques.

Il existe 2 formes principales de conservateurs : antimicrobiens et antioxydants.

➤ Les parfums

Les parfums sont des substances odorantes d'origine naturelle ou synthétique qui confèrent aux produits cosmétiques une odeur agréable. Pour parfumer une phase huileuse, on utilise des huiles essentielles et pour parfumer une phase aqueuse des eaux florales.

Dans le cas où le produit cosmétique est en contact avec les lèvres, on utilise un arôme alimentaire tel que la vanille ou l'orange [60].

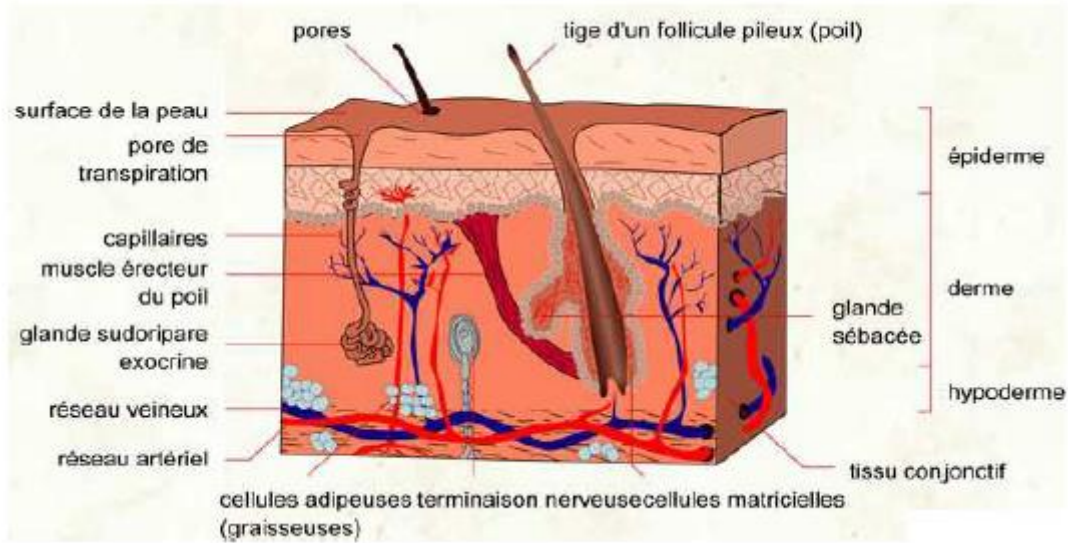
### **I.2.4.La dermatologie**

La dermatologie est la spécialité médicale qui prend en charge les maladies de la peau, de la bouche, des organes génitaux externes, des ongles et du cuir chevelu. Le dermatologue est aussi le spécialiste de l'esthétique de la peau et il est compétent pour corriger les imperfections provoquées par l'âge et le soleil, les séquelles des maladies de la peau ou les accidents [61].

#### **I.2.4.1. Rappels sur la peau**

##### **a) La peau**

La peau est l'organe qui recouvre notre corps. Elle s'étend sur une surface d'environ 2 m<sup>2</sup> et son épaisseur peut varier au niveau de certaines parties du corps : plus fine au niveau des paupières (0,05mm) et plus épaisse au niveau des paumes et des plantes (1,5mm). Elle représente 16% de notre poids corporel. Sa souplesse et sa résistance assure une bonne protection de notre organisme. Mais la peau n'est pas qu'une simple enveloppe puisqu'elle assure d'autres fonctions telles que la régulation de la température, la sensibilité tactile ou les échanges entre l'organisme et le milieu extérieur. Elle est formée de l'extérieur vers l'intérieur par 3 couches superposées : l'épiderme, le derme, l'hypoderme. Au sein de la peau se trouve également des annexes cutanées : les ongles, l'appareil pilo-sébacé et les glandes sudorales (Figure 02) [62,63].



**Figure I.2.2.** Coupe de la peau [64]

## b) Structure de la peau

### ➤ Le film hydrolipidique de surface

Le film hydrolipidique de surface est une émulsion hydrophile-lipophile recouvrant la surface externe de la peau. Composé d'un mélange de sueur, de sécrétions sébacées et de débris cellulaires, il a comme rôle principal le maintien de l'hydratation cutanée mais également du pH acide de la peau. De plus, ce film participe à la formation de la barrière cutanée. D'un point de vue, sa composition est importante ; un excès de substances grasses confère à la peau un aspect luisant, huileux jugé inesthétique.

Avec l'âge, on note une diminution de sécrétions sébacées et une modification de la composition du film qui entraînent une acidification du pH cutané ainsi qu'une diminution de la résistance aux agressions extérieures [65].

### ➤ L'Épiderme

L'épiderme est la couche la plus superficielle de la peau. Il s'agit d'un épithélium stratifié pavimenteux kératinisé non vascularisé constitué de quatre couches qui sont de la profondeur vers la surface : la couche basale, la couche épineuse, la couche granuleuse et la couche cornée. On constate une variation de l'épaisseur de l'épiderme : de 0,05 mm au niveau des paupières jusqu'à 1,5 mm au niveau des paumes et des plantes. Enfin, on distingue dans l'épiderme quatre grands types cellulaires : les kératinocytes, les mélanocytes, les cellules de Langerhans et les cellules de Merkel [62,63].

➤ **La jonction dermo-épidermique**

La jonction dermo-épidermique marque la séparation entre le derme et l'épiderme. Celle-ci assure l'adhésion mécanique et les échanges entre l'épithélium épidermique et le mésenchyme dermique. En effet, l'épiderme est dépourvu de capillaires sanguins ; les nutriments qui lui sont nécessaires sont donc acheminés à travers la lame basale via les capillaires sanguins du derme. De plus, cette jonction contribue au comportement cellulaire et à l'orientation de la migration des kératinocytes. Elle est formée par deux minces feuillets que sont, la lame basale principalement composée de fibres de collagène type IV et de glycoprotéines et la lame réticulaire composée de collagène de type III [62, 63,65et66].

➤ **Le derme**

Le derme est formé de tissus conjonctifs fibreux. Il est séparé de l'épiderme par la jonction dermo-épidermique. Son épaisseur varie comme l'épiderme, plus épais au niveau des paumes et des plantes et plus fin au niveau des paupières et du prépuce. Il est plus épais que l'épiderme avec une épaisseur moyenne de 3 à 4 mm. Il est constitué principalement de fibroblastes: cellules dont la fonction est la synthèse du collagène et de l'élastine, ce qui assure la souplesse, la flexibilité et la résistance de la peau. En effet, c'est le derme sur lequel repose l'épiderme qui assure le maintien et donne l'allure de la peau. Le derme est divisé en deux couches : le derme papillaire et le derme réticulaire [62,63 et 67].

➤ **L'hypoderme**

L'hypoderme est la couche la plus profonde et la plus épaisse de la peau. Il est formé d'un tissu conjonctif adipeux très vascularisé. Les adipocytes constituent les cellules majoritaires de l'hypoderme. Son épaisseur varie en fonction de sa localisation et du sexe de la personne. Il est mince sur le front et les oreilles. Chez l'homme il est épais au niveau de la ceinture abdominale et des épaules et chez la femme au niveau des fesses et des hanches. Le tissu adipeux représente entre 15% et 20% de notre poids corporel, voire beaucoup plus dans certains cas d'obésité [53,54 et 65].

➤ **Les annexes cutanées**

Les ongles, l'appareil pilo-sébacé et les glandes font partie intégrante de la peau ; elles constituent les annexes cutanées [62, 63,65 et 67].

**c) La peau du visage**

La peau du visage a un derme et un épiderme plus fins et plus transparents que celle des parties voisines. Les vaisseaux sont un peu plus dilatables vers la région des joues surtout, dans quelques cas même ils restent plus dilatés d'une manière permanente (à un âge déjà avancé, après des émotions vives et répétées, ou des congestions habituelles) [68].

La connaissance des principales caractéristiques de la peau du visage constitue un moment clé du conseil en cosmétologie, nécessaire à la qualité du conseil :

- Le teint : il est le reflet de l'état de la fonction vasculaire sous-jacente (pour la couleur) et de la qualité du FHL (pour l'aspect et l'éclat) ; sa couleur peut également être la marque d'altération dermique.
- Le grain de la peau : Aspect de la surface de la peau reflétant le volume des glandes sébacées et la taille des pores. Il peut être fin, serré, lisse ou encore irrégulier.
- Les défauts éventuels : ridules, rides, comédons, lésions ou cicatrices d'acné, dartres, squames, rougeurs, taches pigmentaires...; ce sont autant de signes permettant d'estimer le « vécu » de la peau.
- La texture de la peau : elle dépend de la quantité et de la composition du FHL, notamment des proportions respectives de ses phases aqueuse et lipidique.
- L'épaisseur du pli cutané : elle témoigne du volume et donc de l'activité des glandes sébacées ; elle reflète également la qualité du processus de kératinisation et donc l'épaisseur et la structure de la couche cornée.
- La température : elle peut renseigner sur l'état de la vascularisation cutanée.
- L'élasticité et la fermeté : reflet des propriétés mécaniques du derme.
- Les stries de déshydratation : petites lignes transversales visibles notamment sur les joues lorsqu'on met les muscles en tension, qui disparaissent dès la pression relâchée [69].

#### **d) Les différents types de peau**

On distingue 3 types de peau selon qu'elles sont sèches, grasses ou mixtes. Bien que cette typologie cutanée soit toujours en vigueur, on préfère à ce jour y ajouter d'autres paramètres tels que l'âge, le sexe et la pigmentation. Les peaux noires et blanches sont fondamentalement identiques, elles se différencient principalement par la quantité de mélanine. Concernant le sexe, les éléments différentiels entre la peau féminine et masculine sont minimes. Ils reposent essentiellement sur l'épaisseur, la pilosité et le nombre des glandes sébacées. La peau masculine est dans la majorité des cas plus grasse et plus épaisse que la peau féminine [65].

#### **I.2.4.2. Les problèmes d'ordres dermatologiques**

Voici une liste non exhaustive des problèmes pris en charges en dermatologie:

- Les maladies inflammatoires de la peau (L'eczéma de contact et l'eczéma atopique, L'acné...)

- Les maladies congénitales ou génétiques de la peau (Epidermolyses bulleuses congénitales, Ichtyoses.)
- Les maladies infectieuses de la peau et les réactions de la peau aux infections (Maladies dues à des bactéries (impétigo, choc toxique...), Les mycoses dues à des champignons, Les maladies parasitaires et les réactions aux piqûres d'insectes, Les maladies virales et réactions cutanées aux infections virales (bouton de fièvre...)).
- Les maladies des cheveux (Localisations capillaires des maladies de peau (eczéma, psoriasis, lichen...),Chute de cheveux...)
- Les maladies des ongles (Ongles incarnés, Anomalies des ongles accompagnant ou révélant des maladies générales ou génétiques...)
- Les maladies de la bouche et des lèvres (Herpès labial et buccal, Localisations buccales des dermatoses, Kératoses précancéreuses...)
- Les maladies des organes génitaux (homme et femme)(Localisations génitales des maladies de peau (eczéma, psoriasis, lichen...), Herpès, Balanites, Vulvites)
- Les maladies sexuelles transmissibles (syphilis, chancre mou, Verrues génitales)
- Les excroissances bénignes la peau et les cancers de la peau (excroissances de peau bénignes(verrue séborrhéique, fibrome, papillome, grain de beauté), Les cancers de la peau(carcinome baso-cellulaire, carcinome épidermoïde, mélanome malin...)[70].

#### **I. 2.4.3. Les Problèmes de la peau du visage**

##### ➤ **Les tâches et zones hyper-pigmentées**

Les taches et les zones hyper pigmentées sont des désordres pigmentaires qui apparaissent sur les zones les plus exposées au soleil : le visage, les mains, le décolleté...

Les taches brunes sont liées à une production en excès de mélanine, pigment responsable de la coloration de la peau, sous l'action des ultra-violet. Les hyper mélanoses du visage sont fréquentes.

Elles peuvent être liées à des facteurs génétiques ou hormonaux, à l'exposition solaire, ou à des facteurs de contact externe, en particulier cosmétiques et parfums. La notion d'une phase inflammatoire processive est très en faveur du rôle étiologique de facteurs de contact.

Plus rarement, en cas d'hyperpigmentation diffuse des zones photo exposées, la recherche d'un agent photo sensibilisant systémique, médicamenteux le plus souvent, doit être menée à l'interrogatoire.



Lorsque le trouble pigmentaire est localisé au visage et ne concerne pas les muqueuses, la recherche d'une cause systémique n'est pas utile en première intention [71].

➤ **Les boutons et autres imperfections**

Le bouton est le résultat d'un comédon (point noir) surinfecté par des bactéries naturellement présentes à la surface de la peau et dans le follicule pilo-sébacé. Les boutons sont généralement présents aux endroits où la sécrétion de sébum est la plus importante. C'est-à-dire au niveau de la zone T du visage (front, nez, menton), du dos ou encore du décolleté.

Le comédon constitue la lésion élémentaire de l'acné vraie permettant de la différencier des éruptions acnéiformes [71]. Il prend naissance dans l'infra infundibulum, partie dermique du follicule sébacé, dont la kératinisation normale est différente de celle de l'épiderme, car constituée de kératinocytes fragiles, peu cohésifs, se détachant facilement les uns des autres. Le premier signe détectable dans l'acné est l'augmentation de la production des cornéocytes qui deviennent anormalement adhérents entre eux et s'accumulent pour former le squelette du comédon : ce phénomène est appelé hyperkératose de rétention [72].

Trois types de comédons sont observés : le micro comédon, le comédon fermé ou microkyste et le comédon ouvert ou « point noir » [72].

Au stade initial du micro comédon, les glandes sébacées ne sont pas altérées. Elles deviennent plus petites avec l'augmentation de taille du comédon. Ce sont les comédons fermés qui donnent naissance aux lésions inflammatoires de l'acné : papules, pustules et nodules.

Le comédon fermé est constitué d'un sac de kératine et de lipides s'ouvrant à la surface de la peau par un très petit orifice, empêchant le contenu de s'évacuer à l'extérieur. Le mur épithélial du comédon étiré, devient plus fin et finit par se rompre avec extrusion du contenu dans le derme et réaction inflammatoire.

Les comédons ouverts sont rarement inflammatoires et constituent probablement des lésions arrivées à maturité après être passées par le stade de comédons fermés.

➤ **Le teint terne**

La perte d'éclat du teint peut correspondre au teint cireux caractéristique des peaux grasses associées à des pores dilatés, ou être une des conséquences du vieillissement cutané dû à l'épaississement de la couche cornée par accumulation de cellules mortes qui diminue la transparence de l'épiderme et l'amincissement de l'épiderme le

ralentissement de l'activité et du renouvellement des kératinocytes la densité mélanocytaire accrue et irrégulière.

Le teint terne peut aussi être la conséquence d'agressions extérieures comme la fumée de cigarette, la pollution ou le stress (lien entre la peau et son environnement).

➤ **Les cernes et les poches**

La zone du contour de l'œil est la plus fragile du visage, la peau y est cinq fois plus fine. Cette zone est particulièrement délicate et fragile.

Les cernes apparaissent en cas de fatigue et sont principalement liés à un trouble de la pigmentation de la peau et à des capillaires fragilisés. En effet une diminution de la microcirculation sanguine se traduit par des capillaires sanguins plus foncés, plus marqués et plus visibles. Les parois vasculaires étant alors moins élastiques et moins étanches, du sang va passer des capillaires vers le milieu interstitiel. L'hémoglobine s'accumule alors dans la partie infra-orbitale et se dégrade par oxydation en biliverdine, bilirubine ou en fer, à l'origine de la coloration caractéristique des cernes.

Les poches sous les yeux sont quant à elles provoquées par des dérèglements des flux d'eau. Avec l'âge, les 15 000 battements de cils par jour finissent par affaiblir les fibres de soutien du contour de l'œil et la peau se relâche. Aussi, les vaisseaux sanguins et lymphatiques, qui nourrissent les cellules de cette zone, fonctionnent au ralenti. Les échanges entre les cellules se font mal. Cela induit une rétention d'eau, les paupières gonflent formant les poches [73].

Dès la fin de la quarantaine, ces changements sont souvent évidents au niveau de la paupière inférieure.

#### **I.2.4.4. Les maladies de la peau du visage**

La peau est à la fois pour nous un élément de santé et de beauté. Ainsi une maladie de peau a un double impact. Premièrement sur la santé car elle porte atteinte à notre peau qui est un organe protecteur et essentiel à notre corps dans son ensemble. Et deuxièmement subsiste un impact négatif sur la beauté car toute maladie de peau est visible par autrui, et bien souvent elle présente des aspects disgracieux qui nous font perdre confiance en nous [74].

Les maladies qui affectent la peau et ses parties sont appelées cutanées, On les divise habituellement en catégories :

- aiguës qui font éruption avec la fièvre et disparaissent avec elle.
- chroniques qui sont sans fièvre et habituellement durent bien plus longtemps.

## I.2.5. Les masques

Les masques sont des préparations cosmétiques destinées à être appliquées sur différentes parties du corps et particulièrement le visage, en couche épaisse, avec un temps de pose déterminé, dans le but de produire divers effets au niveau de la peau [75,77].

### I.2.5.1. Caractéristiques – Rôle

Un masque doit posséder plusieurs qualités; en effet, il doit avoir une consistance onctueuse; il doit être suffisamment adhérent à la peau et doit pouvoir s'enlever facilement.

Le rôle des masques est variable selon le type considéré. Ainsi un masque peut compléter et renforcer le nettoyage de la peau, mais également apporter un complément d'hydratation et de nutrition à l'épiderme. Il peut atténuer les sensations d'échauffement et d'hyperréactivité, il peut tonifier et raffermir les peaux dévitalisées, Il crée une barrière protectrice et participe à la souplesse de la peau [76,78].

### I.2.5.2. Les différents types de masques

Il existe différents types de masques avec des textures ou des actions différentes. Un masque a pour but de redonner de l'éclat à votre peau et de traiter son problème.

Vous aidez à choisir le masque adapté à votre type de peau suivant le problème que vous voulez traiter et les textures que vous préférez.

#### a) selon la texture

##### ➤ Les masques argileux ou pâteux ou terreux

Ce sont des formules contenant un fort pourcentage de poudres insolubles (=suspensions). Divers constituants entrent dans leur composition. On trouve, tout d'abord certain type d'argile comme la bentonite ou montmorillonite, qui sont des argiles colloïdales à haute teneur en aluminium. Ces argiles possèdent des propriétés de thixotropie. La principale argile utilisée est le kaolin, intéressant pour ses propriétés absorbantes. Ces " terres" peuvent être remplacées par des boues marines ou thermales. On trouve comme adjuvants des plastifiants (humectant) comme le glycérol ou le propylène glycol qui ralentissent l'évaporation de l'eau. Ces masques sont destinés essentiellement aux peaux grasses dont ils absorbent l'excès de sébum [76,77].

➤ **Les masques-crèmes**

Ce sont des émulsions généralement L/H. Ces masques-crèmes s'utilisent sur tout type de peau. Ils ont pour but d'hydrater, d'adoucir, de nourrir la peau et ont chacun une action propre grâce aux actifs qu'ils contiennent. Ainsi, certains ont un effet anti-rougeurs, d'autres antirides [76,77].

➤ **Les masques-gels**

Les masques-gels sont soit des hydrogels (masques à base d'hydro colloïdes=alginates, carraghénanes, gomme xanthane, résines polyvinyliques, dérivés de cellulose), soit des gels pelliculables ou pelables qui forment un film continu élastique, imperméable et que l'on retire arrachement. Ceux-ci sont utilisés surtout sur des peaux grasses. Leur action est liée aux actifs qu'ils contiennent [76,77].

➤ **Les masques pelliculables ou coagulables à froid**

Sont à base de polymères filmogènes, qui après application et séchage sur la peau vont former un film occlusif très hydratant [64].

➤ **Les masques ampoules**

Le terme de masque est impropre comme il s'agit en fait d'ampoules renfermant des principes actifs qui ont un effet tenseur momentané sur la peau, comme les albumines animales ou hydrolysats de protéines...Ils possèdent une action antirides passagère et permettant le maquillage immédiat (ampoule « coup d'éclat »). Ces ampoules s'appliquent aux doigts par tapotements légers [64].

➤ **Le masque plâtre**

Le plâtre additionné d'eau durcit et dégage de la chaleur, pour lui donner de la consistance, on lui ajoute des fibres végétales. On l'applique au pinceau sur le visage enduit d'une crème contenant des principes actifs adaptés au type de peau. La chaleur provoque une vasodilatation facilitant la pénétration des principes actifs. On le retire par décollement [64].

➤ **Le masque pour le contour des yeux et des paupières**

Ils doivent réhydrater la peau flétrie du contour de l'œil et des paupières, la lisser et la détendre, tout en respectant cet épiderme mince et fragile. Il se présente le plus souvent sous forme de gels et d'émulsions légères compatibles avec le pH lacrymal. Les principes actifs ont :

- Une action décongestionnante : extrait végétaux.
- Une action « lissante » : extraits protéiniques, collagène, élastine.

- Une action hydratante : extraits d'algues, polyols, acide hyaluronique[64].

➤ **Masque peel off**

Une fois appliqué, ce masque peel off va sécher par évaporation des composants alcooliques volatiles et en se transformant en un film fin et translucide. Il se retire d'une seule fois en tirant le film de la zone inférieure du visage vers le haut. Ce masque est capable de combiner deux actions, grâce à l'application directe de ses composantes sur la peau et à l'action mécanique lors du retrait du film, qui génère un effet exfoliant [79].

➤ **Masques de type voile**

Ces masques sont en cellulose imbibée de collagène, d'élastine, d'acide hyaluronique...ou en une sorte de tissu en forme de visage et avec des ouvertures pour les yeux, le nez et la bouche. Ils doivent se placer bien tendus sur votre visage, préalablement bien lavé [79].

➤ **Masques de type film**

Il absorbe la majeure partie des composants du masque en améliorant la pénétration des principaux actifs, vous en retirerez l'excès si nécessaire [79].

➤ **Masques à la paraffine**

Ils doivent être chauffés avant l'application sur votre visage, n'oubliez donc pas de recouvrir votre visage avec une graisse spéciale, préparée pour cela [79].

b) **selon la fonction**

➤ **Absorbant ou purifiant**

Il nettoie, purifie, absorbe le sébum, resserre les pores et donne de l'éclat. Il contient le plus souvent de l'argile, du kaolin et autres actifs adoucissants, bactéricides et régulateurs. Généralement ces masques sèchent sur la peau, cependant, on peut en trouver qui restent crémeux [80]

➤ **Hydratant**

Ce masque regonfle la peau en eau, comble les ridules de la déshydratation et apporte confort et douceur à votre peau. Il ressource la peau en profondeur et lui redonne de l'éclat. Il se présente sous forme de gel ou de crème [80].

➤ **Apaisant**

Il apporte confort, apaise et calme votre peau. Il contient des principes actifs calmants comme la camomille, l'azulène ... [80].

➤ **Anti-rides**

Il peut être régénérant, rénovateur, tenseur, raffermissant ou remodelant selon les principes actifs [80].

➤ **Nourrissant**

Le masque nourrissant est un masque crème riche en corps gras, Il est destiné aux peaux sèches, qui manquent de lipides[80].

### **I.2.5.3. Quel masque choisir pour ma peau ?**

Il est essentiel de connaître son type de peau pour choisir le masque adapté, le masque doit être choisi en fonction de l'effet recherché selon son type :peau grasse, peau sèche et sensible ou peau mature. Une fois que vous connaissez votre type de peau, il faudra regarder la liste des ingrédients et rechercher ces actifs selon votre type de peau :

➤ **Peau grasse**

Masque purifiant : argiles, sels minéraux, ortie blanche, huiles végétales (nigelle)

➤ **Peau mixte**

Masque rééquilibrant : argile, huiles essentielles et huiles végétales (jojoba)

➤ **Peau sèche**

Masque nourrissant : aloévera, huiles végétales (jojoba, avocat, bourrache) ou beurres végétaux (karité, coco, cacao), extraits végétaux (rose, camomille, bleuet)

➤ **Peau mature**

Masque restructurant : thé vert, huiles végétales (pépin de grenade, noix de macadamia) [81].

**I.2.5.4. Quelques précautions avant le masque****➤ Bien nettoyer sa peau**

Avant d'appliquer un masque, la peau doit être débarrassée de toutes les impuretés. Il est préférable d'utiliser un savon saponifié à froid et de bien rincer à l'eau claire pour ne laisser aucun résidu sur la peau. Vous pouvez compléter le nettoyage en appliquant de l'eau thermale pour retirer toute trace de calcaire si vous utilisez l'eau du robinet. Un masque doit donc être appliqué sur une peau sèche et propre [81].

**➤ Exfolier sa peau en douceur**

Cette étape permettra d'optimiser l'action du masque sur votre peau. Exfolier les cellules mortes permet de favoriser le processus de renouvellement de la peau, d'éliminer les impuretés en profondeur et d'améliorer la circulation sanguine, Il est très important de gommer sa peau en douceur, sinon vous risquez d'irriter votre peau. Un gommage trop fréquent et trop irritant peut détruire le film hydrolipidique naturel de la peau qui la protège de la déshydratation [81].

**I.2.5.5. Modalités d'utilisation**

Les masques sont appliqués sur le visage en couche épaisse et régulière à l'aide d'un pinceau. D'une spatule ou des doigts. Pour les masques terreux, il faudra éviter l'application sur les lèvres et les paupières. Les masques-crèmes et masques-gels, quant à eux. Pourront être appliqués, pour certains, sur les lèvres et les paupières. Tous ces masques nécessitent un temps de pose d'environ 15 minutes. Ces masques se retirent à l'aide de mouchoirs en papiers, qui absorbe l'excédent, et d'éponges humidifiées à l'eau tiède. Notons que pour les masques terreux, qui durcissent et sèchent sur la peau, il est souvent nécessaire de les réhumidifier [76].



## **Chapitre II**



## Partie 1: La zéolite de Tinebdar

Le gisement de tuf de Tinbdar est un gisement volcanique qui se situe à l'ouest de la ville de Bejaia. Des études ont été faites montrant que le gisement de Remila est riche en plusieurs minéraux qui sont très demandées pour l'usage dans plusieurs activités industrielles locale parmi eux la zéolite étudiée.

### II.1.1. Aperçu géographique et administratif

#### II.1.1.1. Situation de gisement

Le gisement de tuf est situé sur le territoire de la commune de Tinbdar, daïra de Sidi Aich, wilaya de Bejaia. Il est localisé sur la rive Gauche (Ouest) d'oued Remila, soit à 1700 m de la piste au Nord de la route nationale RN 26 reliant EL Kseur à Sidi Aich.

Le gisement étudié est mitoyen d'une carrière d'argiles en exploitation dans la région, une piste mène à cette carrière d'argile en traversant Oued Remila. Le gisement est accessible par la même piste qui se prolonge au nord le long de la rive droite d'oued Remila [82].

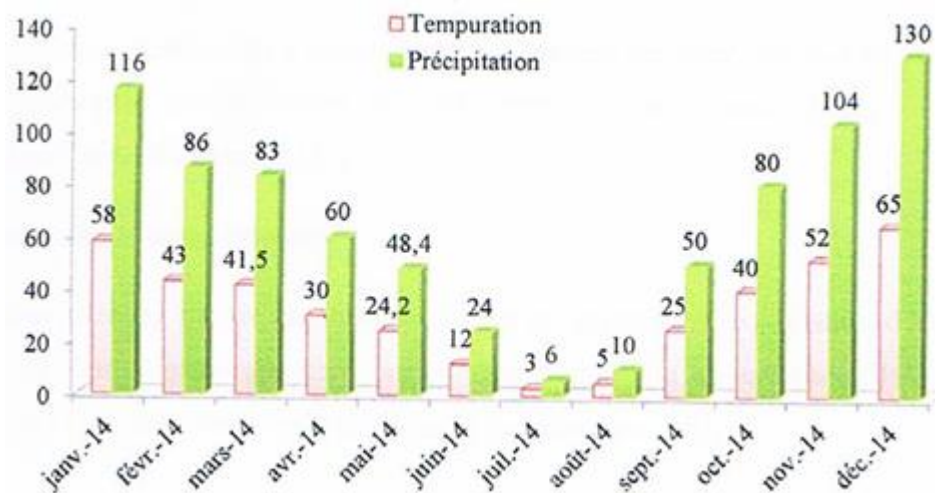


**Figure II.1.1.** Localisation de gisement du tuf de Remila. (Google earth)

### II.1.1.2. Précipitation et température

La région de Tinebdar est caractérisée par un climat méditerranéen typique, à étage bioclimatique subhumide à humide, cependant il existe un microclimat au niveau de la zone de vallée ; sur les hauteurs, l'hiver est plus froid (neige), l'été est plus frais.

La figure suivante représente la variation de la précipitation et température dans la région de Sidi Aich pendant l'année de 2014.



**Figure II.1.2.** Diagramme représentant la variation annuelle de la précipitation et la température de la région de Sidi Aich [83].

### II.1.1.3. Réseau hydraulique et ressources hydriques de la région

L'oued Remila est le cours d'eau le plus important au niveau de la zone d'étude, la zone est déchiquetée par une multitude de ravins à écoulement temporaire drainant les eaux superficielles vers l'exutoire principale qui est la Soummam ou à travers des oueds plus ou moins importants.

A proximité du site d'implantation du gisement de tufs se trouve le cours de l'oued Remila à écoulement permanent, prenant naissance dans la zone de montagne, charriant constamment les matériaux arrachés aux versants.

La nappe aquifère d'oued Soummam est très bien connue et de nombreux forages d'exploitation y sont réalisés. Elle alimente la majorité des agglomérations et localités situées autour de la vallée, elle est constituée par des alluvions de la plaine d'oued Soummam.

Cette nappe s'étend sur une longueur d'environ 36 km et une largeur allant de 700 à 2000 mètre, soit une aire moyenne de 60 km<sup>2</sup>.

Son alimentation se fait à partir des précipitations, des inter-flux des affluents et des formations gréseuses et carbonatées qui affleurent sur les versants. L'axe de drainage principal étant l'oued Soummam [84].

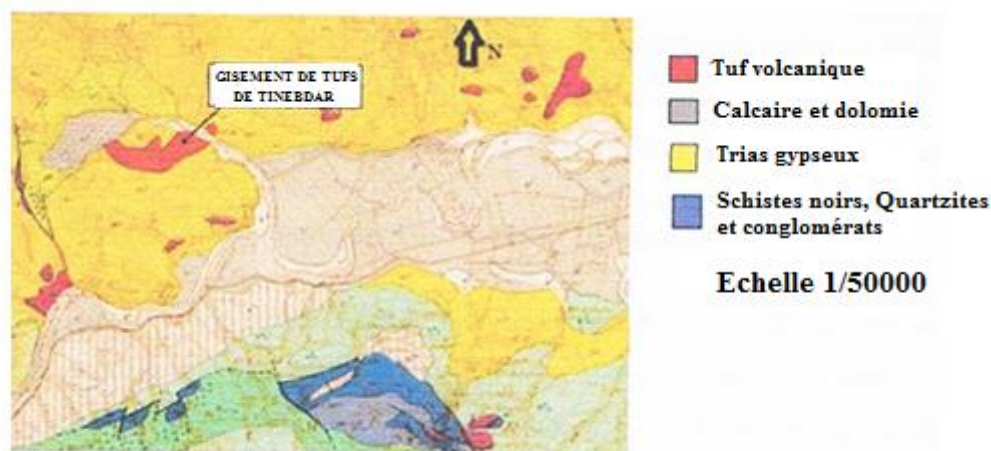
#### II.1.1.4. Infrastructure autour du site

A proximité du site de gisement se trouve un gisement d'exploitation d'argile pour briqueterie de Remila et un gisement exploité par la nouvelle briqueterie de la Soummam qui s'approvisionne en argile à partir du même site [84].

### II.1.2. Contexte géologique et géomorphologique

#### II.1.2.1. Formation et genèse

Le gisement de tufs d'origine volcanique (transformation de cendres volcaniques andésitiques) se trouve inter stratifié dans des marnes et argiles d'âge miocène.



**Figure II.1.3.** Extrait de la carte géologique de la région de Sidi Aich [85].

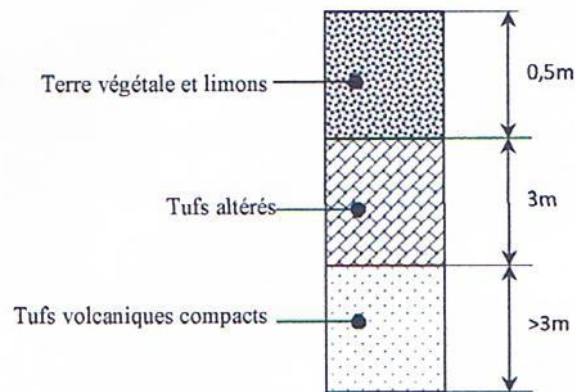
La coupe lithologique du gisement est comme suit :

- De 0 à 0,50 m : Terre végétale et limons.
- De 0,50 à a3 m : Tufs altérés de couleur gris blanchâtre à jaunâtre.
- De 3 m jusqu'à la fin : Tufs volcaniques compact et homogène, de couleur blanche à légèrement verdâtre et ils présentent une texture microcristalline vers le sommet à cristalline pour les niveaux de base.

Les micas noirs sont présents en différentes proportions d'un niveau à l'autre de la série.

La formation volcanique est caractérisée par une grande homogénéité latérale et verticale.

Ils sont exempts de stériles internes. Les stériles externes de couverture sont représentés par la couche végétale.



**Figure II.1.4.** Coupe lithologique du gisement [82].

La structure du gisement est simple, il s'agit d'un monoclin à pendage Nord ; il présente également une inclinaison générale vers le Nord-est. Il est affecté par quelques failles normales sans rejets. Nous signalons un important glissement dans sa terminaison Nord occidentale. Ce dernier a isolé un îlot de tufs au sein des argiles grises du miocène marin. Des fractures ouvertes favorisent le dépôt d'oxydes de fer qui donne localement une teinte jaunâtre à rouille à la formation.

Le gisement est à sec et ne renferme aucune venue d'eau souterraine. Des précautions doivent cependant être prises pour le drainage des eaux superficielles.

La partie inférieure doit être sécurisée par rapport aux berges de l'Oued Remila dont les écoulements et les crues sont importants en période hivernale [82].

### II.1.2.2. Exploitation

L'exploitation de tuf de Remila est possible à ciel ouvert par méthode mécanique (ripage), cette méthode consiste à trancher, et enlever à l'aide d'une ripe, au moyen d'un engin approprié de carrière (Bulldozer) pour l'abattage du massif rocheux plus ou moins friable à un autre engin [82].

## **Partie 2 : Le masque purifiant**

Le Masque Purifiant est le partenaire idéal des peaux qui souffrent en imperfections. Justement dosé en actifs absorbants et régulateurs, ce masque visage clarifie, équilibre l'épiderme et désincruste en profondeur. Sa formule ultra-efficace est naturelle à 100%.

### **II.2.1. Actifs cosmétiques**

Ce masque sélectionne la zéolite et l'argile rouge associées à l'extrait de pépins de raisins, la poudre d'écorce d'orange amère et l'eau de rose dans une texture masque terreux ultra- pâteuse.

#### **II.2.1.1. L'argile rouge**

L'argile est une terre naturelle, c'est plus précisément une roche terreuse à texture très fine. Elle provient de la décomposition de roches préexistantes (appelées roches mères), telles que le granit, les micas et surtout les feldspaths.

Véritable cadeau de la nature, l'argile est essentiellement constituée de silicates d'alumine hydratés, dans lesquels sont imbriqués des éléments minéraux qui lui donnent sa coloration. Ces éléments présents en quantités réduites sont des oxydes d'alumine, de titane, de calcium, de magnésium, de potassium et de sodium.

On trouve en fait de très nombreuses sortes d'argiles. On les classe généralement par couleurs verte, blanche, rouge, jaune ... car c'est la solution la plus simple. Mais ce n'est pas la couleur qui différencie deux types d'argiles, la différence est en grande partie due à l'état du fer (niveau d'oxydation) dans le sol [86].

Un allié beauté utilisé depuis des siècles pour ses incroyables propriétés de soins et de beauté, l'argile est devenue une excellente base de préparation de nombreux soins pour les cheveux, le corps et le visage.

Grâce à sa texture pâteuse, l'argile permet de confectionner facilement des masques de beauté pour tous les types de peaux en fonction de l'argile choisie, et des ingrédients complémentaires qu'on y ajoute.

L'argile rouge fait partie des argiles les plus connues et reconnues du public. C'est l'argile possédant la plus forte teneur en oxyde de fer et ultra riche en oligo-éléments. Elle est plus adaptée aux peaux sèches voir très sèches, bénéfique pour les peaux ternes et fatiguées, les peaux fragiles, sensible et réactives ainsi que les peaux mixtes à grasses, ravivante des

peaux matures, apaisante des douleurs des peaux irritées et un bon remède contre les peaux couperosées.

L'argile rouge est de multiples vertus pour la beauté du visage :

- Sa forte teneur en oxyde de fer et en silice et sa richesse en oligo-éléments permet de redonner un bon teint au visage et cela pour tout type de peau.
- Grace à son pouvoir absorbant et adsorbant et ses propriétés ré-équilibrantes l'argile rouge régule l'excès de sébum, attire puis fixe les toxines et les impuretés pour mieux les éliminer ce qui apporter à la peau un nouvel équilibre que pour lui offrir une incroyable luminosité.
- Stimule la circulation sanguine et diminue ainsi les rougeurs.
- Se comporte comme un bactéricide, elle empêche la prolifération des microbes ou autres bactéries et germes pathogènes (elle a une action antiseptique), dans le même temps elle favorise la reconstitution cellulaire saine.
- Redoutable contre les boutons, ses propriétés antiseptiques et anti-inflammatoires aident à leur cicatrisation.
- Adoucit et revitalise l'épiderme.
- Aide à lutter contre les rides et les cernes
- Un atout en cas d'imperfections.
- Nettoie, purifie et tonifie tout en douceur [87].

#### **II.2.1.2. La zéolite**

Toutes les indications de l'argile concernent la zéolite avec l'avantage que cette dernière est beaucoup plus puissante.

Les zéolites possèdent une charge négative et sont l'un des rares minéraux ayant cette propriété. Ces charges sont neutralisées par la présence de cations comme le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium et dans certains cas le fer, autant d'éléments importants pour la régénération de la peau.». Grâce à leur structure en forme de cage, les zéolites ont l'habileté d'attirer et d'emprisonner les métaux lourds tels que : plomb, cadmium, mercure et nickel. Ces métaux ne sont pas qu'inutiles biologiquement, ils sont en plus extrêmement toxiques.



En adsorbant ces molécules toxiques et autres substances indésirables chargés positivement (toxines, radicaux libres), les zéolites vont libérer des éléments fondamentaux pour le bon état de la peau.

Ses propriétés font des zéolites un remède de santé particulièrement précieux, elles ont donc fait leurs preuves d'efficacité et présentent de nombreux avantages :

- Elles ne sont pas toxiques.
- N'ont pas d'effets secondaires.
- Ne provoquent pas de réactions allergiques.
- Elles peuvent être utilisées seules ou en association avec d'autres substances actives en Manifestant une action synergique.
- Ne nécessitent pas de conditions de conservation particulières.
- Elles sont très stables dans le temps [87].

### **II.2.1.3. La poudre d'orange amère**

C'est une poudre obtenue à partir de l'écorce d'orange amère séchée puis réduite en poudre. Cette poudre ayurvédique est reconnue pour ses multiples vertus cosmétiques

Elle est particulièrement appréciée par les peaux grasses et acnéiques car elle nettoie en profondeur tout en illuminant le teint, mais elle convient à tout type de peau notamment aux peaux ternes et fatiguées. Elle renferme des propriétés astringentes et tonifiantes et stimulantes sur la peau et peut être utilisée pour différentes recettes de soin du visage : soit en masque soit en lotion tonifiante et purifiante (macérât aqueux ou infusion), soit en crème ou bien en soin exfoliant doux et parfumant pour peaux acnéiques

Composée essentiellement de Flavonoïdes, de Synéphrine, de Coumarines, de Caroténoïdes et de Pectine, La poudre d'écorce d'orange amère est un ingrédient simple, multifonctions et tellement efficace:

- nettoie, purifie et illumine le teint grâce à ses propriétés astringentes et tonifiantes.
- son arôme naturelle adoucit la peau, la tonifie et débouche les pores en éliminant les cellules mortes pour lui donner un aspect plus jeune.
- efficace contre les boutons, l'acné et les Imperfections de la peau
- protège la peau et stimule la circulation sanguine [88].

**II.2.1.4. L'huile de pépins de raisin**

Même si les raisins sont cultivés depuis des milliers d'années, ces pépins ont été considérés comme un déchet. Leur exploitation n'a pas été mise en évidence qu'au 20<sup>ème</sup> siècle.

Le pépin de raisin contient une quantité élevée d'huile comestible de très grande qualité, connue pour ses vertus alimentaires et ses propriétés diététiques. Elle correspond à 5 à 10% du poids total du pépin.

L'huile pépin de raisin s'agit de l'huile extraite (comme son nom l'indique de la graine du fruit une fois que celle-ci est séchée et pressée à froid.

Outre son utilisation en diététique, elle est aussi employée pour la fabrication de cosmétiques, grâce à ces vertus multiples, cette précieuse huile sert à confectionner des crèmes de jour et de nuit, des baumes pour les lèvres ainsi que des lotions réparatrices, des masques et des gommages. . Son usage est approprié pour les soins des peaux normales, mixtes ou grasses. Émolliente et hydratante, elle convient aussi aux peaux sèches.

Contrairement aux autres huiles qui ont un effet occlusif sur la peau, il s'agit d'une huile végétale sèche ultra nourrissante et hydratante et particulièrement légère qui pénètre bien dans les couches supérieures de l'épiderme agissant ainsi plus longtemps.

L'huile de pépins de raisin renferme de nombreux principes actifs dont on peut citer les acides gras, entre autres l'illustre acide linoléique qui est un acide gras essentiel du groupe des oméga-6, une énorme quantité de vitamine E ,un antioxydant naturel du premier ordre, des lipides, des polyphénols, mais surtout de proanthocyanidines, un composé concentrée en antioxydants qui n'est que très peu liposoluble, 50 fois plus efficaces que la vitamine E et 20 fois plus puissants que la vitamine C, et d'autres composants naturels qui lui accordent des bienfaits non négligeables :

- alliée à une grande fluidité en fait une excellente huile de massage. Elle offre un grand soulagement pour le corps fatigués et endoloris.
  
- Désincrustante, elle est parfaite en gommage pour le corps.



- favorise la diffusion des lipides encastrés dans l'épiderme, garantit leur homogénéité dans les cellules cutanées et régule la production de sébums.
- Renforcent le système immunitaire tout en détruisant les radicaux libres nocifs, principaux responsables du développement des tumeurs de la peau et du vieillissement cutané précoce.
- efficace contre l'acné, l'eczéma et autres inflammations cutanées. Elle soulage les démangeaisons, atténue les tâches pigmentaires et supprime les cernes sous les yeux.
- accélère la guérison du coup de soleil, elle répare les petites plaies et assouplit les lèvres gercées.
- favorise la production de collagène et d'élastine, responsables de la régénération des membranes cellulaires et la destruction des tissus, atténue ainsi les rides et les vergetures, combat le relâchement cutané et rend la peau plus ferme et lisse, c'est donc un anti âge puissant [89-91].

#### **II.2.1.5. L'eau de rose**

La rose est une fleur sacrée, un symbole éternel de la beauté et de l'amour. Sa fragrance délicate rentre dans la composition de nombreux parfums. L'eau de rose issue de la distillation des pétales de rose est l'un des ingrédients les plus étonnants utilisée en cosmétique.

Les bienfaits thérapeutiques de l'eau de rose sur la peau sont multiples :

- C'est un anti-inflammatoire et un décongestionnant. Son parfum tonique apaise la peau pour aider à soulager tout stress, anxiété et signe de fatigue qui apparaissent au cours de a journée.
- Sa haute teneur en vitamine C est idéale pour synthétiser le collagène et protéger des radicaux libres qui provoquent le vieillissement.
- Par la même action, l'eau de rose renferme des propriétés anti-oxydantes qui aident pour renforcer les cellules de la peau ainsi que la régénération des tissus.
- C'est un tonique idéal pour nettoyer la peau et la rendre plus ferme. En effet, ces vitamines B et E ainsi que les tannins et la pectine sont une aide précieuse.

- Ces vertus antibactériennes, antiseptiques et cicatrisantes font de l'eau de rose un allié indispensable contre l'acné, la dermatite, l'eczéma ainsi que les taches et les vergetures.
- Maintient l'équilibre du PH de la peau.
- Hydrate, adoucit, lisse la peau et lui donne un éclat naturellement sain.
- Contribue également à revitaliser le vieillissement de la peau tout en estompant les rides et les ridules [88].

### **II.2.2. Mode d'action**

Ultra riche en silicates d'alumine, de fer, de magnésium et bien d'autres minéraux qui sont présents dans les cellules du corps et y sont indispensables pour son fonctionnement optimal, ce masque à la zéolite est chargé négativement. En solution, il va donc attirer les molécules chargées positivement (notamment les métaux lourds) et pourra les échanger une fois en contact avec la peau, cela s'appelle un phénomène osmotique.

On peut conclure alors qu'il est inutile de laisser poser le masque une fois sec car le phénomène osmotique ne se fait que si ce dernier est humide, le laisser trop longtemps provoquerait l'effet inverse, le masque absorbera l'eau de la peau et risquerait de la déshydrater [87].

### **II.2.3. Propriétés et Intérêt dermatologique**

Grace a sa composition, ce masque renferme des qualités exceptionnelles, les actifs qu'il contient pénètrent dans la peau et lui confère de véritables propriétés pour diverses préoccupations beauté :

- Le Silicium : restructure les tissus, prévient le relâchement des tissus cutanés. En améliorant l'élasticité de la peau, il évite les vergetures, les rides et les effets de l'âge.
- Le Sodium: renforce la croissance des cellules et régule la pression osmotique
- Le Magnésium: joue un rôle anti inflammatoire et intervient dans le métabolisme des cellules
- Le Calcium: à un rôle déterminant dans le métabolisme des ongles et de la peau
- Le Potassium : intervient dans la flexibilité et l'élasticité des tissus
- Le Fer: améliore la synthèse de la mélanine et le transport de l'oxygène dans le sang
- le Zinc: aide à la régénération des tissus et du collagène. Son absence provoque l'alopecie et des dermatites [87]

**II.2.4. Ingrédient et dosage du masque**

- 25% d'argile rouge
- 25% de zéolite
- 6% de poudre d'écorce d'orange amère
- 4% d'huile végétale de pépins de raisin
- 40% d'eau de rose (pour l'obtention d'une pâte applicable facilement) [87].

**II.2.5. Mode et conseil d'utilisation**

Appliquer en couche épaisse sur le visage préalablement démaquillés, en évitant le contour des yeux et des lèvres laisser reposer le masque au moins 15 minutes (sans laisser sécher le masque sur la peau) puis enlever en gommant aussi la peau légèrement grâce à la poudre d'orange et rincer à l'eau. Enfin veillez appliquer une eau florale ou une crème hydratante [87].

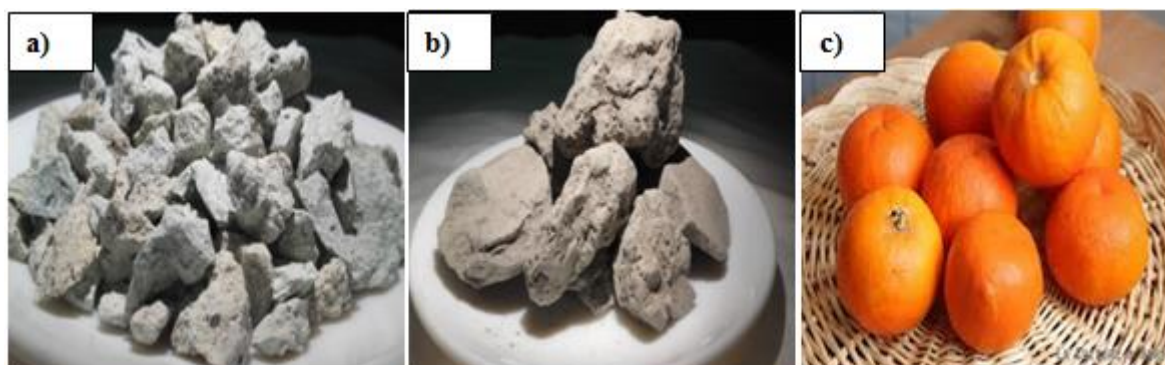
### Partie 3 : Formulation et caractérisation du masque

Dans cette partie nous allons présenter la méthodologie de travail effectuée, le matériel utilisé, ainsi que les différentes techniques d'analyse et de séparation qui ont été faites pour déterminer la composition minéralogique et chimique des tufs que nous allons utiliser et de tester les performances de produit élaboré.

#### II. 3.1. Préparation des échantillons

Dans le cadre de ce travail des quantités de matériaux ont été préparées en vue de la préparation des différents échantillons pour la réalisation des essais de caractérisation ainsi que l'élaboration du masque.

La figure ci-dessous représente la zéolite (a) l'argile (b) et les orange amères (c) dans leur état brut.



**Figure II. 3.1.** La zéolite a), l'argile rouge b) et les oranges amères c) à l'état brute (photographie).

La préparation de ces matériaux comporte plusieurs étapes qui sont: le lavage, le séchage, le concassage, le broyage, le tamisage et finalement l'activation.

##### II. 3.1.1. Le lavage

Cette opération concerne seulement les oranges amères. Elle a été effectuée par mise en contact de ces dernières avec une quantité d'eau distillée en vue de l'élimination des résidus.

##### II. 3.1.2. Le séchage

Nous appelons séchage, l'opération ayant pour but d'éliminer partiellement ou totalement l'eau d'un corps humide (solide ou liquide) par évaporation de cette eau. Le

produit final est solide (sauf dans le cas particulier de la déshydratation d'un liquide non volatil : séchage des huiles) [92].

En vu de prévenir une éventuelle altération des propriétés physicochimiques des écorces d'orange, cette opération a été réalisé au moyen d'un micro-onde régler a une puissance de 300W après avoir coupé ces dernier en petits carrés d'environ 1 cm<sup>2</sup> de surface.

### **II. 3.1.3. Le concassage**

Le concassage est un traitement mécanique qui sert à réduire le diamètre des grains des matières premières à un diamètre inférieur. La matière première initiale est sous forme de roche. A l'aide de concassage, le diamètre des grains subit une réduction jusqu'à un diamètre inférieur à 1 cm [93].

Notre opération de concassage est réalisée à l'aide d'un concasseur.

### **II. 3.1.4. Le Broyage**

Le broyage est l'opération qui permet la réduction de la matière de l'état granuleux à l'état de poudre de finesse déterminée.

La finesse du broyage est essentielle, Pour améliorer encore l'efficacité de la zéolite il faut que celle-ci présente la plus grande surface active, c'est à dire qu'elle soit réduite en poudre très fine [93].

Le broyage des écorces d'orange amère est réalisé à l'aide d'un moulin alors que l'argile et la zéolite sont réduites en poudre à l'aide d'un mortier.

### **II. 3.1.5. Le tamisage**

Le tamisage consiste à répartir les grains d'un échantillon brut a travers une série de tamis normalisée d'ouverture décroissante [94].

Le principe de cette manipulation consiste à prendre une quantité de tuf broyé et versée dans le premier tamis de la série, constituée des tamis d'ouvertures de (250µm, 125µm, 63µm, 45µm), montés sur une tamiseuse électrique et mise en marche pour une durée de 10 minutes ou plus si nécessaire.

### II. 3.1.6.L'activation

Après concassage, broyage et tamisage, la zéolite est soumise à une opération supplémentaire qui est l'activation.

L'activation consiste à augmenter le pouvoir adsorbant de la zéolite, notamment en éliminant les impuretés qui obstruent les pores [95].

Dans le cadre de ce travail, une activation chimique avec la soude caustique est effectuée.

Ce traitement consiste à mélanger une certaine quantité de la zéolite considéré avec un certain volume de la soude caustique (NaOH) 0.5M, donnant un rapport poids/volume de 1/2 sous une agitation magnétique pendant 6 heures.

La zéolite est séché dans une étuve à 105°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant, broyé et tamisé comme mentionné auparavant pour obtenir à la fin une zéolite activée.

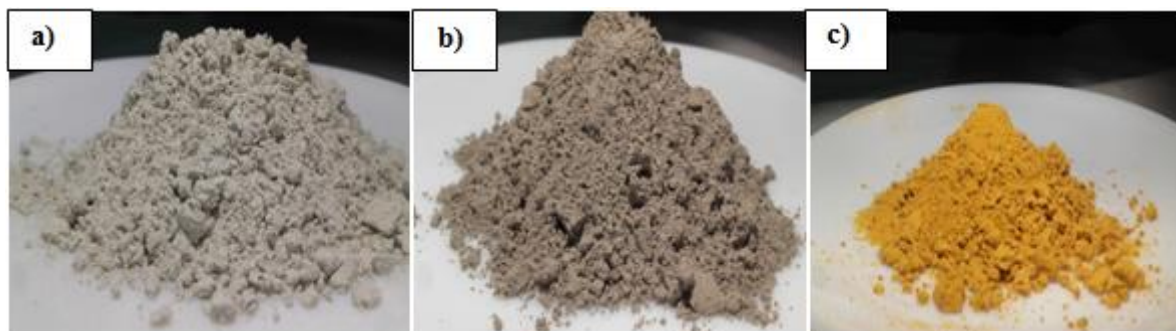
La masse de la soude caustique à prélever peut être quantifiée selon l'équation suivante :

$$n_{\text{NaOH}} = \frac{m_{\text{NaOH}}}{M_{\text{NaOH}}} = C_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{Total}}$$

Donc

$$M_{\text{NaOH}} = C_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{Total}} M_{\text{NaOH}} \quad \text{avec} \quad M_{\text{NaOH}} = 40 \text{ g/mol}$$

La figure ci-dessous représente les échantillons de la zéolite (a), l'argile (b) et les écorces d'orange amère (c) à l'état final dont le diamètre des poudres est inférieur à 45µm.



**FigureII. 3.2.** Les échantillons de la zéolite a), l'argile rouge b) et les écorces d'orange amère c) à l'état final (photographie).

### II. 3.1.7. Le mélange

Le mélange est une opération très importante car c'est la base de la formulation. Elle permet d'obtenir des produits intermédiaires ou finis avec la répartition la plus homogène possible des différents constituants dont l'objectif est que chaque unité de prise doit contenir effectivement la quantité de substances actives requise [96].

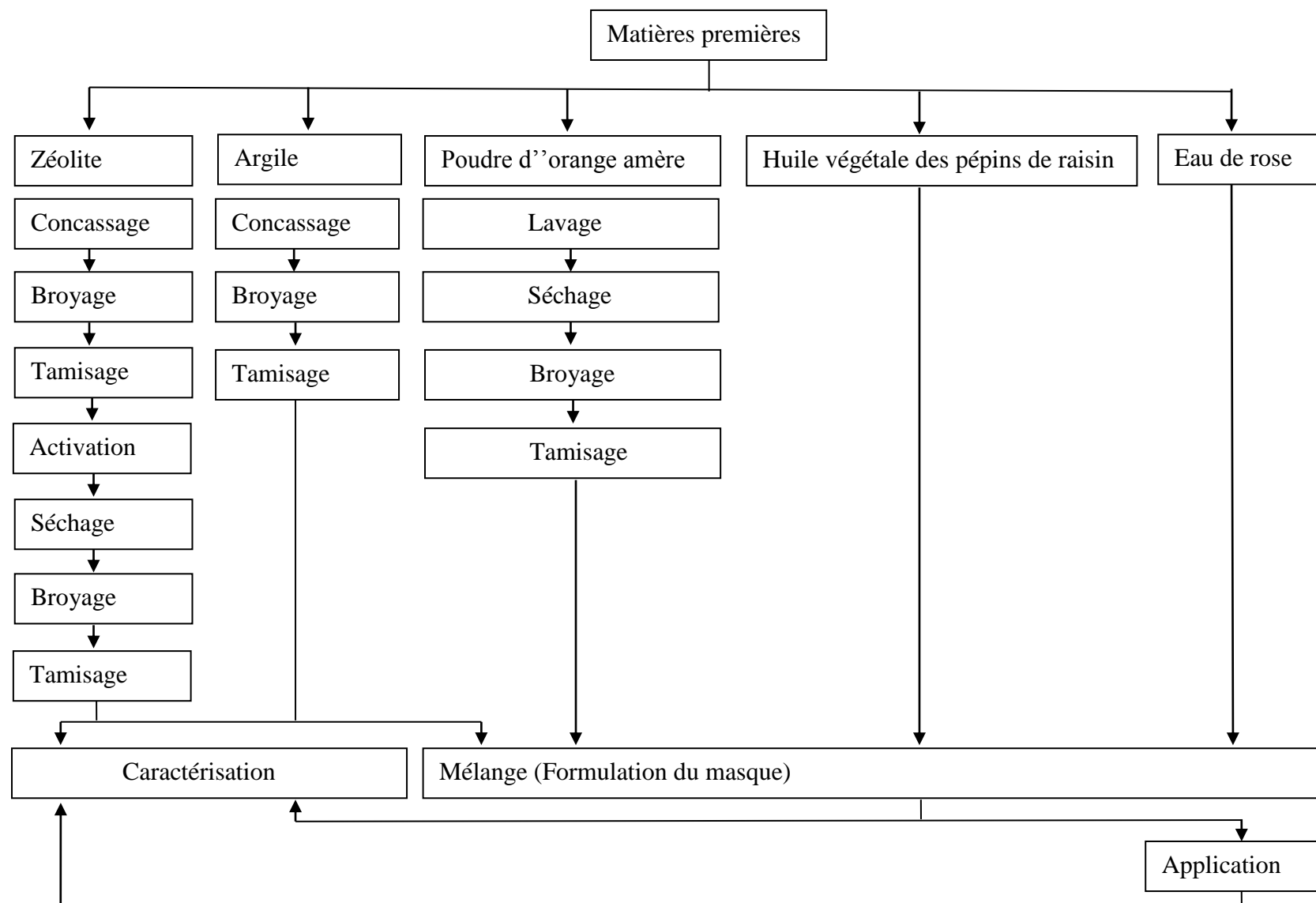


Figure II.3.3. Schéma récapitulatif du Protocol expérimental.

## II. 3.2. Caractérisation et analyse instrumentale

### II. 3.2.1. Caractérisation minéralogique

#### a. Analyse par diffraction des rayons X (DRX)

La nature de la zéolite et l'argile utilisées peuvent être connue à partir d'une diffraction de rayons X (DRX) réalisée sur les échantillons.

##### ➤ Présentation

La diffraction des rayons X est une méthode d'analyse minéralogique non destructive des matériaux cristallisés. Elle s'applique sur des poudres ou des échantillons massifs, elle sert à la détermination de la nature des phases minérales et leurs quantifications.

Un cristal est un agencement d'éléments (atomes ou molécules) avec une répétition périodique tridimensionnelle d'un motif atomique donné, appelé maille élémentaire.

Les distances interatomiques sont de l'ordre de l'Angström, du même ordre de grandeur que les longueurs d'onde des rayons X : un cristal constitue donc un réseau 3D qui peut diffracter les rayons X [97].

##### ➤ Principe

La méthode générale consiste à bombarder le matériau par un faisceau de rayons X monochromatique ( $0,1 \text{ \AA} < \lambda < 10 \text{ \AA}$ ) qui donne naissance à un faisceau réfléchi, de même longueur d'onde que le rayonnement incident

Les diffractogrammes sont obtenus en enregistrant l'intensité du faisceau diffracté en fonction de l'angle de déviation  $2\theta$  du faisceau incident.

L'interprétation des résultats est faite à partir de la relation de Bragg qui repose sur le principe suivant

$$n\lambda = 2 d \sin(\theta)$$

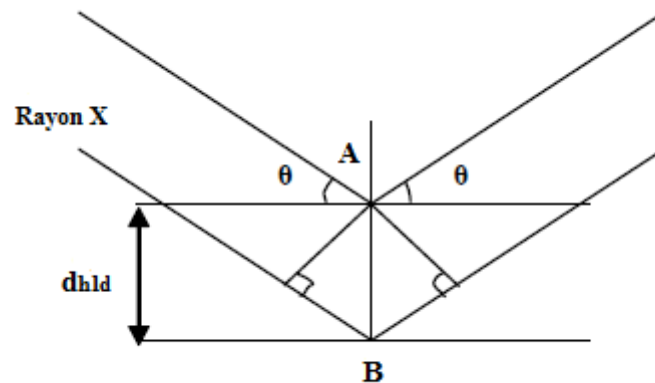
$n$  : Nombre entier correspondant à l'ordre de la diffraction.

$d$  : distance entre deux phases cristallographiques (la distance inter-réticulaire).

$\lambda$  : la longueur d'onde du rayon incident.

$\theta$  : l'angle d'incidence.





**Figure II.3.4.** Diffraction de Rayon X – Relation de Bragg

La position des pics de diffraction permet l'identification des structures ou phases cristallines présentes et donc la détermination de la composition cristallographique de l'échantillon analysé.

L'identification des phases cristallisées a été effectuée par comparaison du diffractogramme expérimental de l'échantillon avec ceux de bases de données du fichier ICDD (International Centre of Diffraction Data) [98].

### II. 3.2.2. Caractérisation chimique

#### a. Analyses par spectrométrie de fluorescence X (XRF)

Les teneurs en Si, Al et Na dans les échantillons ont été déterminées par fluorescence X.

##### ➤ Présentation

La spectrométrie de fluorescence X (XRF) est une technique d'analyse élémentaire non destructive qui permet la détermination de la composition élémentaire de l'échantillon de manière qualitative et quantitative, c'est-à-dire de déterminer la nature et la quantité des atomes qui sont présents dans l'échantillon. Elle présente les avantages suivants :

- Analyse multi-élémentaire : la quasi-totalité des éléments est analysée à l'exception des éléments très légers (faible numéro atomique :  $Z$ ) : les mesures de l'hydrogène H, du lithium Li et du Béryllium Be sont impossibles, celles du Bore B, du Carbone C, de l'azote N, de l'oxygène O et du Fluor sont délicates.
- C'est une technique adaptée à l'analyse de matrices diverses et complexes (poudres, minéraux, huiles, ciments, polymères, verres, céramiques...) pour déterminer la composition élémentaire.

**➤ Principe**

Cette technique consiste à bombarder l'échantillon à analyser avec des rayons X. L'élément excité par l'énergie des rayons X réémet de l'énergie sous la forme, entre autres, de rayons X en revenant à son état fondamental ; c'est la fluorescence X, ou émission secondaire de rayons X. Le spectre des rayons X émis est caractéristique de chaque élément dont est composé l'échantillon.

Un atome est constitué d'un noyau composé de neutrons et de protons. Autour de ce noyau gravitent des électrons.

D'une manière simplifiée, nous considérons que les électrons évoluent sur différentes orbites référencées K, L, M, N. Ces couches sont aussi appelées niveaux d'énergie. Tous les éléments chimiques ainsi que leurs niveaux d'énergies sont répertoriés dans le tableau périodique des éléments.

Chaque atome a des niveaux d'énergie qui lui sont propres. Nous pouvons donc considérer que pour deux atomes de nature différente, même très proches, nous observerons des niveaux d'énergie différents.

L'apport d'énergie en rayon X (sollicitation) sur un atome est tel qu'un électron est expulsé. L'atome rentre alors en phase d'excitation.

Pour retrouver son état stable, un électron d'une couche supérieure vient combler le vide. Il perd de l'énergie en la libérant sous forme de photons X.

Le niveau d'énergie du photon dépend directement du niveau de la couche à combler (E0) et du niveau de la couche qui fournit l'électron de remplacement (E1 ou E2). Après le remplacement, l'atome passe de la phase d'excitation à la phase de stabilisation.

Pour pouvoir alors étudier un échantillon, il nous faut donc :

- générer des rayons X susceptibles d'exciter un atome et d'éjecter un électron,
- récupérer et compter les photons émis en fonction de leurs niveaux d'énergie,
- Analyser le signal obtenu [98].

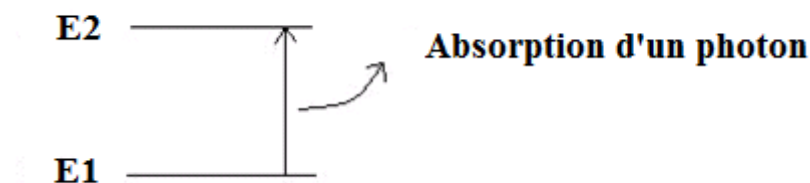
**b. Spectroscopie d'absorption atomique****➤ présentation**

La spectroscopie d'absorption atomique est essentiellement une méthode d'analyse quantitative qui convient beaucoup mieux à la détermination des traces qu'à celle des

composants majeurs. Elle présente de nombreux avantages : haute sensibilité, grande spécificité, rapidité, faible quantité de substance nécessaire (1 ml de la solution peut suffire) et facilité de préparation des solutions étalons mais nécessité d'utiliser pour chaque élément à doser une source caractéristique. C'est une technique d'analyse destructrice dont le domaine d'application limité presque exclusivement aux métaux (Cu, Zn, Pb, Cr, Fe, Cd, etc....) et nécessité d'avoir des concentrations assez faibles(ppm).

➤ **Principe**

L'absorption atomique est une méthode qui permet de doser essentiellement les métaux en solution. Cette méthode d'analyse élémentaire impose que la mesure soit faite à partir d'un élément à doser transformé à l'état d'atomes libres. L'échantillon est porté à une température de 2000 à 3000 degrés pour que les combinaisons chimiques dans lesquelles les éléments sont engagés soient détruites. La spectrométrie d'absorption atomique est basée sur la théorie de la quantification de l'énergie de l'atome qui se produit lorsque ce dernier passe de l'état fondamental à l'état excité. Cette énergie est sous la forme d'un rayonnement électromagnétique, qui correspond à une longueur d'onde spécifique.



L'analyse par absorption atomique permet de mesurer les concentrations des éléments à doser, elle suit la loi de Beer- Lambert selon laquelle l'absorbance est proportionnelle au coefficient d'absorption spécifique  $k$  (dépendant du composé et de la longueur d'onde considérée), au trajet optique  $l$  (épaisseur de la cuve) et à la concentration du composé dosé  $c$ .

$$A = k \cdot c \cdot l$$

Où  $A = \log I_0/I$

$I$  = intensité après absorption par les atomes.  $I_0$  = intensité initiale de la source lumineuse [99].



## ***Chapitre III***

Dans ce chapitre, Tous les résultats expérimentaux obtenus sont présentés et discutés. En effet, comme mentionné auparavant, le programme expérimental réalisé a considéré l'étude de l'absorption des métaux lourds (substance toxique) par les zéolites naturelles sous forme d'un masque purifiant après prétraitement physique et chimique.

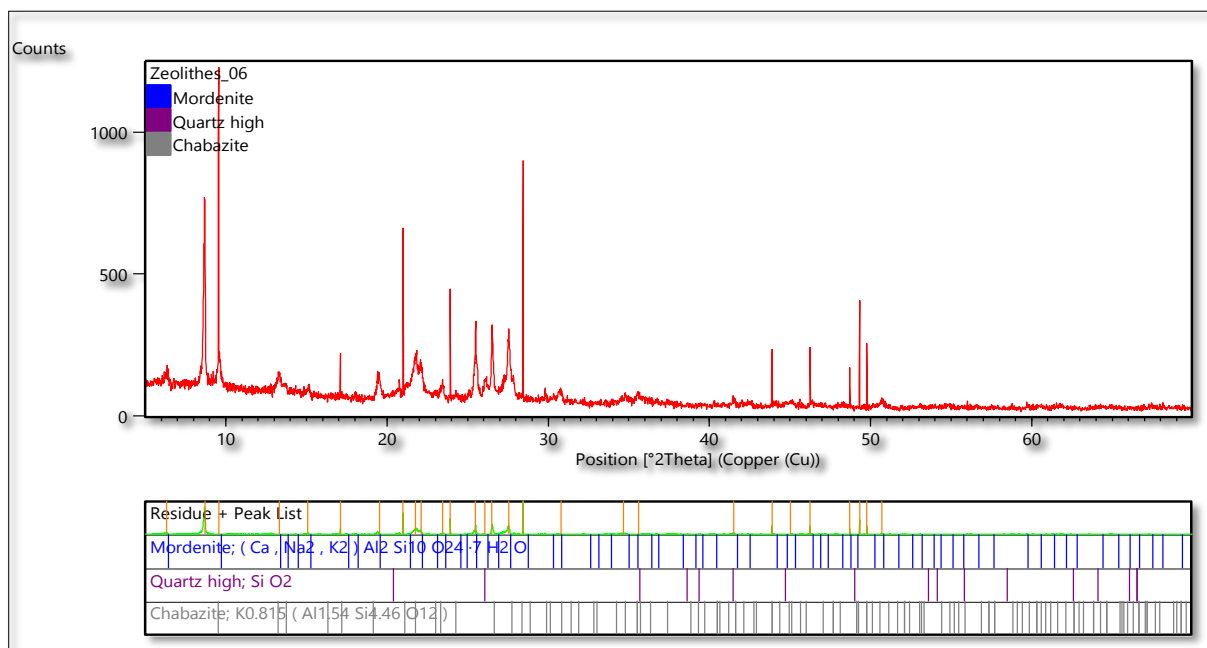
Pour chaque étape, des analyses instrumentales ont été menées afin de mettre en évidence la rentabilité et l'efficacité de ce dernier.

### III.1. Analyse minéralo-chimique des minéraux bruts

#### III.1.1. La zéolite

##### III.1.1.1. Caractérisation minéralogique par diffraction des rayons X

L'étude minéralogique réalisée par la diffraction des rayons X effectuée sur la zéolite de Tinebdar nous donne le diffractogramme présent dans la figure



**Figure III.1.** Diffractogramme de rayons X de la zéolite brute utilisée

Le diffractogramme mis en évidence que notre zéolite confirme la présence des pics caractérisant de minéral de mordenite (zéolite naturelle) avec la plus forte intensité, suivi de la chabazite et en dernier les silices représentée par les quartz indiqué en code de couleurs.

#### III.1. 1.2. Analyse chimique par fluorescence X

L'analyse par fluorescence X de l'échantillon de zéolite brute aboutie aux résultats représentés dans le tableau III.1 :

Tableau III.1. Compositions chimiques de la zéolite de Tinebdar.

% en oxydes	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	PAF
% massique	65,96	11,38	2,22	2,07	0,69	1,17	0,06	1,73	3,00	9,40

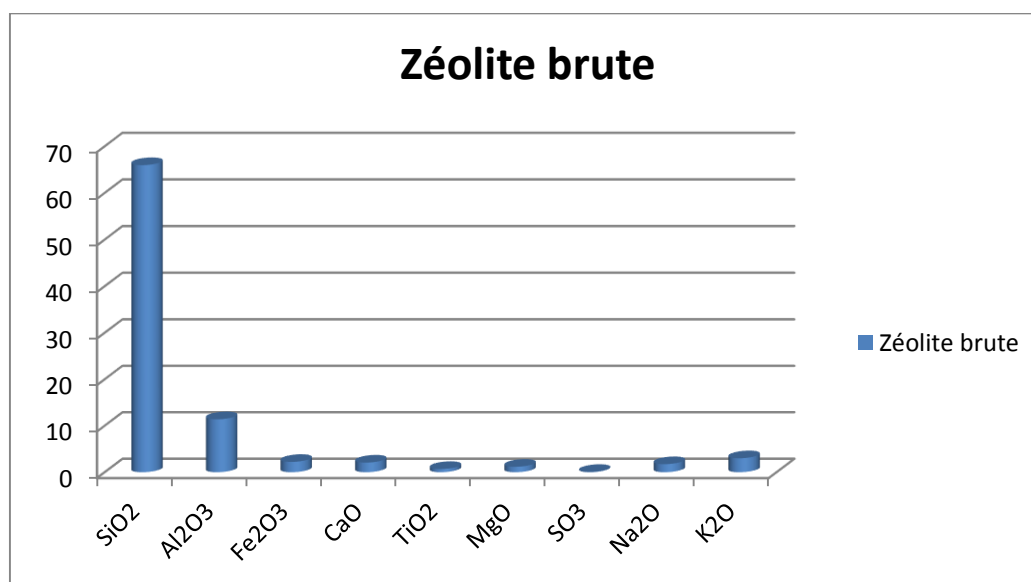


Figure III.2. Histogramme de la composition chimique de la zéolite de Tinebdar.

Les résultats indiquent la prédominance nettement remarquable de la silice et l'alumine dans l'échantillon, ce dernier contient d'autres oxydes en faible teneur (K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Na<sub>2</sub>O et MgO), et deux oxydes en trace (TiO<sub>2</sub> et SO<sub>3</sub>).

L'analyse par fluorescence X permet alors de mettre en évidence les principaux éléments de la charpente zéolitique et de confirmer la nature silico-alumineuse de la zéolite étudiée.

### III.1. 2. L'argile rouge

#### III.1.2.1. Analyse minéralogique par DRX

Le diagramme des Rayons X de l'argile brute est illustré par la figure 1.

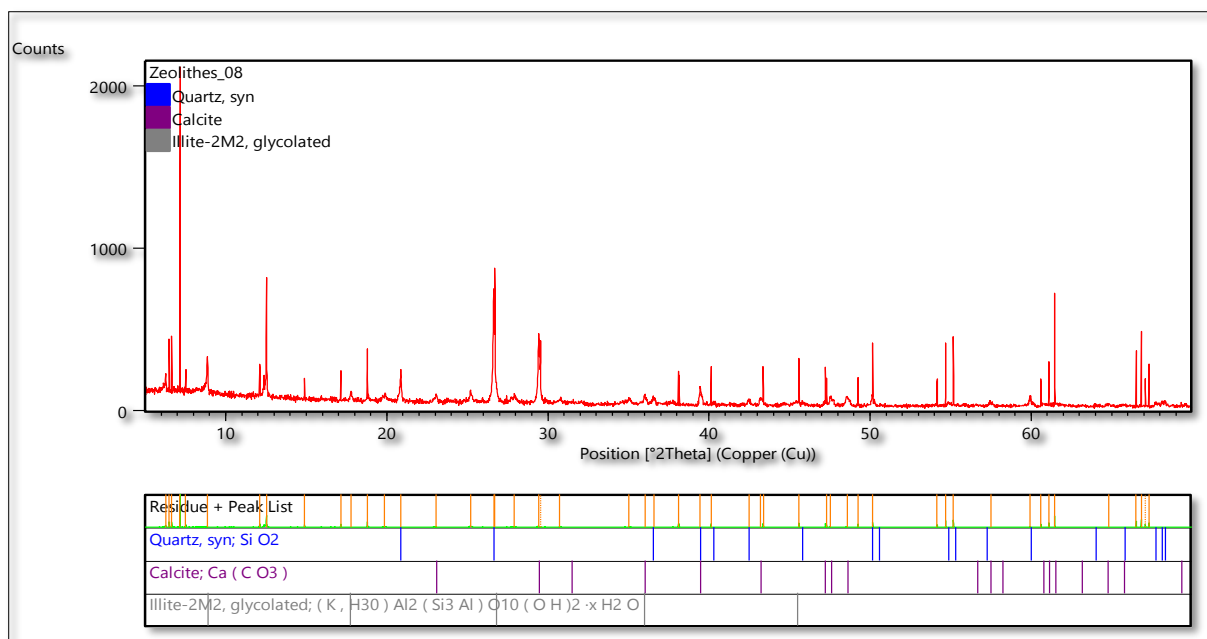


Figure III.3 Diffragtogramme de rayons X de l’argile utilisée.

L'analyse spectrale indique qu'elle est composée de Quartz(SiO<sub>2</sub>), Calcite Ca (CO<sub>3</sub>) et Illite [(K,H<sub>3</sub>O)Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>×H<sub>2</sub>O]. Il révèle principalement la présence d'un pic intense qui correspond à un mélange de ces composés, ce qui implique que notre argile est hétérogène.

### III.1.2.2. Analyse chimique par fluorescence X

La composition chimique par fluorescence des rayons X de l’argile utilisée est donnée dans le tableau IV.2:

Tableau III.2. Compositions chimiques de l’argile utilisée.

Eléments	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V
% massique	3,123	3,599	16,166	41,85	0,451	0,513	3,622	20,739	0,803	0,022
Eléments	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Rb	Sr
% massique	0,024	0,058	7,607	0,006	0,038	0,024	0,002	0,001	0,018	0,082
Eléments	Y	Zr	In	Ba	Eu	Yb	Re	Os	Ir	Pb
% massique	0,004	0,027	0,01171	0,027	0,018	0	0	0	0	0,004

Les résultats de la Fluorescence X montre des proportions élevées de Si(Quartz) et de Calcite, cela confirme les résultats de l'analyse minéralogique par DRX, à savoir la fraction argileuse de notre matériau est constituée de Quartz et de Calcite comme impureté majeure dans notre échantillon.

On remarque également des proportions considérables en alumine, due à la présence de l'illite, ainsi qu'en oxyde ferrique qui confirme la coloration rouge de l'argile utilisée.

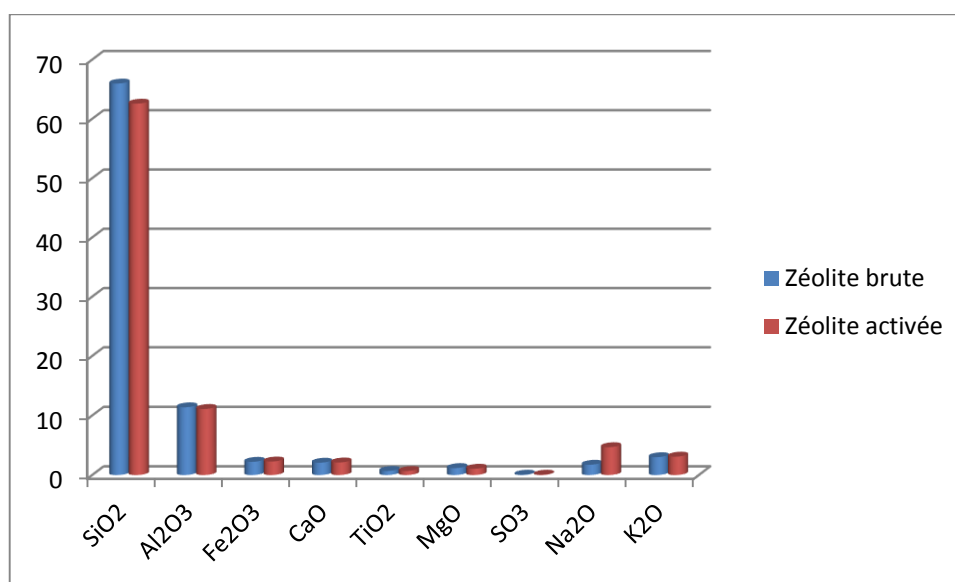
### III.2. Analyse chimique de la zéolite avant et après activation

#### III.2. 1. Analyse par fluorescence de X

Les résultats des oxydes obtenus sont mentionnés comme suit dans le tableau.

**Tableau III.3.** Tableau de la composition chimique de la zéolite avant et après activation.

% en oxydes	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	PAF
Zéolite brute	65,96	11,38	2,22	2,07	0,69	1,17	0,06	1,73	3,00	9,40
Zéolite activée	62,57	11,10	2,27	2,11	0,68	1,06	0,06	4,68	3,09	9,00



**Figure III.4.** Histogramme de la composition chimique de la zéolite de Tinebdar avant et après activation.



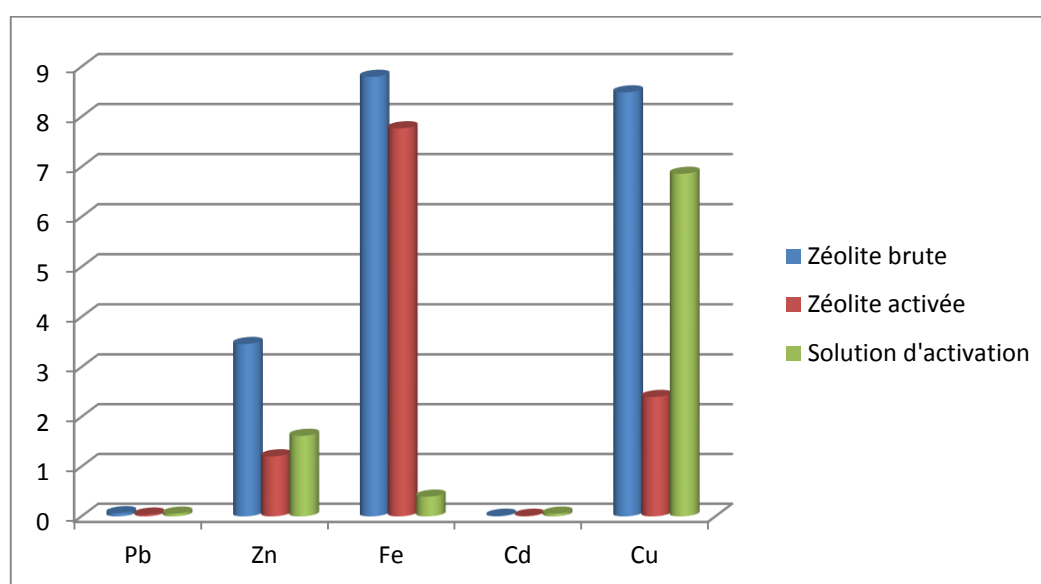
En comparant les pourcentages en oxydes de la zéolite avant activation et après activation, on observe que La silice et l'alumine sont les oxydes constitutifs majoritaires dans les deux échantillons.

En parallèle On note une petite augmentation de la concentration de Na<sub>2</sub>O qui passe de 1,73% à 4,68%. Cette augmentation fait preuve d'un échange ionique entre les ions de la zéolite et les ions de la soude.

### III.2.2 Analyse par absorption atomique (SAA)

**Tableau III.4.** Les compositions chimiques de la zéolite avant et après activation.

Concentration en métaux lourds (ppm)	Pb	Zn	Fe	Cd	Cu
Zéolite brute	0,063	3,46	8,769	0,0125	8,485
Zéolite activée	0,036	1,206	7,768	0,0115	2,399
Solution d'activation	0,054	1,618	0,396	0,054	6,859



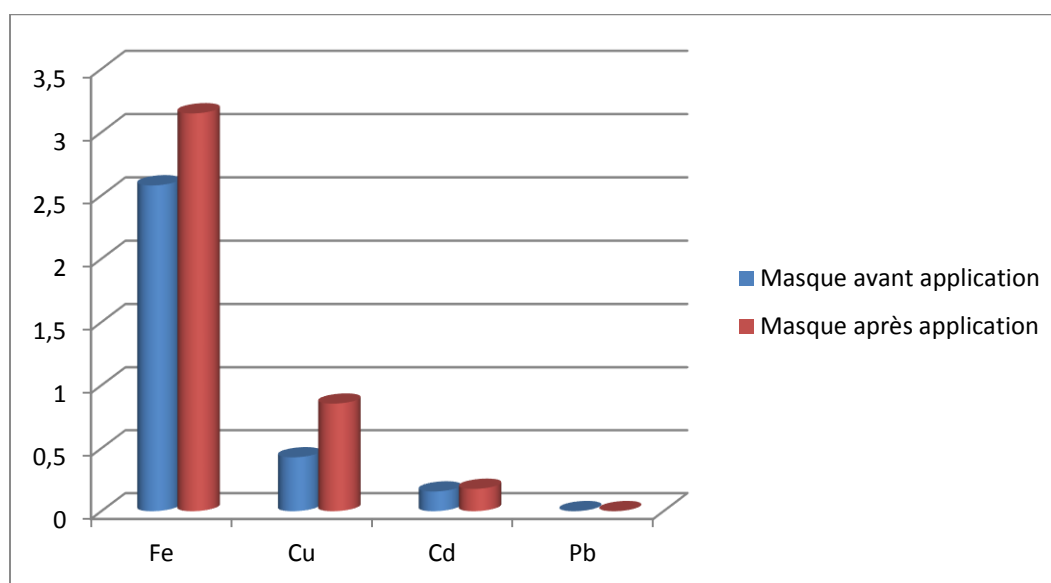
**Figure III.5.** Histogramme des compositions chimiques de la zéolite brute et activée.

D'après les résultats obtenus, on observe que la teneur en Pb, Zn, Fe, Cd et Cu diminue respectivement dans l'échantillon avec 0,027, 2,254, 1,001, 0,001, 6,086 ppm respectivement après le processus d'activation. Ces résultats sont confirmés par les teneurs en ces métaux obtenues dans la solution d'activation.

### III.3. Analyse du masque purifiant avant et après utilisation

**Tableau III.5.** Tableau des concentrations du masque purifiant en métaux lourds.

Concentration en métaux lourds (ppm)	Fe	Cu	Cd	Pb
Masque avant application	2,5803	0,4279	0,1564	0,000
Masque après application	3,1490	0,8546	0,1773	0,000



**Figure III.6.** Histogramme des concentrations du masque purifiant en métaux lourds.

Les concentrations des métaux lourds dans le masque purifiant à base de la zéolite après l'utilisation sont élevées par rapport à ceux avant l'utilisation de ce masque.

Les analyses ont révélés la présence de valeurs en métaux traces très hétérogènes. La contamination la plus importante concerne relativement le Fer.

Les concentrations du Cuivre et Cadmium sont moins importantes par rapport au Fer.

Néanmoins, la concentration en Pb n'a pas connus de changement cela s'explique par une éventuelle absence des substances métalliques en question au niveau de la peau sur laquelle le masque a été appliqué.

Ce qui confirme la capacité d'adsorption et le pouvoir purifiant du masque à la zéolite à l'égard des métaux lourds.





***Conclusion  
générale***

### Conclusion générale

D'un point de vue général, ce sujet se situe à l'intersection de trois disciplines: la valorisation des ressources minérales (l'utilisation de la zéolite), la cosmétologique (élaboration d'un masque) et la dermatologie (purification de la peau).

Les résultats obtenus lors de cette étude, confirment l'intérêt pratique de l'utilisation de la zéolite comme adsorbant des métaux lourds. Cette observation est basée sur les résultats obtenus lors des différentes analyses appliquées sur nos échantillons.

Les résultats de l'analyse minéralogique par diffraction des rayons X des échantillons de départ nous révèlent:

-la présence de la modernité ainsi que la présence d'autres minéraux (chabazite et quartz) dans l'échantillon de zéolite.

L'analyse chimique par fluorescence X nous permet de déduire que:

-la silice constitue l'élément majeur pour les échantillons activés et ceux non activés avec des teneurs qui dépassent les 50%. On remarque une présence d'alumine à des taux qui dépassants les 10%.

-le rapport  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  confirme que la nature des échantillons de départ est la modernité.

-l'augmentation significative de la teneur en  $\text{Na}_2\text{O}$  dans l'échantillon activé est due à l'effet de l'ajout de l'hydroxyde de sodium( $\text{NaOH}$ ) durant le procédé de l'activation.

L'analyse par spectroscopie d'absorption atomique nous a permis de quantifier dans un premier temps les concentrations en métaux lourds existantes dans les échantillons de zéolites. Par la suite, ces résultats nous permettent d'évaluer le procédé d'activation par hydroxyde de sodium et d'estimer l'efficacité de ce dernier.

Enfin, cette étude se voulait une source importante d'information sur la zéolite. Plusieurs données de caractérisation et d'application ont été générées, mais la complexité du sujet laisse la voie libre à une poursuite des travaux.



# ***Perspectives***

## **Perspectives**

Au terme de notre travail et dans le souci de pousser les recherches dans ce domaine pour des résultats meilleurs, on recommande timidement de prendre en considération les points suivants:

-apprécier l'adsorption de la matière organique par la zéolite à travers des méthodes chromatographiques.

-effectuer une étude qui permet le contrôle et la variation d'autres paramètres (réduction du temps d'application).

-comparer le taux de métaux lourds dans les masques épidermiques par rapport aux normes exigées pour la mise en place de masque commercialisables.



## ***Bibliographie***



# Bibliographie

---

- [1] Pierre-Yves Lair, A propos des 26 allergènes de la Directive 2003/15/CE, Université de Nantes faculté de pharmacie, 2006
- [2] Mlle Hajar MEHDAOUI, les allergies et intoxications liées aux produits cosmétiques : enquête de prévalence au niveau de la ville de rabat et salé, université mohammed v-rabat faculté de médecine et de pharmacie – rabat, 2016
- [3] Zéolite : « Nature's Heavy Métal Detoxifier » du Dr Howard Peiper
- [4] Stéphane Walspurger, Activation de petits alcanes par les acides solides et quelques exemples d'application des super acides et des acides solides en synthèse organique. Thèse de doctorat de l'université de Louis Pasteur De Strasbourg, 2006.
- [5] Andreas Kogelbauer, Role Prins, Encyclopedia of Chemical Physics and Physical Chemistry- 3 Volume, Taylor and Francis Group.
- [6] G. Wine. Synthèse de zéolites BETA sur du  $\beta$ -SiC et dans des nanotubes de carbone. Application à la réaction d'acylation de Friedel-Crafts, Thèses de doctorat de l'université Louis Pasteur Strasbourg, 2004.
- [7] Damour, A., Ann. Mines 1840, 17, 191.
- [8] Eichhorn, H., Poggendorf Ann. Phys. Chem. 1858, 105, (126).
- [9] St. Claire-Deville, H., Compt. Rend. 1862, 54, 324.
- [10] Friedel, G., Bull. Soc. Franc. Mineral. Cristallogr. 1896, 19, 94-118.
- [11] Taylor, W. H., Z. Kristallogr. 1930, 74, 1.
- [12] Pauling, L., Proc. Nat. Acad. Sci. 1930, 16, 453.
- [13] Pauling, L., Z. Kristallogr. 1930, 74, 213.
- [14] Barrer, R. M., J. Soc. Chem. Ind. 1945, 64, 130.
- [15] Barrer, R. M., J. Chem. Soc. 1948, 2158.
- [16] Flanigen, E. M.; Rabo, J. A., Newsbrief - Obituary - A tribute to Robert Mitchell Milton, zeolite pioneer (1920-2000). MicroporousMesoporous Mater. FIELD Full Journal Title: Microporous and Mesoporous Materials 2001, 47, (1), 119-123.
- [17] Berthomieu, D.; Delahay, G., Recent advances in Cu/IIY: experiments and modeling. Catal. Rev. - Sci. Eng. 2006, 48, (3), 269-313.
- [18] C, S, Cundyet P, A, Cox, The hydrothermal synthesis of zeolites: history and development from the earliest days to the present time, Chemical Reviews 103 (2003) 663-01,
- [19] Bekkum et al, (1991), Rabo et al, (2001).

## Bibliographie

---

- [20] W.M. Meier, D.H. Olson, Atlas of Zeolite Structure Types, Butterworth: London, 1987.
- [21-] A.F. Cronstedt, Svenska Ventenskaps Akademiens Handlingar Stockholm 18, 1756, 120.
- [22] P.A. Wright, J. M. Thomas, A.K. Cheetham, A.K. Nowak, Nature 318, 1985, 611.
- [23] Bekkum H. V.; Flanigen, E. M. ; Jacobs, P. A. ; Jansen, J. C., Introduction of zeolite science and practice. Studies in Surface Science and Catalysis 2001, 137.
- [24] Baerlocher, C. ; Meier, W. M. ; Olson, D. H, Atlas of Zeolite Framework types, 5<sup>th</sup> revised Edition, Elsevier, 2001.
- [25] Les zéolithes DE GHELLINCK Alexis, HENRY Nicolas, SORIANO Sébastien  
Département de chimie 10 - 16 mars 2008
- [26] BRGM, Mémento roches et minéraux industriels, Zéolites naturelles, décembre 1995, R 38657
- [27] Lim, K. H.; Grey, C. P., Characterization of Extra-Framework Cation Positions in Zeolites NaX and NaY with Very Fast <sup>23</sup>Na MAS and Multiple Quantum MAS NMR Spectroscopy. J. Am. Chem. Soc. FIELD Full Journal Title: Journal of the American Chemical Society 2000, 122, (40), 9768-9780.
- [28] Olah, G.A.; Molnar, A.; Hydrocarbon Chemistry, J. Wiley and Sons, 1995.
- [29] R. Aiello, J. B. Nagy, G. Giordano, A. K atovic et F. Testa, Isomorphous substitution in zeolites, Comptes Rendus de chimie 2005, 8, 321-329.
- [30] Xu R., Pang W., Yu J., Huo Q., Chen J., —Chemistry of Zeolites and Related Porous Materials, Wiley-Interscience (2007).
- [31] W. Schmidt, Handbook of porous solids, F. Schuth, K. S. W. sing, Weitkamp, J. Wiley-VCH, (Ed), Weinheim, vol 2, 1087, 2002.
- [32] Baerlocher, Ch, L.B. McCusker; Olson, D. H, Atlas of Zeolite Framework types, 6<sup>th</sup> revised Edition, Elsevier, 2007.
- [33] Laetitia Majoli. Elaboration, caractérisation et étude des performances de nouveaux adsorbants hydrophobes : application aux atmosphères odorantes et/ou chargées en composés organiques volatils. Sciences de l'environnement. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2005. Français.
- [34] W. Schmidt, Ed. F. Schüth, K. S. W. Sing, J. Weitkamp, Ed. Wiley-vch, Weinheim. (1987) 11.
- [35] R. W. Neuzil, US patent. (1971) 362, 6020.
- [36] C. M. Roeseler, S. Kulprathipanja, J. E. Rekoske, U. S International Classification C07C 712.(2004) 585.

## Bibliographie

---

- [37] H. Upadek, B. Kottwitz, B. Schreck, *Tenside, Surfactants, Detergents* 33, 1996, 385.
- [38] Nicolas Brodu, *Etude d'un procédé d'ozonation avancée sur zéolithe pour le traitement d'effluents organiques gazeux*, Université de Toulouse, 2012.
- [39] B. F. Mentzen, F. D Renzo, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série II. B* (1995) 343, 321.
- [40] H. Van Bekkum, E.M. Flanigen, P.A. Jacobs, J.C. Jansen (Eds), « *Introduction to Zeolite Science and Practice* », Elsevier, 2001.
- [41] Brett A. Holmberg, Huanting Wang, Yushan Yan, *Microporous and Mesoporous Materials* 74 (2004) 189-198.
- [42] M. Guisnet et F.R.Ribeiro. *Les Zéolithes, Un Nanomonde Au Service De La Catalyse*, EDP Science, 2006.
- [43] Scott M. Auerbach et al. *Handbook Of Zeolite And Technology*. New York Basel Marcel Dekker, 1<sup>ST</sup> and 2<sup>nd</sup> Ed 2001, 2003.
- [44] V. Bekkum, H. Flanigen, Jansen EMJ J C., *Introduction To Zeolite Science And Practice, Studies In Surface Science And Catalysis* 58. Elsevier 1991.
- [45] BARRETT P., BOIX E., CAMBLOR M. A., DIAZ-CABANAS M. J., VALENCIA S., VILLAESCUSA A., « *Proceedings of the 12th International Zeolite Conference* », Ed. Treacy M. M. J., Malus B. K., Bisher M. E., Higgins J. B., Baltimore, USA, 1999, 1495.
- [46] CAULETT P., HAZM J. L., JOLY J. F., LYNCH J., RAATZ F., *Zeolites*, 1992, 12, 240.
- [47] D. M. Ginter, A. T. Bell et C. J. Radke, *The effects of gel aging on the synthesis of NaY zeolite from colloidal silica*, *Zeolites* 1992, 12, 742-749.
- [48] H. Lechert, *New routes in zeolite synthesis*, *Studies in Surface Science and Catalysis* 1984, 18, 107-123.
- [49] P. Caulett, J. Hamz, J. L. guth, J. F. Joly, J. Lynch, F. Raatz, *Zeolites*, 1992, 12, 240.
- [50] R. J. Francis, D. O'hared, *J. Chem. Soc. Dalton Trans.*, 1998, 19, 3133.
- [51] Melle MEKKI DAOUADJI Charifa, *élaboration et caractérisation des zéolithes de types X et LSX et étude de leurs application dans l'environnement. Génie des matériaux*. Université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf. 2014.

## Bibliographie

---

[52] possibilités d'utilisation des zéolites dans le domaine de l'environnement, A, LALLEMAND-BARRES, octobre 1992.

[53] A. GUERIN, réussir la technologie en CAP et BAC Esthétique-cosmétique, édition Nucleus, aout 2013.

[54] Leslie LARDEAU, la cosmétique maison, nouvelle tendance entre écologie et loisir : le regard du pharmacien, université de limoges, Année 2011.

[55] VAN LANDUYT Hervé, dermatologue attaché CHU Besançon, Cosmétologie-Dermatologie Esthétique: Connaitre la peau et les produits comment mieux conseiller et adapter les soins, 2008.

[56] Véronique MALLO, sous-traitance et développement pharmaceutique d'un médicament : application a la conception d'un comprimé a croquer, université de bordeaux-college sciences de la sante, Année 2015, page : 16

[57] MARTINI M-C, Introduction à la dermopharmacie et à la cosmétologie, 3ème édition, Lavoisier, Paris, 2011 : Chapitre 1 ,« Législation », page: 1-12.

[58] Michel DECLERCO, introduction à la cosmétologie, présentation ITM, novembre 2008

[59] Coiffard.L - Cours de cosmétologie Sème année de pharmacie, Faculté de Pharmacie de Nantes, Année 2011/2012 -

[60] Anne-Sophie, DEBORDE, Les cosmétiques bio : généralités, perception par l'équipe officinale et les professionnels du monde de l'esthétique, université de nantes, année2013

[61] BUREAUX Vanessa, LES PATHOLOGIES DERMATOLOGIQUES EN

MEDECINE GENERALE : DIFFICULTES ET PROPOSITIONS DES FACULTE MIXTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE DE ROUEN, ANNEE 2012

[62] Méliissopoulos, Alexandre, Christine Levacher, Ladislav Robert, et Robert Ballotti. 2012. La peau structure et physiologie. Éd. TEC & DOC. Paris: Lavoisier.

[63] Marieb, Elaine Nicpon, Katja Hoehn, Linda Moussakova, et René Lachaine. 2010. Anatomie et physiologie humaines. Paris; [Saint-Laurent (Québec)]: Pearson ; ERPI.

[64] Mlle. Nadia ELKASSOUANI, LES PRODUITS COSMETIQUES POUR LES SOINS DU VISAGE FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE –RABAT, UNIVERSITE MOHAMMEDV - SOUISSI, annee:2013

[65] Martini, Marie-Claude. 2011. Introduction à la dermopharmacie et à la cosmétologie. Éd.Médicales internationales. Cachan: Lavoisier.

## Bibliographie

---

- [66] Poirier, Jacques. 1999. *Histologie moléculaire: texte et atlas*. Paris: Masson.
- [67] Stevens, Alan, et J. S Lowe. 2006. *Histologie humaine*. Paris: Elsevier.
- [68] Marie –Noëlle Estrade ; « conseil en cosmétologie 2ème édition » ; 2006 ; page : 23-24.
- [69] CH ROUGET ; Archives de physiologie normale et pathologique ; page : 674
- [70] article Dermatologie - Médecine de la peau; Docteur Philippe Abimelec Dermatologue, Ancien attaché à l'hôpital Saint-Louis Membre de la société française de dermatologie.
- [71] White M. Recent findings in the epidemiologic evidence, classification, and subtypes of acne vulgaris. *J Am Acad Dermatol* 1999 , 39 : 34-37.
- [72] Jansen T, Plewig G, Kligman AM. Pathophysiology of acne, *Dermatol Ther* 1998 ; 6 : 7-17.
- [73] Furnas DW. Festoons of orbicularis muscle as a cause of baggy eyelids , *Plast Reconstr Surg* 1987 ;614:540-6.
- [74] Joseph Jacob PLENCK, les maladies de la peau , 2005
- [75] ALLAIRE A6FOUKS N, L'hydratation du visage, *Monit. pharm. Lab, Cahier 2 du n* 2328, 20,P 2-15
- [76] COIFARD L. Masques et produits d'exfoliation, Cours DESS de cosmétologie, 2003
- [77] PEYREFITTE G. MARTINI M6C. CHIVOT M. *Cosmétologie, cahiers d'esthétique cosmétique*, SIMEP éd, paris, 1995, 136P
- [78] ANONYME, Ce que pouvez faire pour hydrater la peau, *NOUV.Esth*,1996,475,p44-46
- [79] I. COIFARD ARD Masques et produits d'exfoliation, cours DESS de cosmétologie 2003.
- [80] G. PEYREFITTE MARITINI, M. CHIVOT, *Cosmétologie cahier d'esthétique cosmétiques*, édition SIMP, Paris, 1995.
- [81] Comment bien choisir un masque visage ? Par Anne-Marie Gabelica le 19 octobre 2015
- [82] CETIM : (centre d'étude et des services technologiques de l'industrie des matériaux de construction) « Rapport géologique de gisement de tuf de Remila », (2003).
- [83] Audit environnemental de carrière d'argile de Remila (2010).
- [84] SOMACOB Bejaia. Etude environnemental carrière d'argile. (2014)
- [85] Rapport d'essai N° : 795/03, CETIM, 2003.

## Bibliographie

---

[86] M me Ihadjadene Virginie Infirmière D .E. argile a l'hopital, utilisation de l'argile dans un service de soins hospitaliser.

[87] Alix LELIEF .DEL COURT. L'argile c'est sain et malin les 1001 secrets d'un ingrédient magique.

[88] Larousse Encyclopédique des plates médicales.

[89] Artemis P. Simopoulos, Importance of the Omega-6/Omega-3 Balance in Health and Disease: Evolutionary Aspects of Diet, 1er janvier 2011.

[90] Malloy MJ, Kane JP. Agents used in hyperlipidemia. In: B. Katzung, ed. Basic and Clinical Pharmacology. 4th ed. Norwald, CT: Appleton and Lange, 1989.

[91] Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate. Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. Washington, DC: National Academy Press, 2005.

[92] Léonard Angélique articles relatifs au séchage Laboratoire de Génie Chimique Département de Chimie Appliquée, Faculté des Sciences Appliquées Université de Liège – Haute Ecole Charlemagne – Hemes 2002.

[93] Ghislain Kibwe Ilunga, Amélioration du rendement de récupération du cobalt en fractionnant le booster et le tall-oil comme activant Gradué en science appliquées de l'ingénieur Université de Kolwezi 2015.

[94] Charles Voivret. Texture et comportement des matériaux granulaires a grande polydispersité. Mécanique [physics.med-ph]. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, 2008.

[95] M. Khormaei, B. Nasernejed, M. Edrisi, T. Eslamzadeh, "Copper bio sorption from aqueous solution by Sour orange residu", Journal of Hazardous Material 149, 269 – 274 (2007).

[96] Mme GUERIN Clémentine, Validation d'une méthode de fabrication de gélules Institut des sciences pharmaceutiques et biologiques faculté de pharmacie université Claude Bernard-Lyon 1 2014.

# Bibliographie

---

[97] CAMPESI Renato, thèse de doctorat en sciences ingénierie et environnement, synthèse, caractérisation et étude des propriétés thermodynamique d'hydrogénation de nanocomposites matériaux poreux/ métaux alliages, Université de paris est, 2008.

[98] DIN 51001 : Analyses sur les oxydes et les matériaux bruts. Bases générales de travail pour la méthode de fluorescence XRF.

[99] Mme KHALFAOUI AMEL Épouse DERBAL, Etude Expérimentale de L'élimination de Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Matériaux Naturels Application aux Peaux d'Orange et de Banane Université Mentouri de Constantine, 2012

# Bibliographie

---



## **Résumé**

L'intérêt de ce travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des zéolites dans le domaine cosmétologique, son but est d'apprécier les qualités et l'efficacité de la zéolite en termes d'adsorption des métaux lourds lorsqu'elle est utilisée comme principe actif dans les masques épidermes purifiants. Le projet requiert dans un premier temps une caractérisation minutieuse de ladite substance au moyen des différents équipements d'analyses (DRX, FX, SAA), aussi une activation de la substance minérale en question par un procédé physico-chimique (activation par l'hydroxyde de sodium). Divers masque confectionnées à base de zéolite, ont fait l'objet d'une application cutanée ensuite, ils ont été soumis à mainte analyses afin d'estimer leur capacité d'adsorption des métaux lourds. Une multitude de résultats a été ressortit des diffractions analyses, ces dernières mettent en évidence les facultés d'adsorption des zéolites vis-à-vis les métaux lourds.

**Most clés : zéolite, métaux lourds, adsorption, cosmétologie.**

## **Abstract**

This work is the valorization of zeolites in the cosmetic field. Its aim is to assess the quality and efficiency of zeolite in terms of adsorption of heavy metals when used as an active ingredient in the purifying epidermis masks. The project requires a thorough characterization of the substance by means of the various analytical equipment (DRX, FX, SAA), thus activating the mineral substance in question by a physic-chemical process( by sodium hydroxide). Various mask made from zeolite, were subjected to a dermal application and then subjected to numerous analyzes in order to estimate their capacity of adsorption of heavy metals.

**Keywords: zeolite, heavy metals, adsorption, cosmetology.**