

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE  
LA RECHERCHESCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 08 MAI 45 GUELMA

Faculté des mathématiques et de l'informatique et des sciences de

la matière département des sciences de la matière

**Mémoire de fin d'études**

**Master II**



**Spécialité : Chimie Physique**

*Présenté Par :*

- *ZEGHDOUDI Fethia*
- *ARAAR Khawla*

---

---

**Synthèse des matériaux inorganiques fonctionnalisés**

---

---

*Sous la Direction de :*

- *Dr FARDJAOUI Nor-El-Houda*

**Juin 2023**

## *Remercîment*

*(لَا يَشْكُرُ اللَّهَ مَنْ لَا يَشْكُرُ النَّاسَ)*

*Au nom d'Allah, le Miséricordieux, le Clément,*

*En entamant ces mots de gratitude, nous tenons tout d'abord à exprimer notre reconnaissance infinie à Allah, notre Créateur, pour avoir béni notre chemin d'études et nous avoir guidées dans cette noble quête de savoir. En tant que musulmanes, nous sommes humbles et reconnaissantes envers Sa grâce et Sa miséricorde qui nous ont permis de réaliser ce précieux accomplissement.*

*Nous voudrions également exprimer notre sincère gratitude envers notre respectée encadrante, Madame FARDJAOUI Nor-El-Houda, pour son soutien inconditionnel, ses précieux conseils et sa patience tout au long de notre parcours de recherche. Sa profonde expertise, son dévouement et son engagement envers notre réussite académique ont été une source d'inspiration et de motivation sans faille.*

*Nous adressons également nos remerciements aux membres du jury, qui sont tous des professeurs éminents, pour leur temps, leur expertise et leur évaluation impartiale de notre mémoire. Leurs commentaires constructifs et leurs suggestions ont contribues grandement à l'amélioration de notre travail et renforce notre compréhension du sujet.*

*Enfin, nous voudrions exprimer notre reconnaissance envers l'ensemble des professeurs qui ont croisé notre chemin au cours de ces cinq années d'études universitaires. Leur enseignement passionné, leur encadrement bienveillant et leurs efforts inlassables ont façonné notre vision du monde et ont été la pierre angulaire de notre formation académique. Leur expertise, leur dévouement et leur engagement envers nos apprentissages resteront à jamais gravés dans notre mémoire.*

*À tous ceux qui ont contribué à notre formation, à ceux qui nous ont encouragées et soutenues, nous vous sommes profondément reconnaissantes. Que nos mots témoignent de notre gratitude sincère et de notre reconnaissance éternelle envers vous tous.*

*Qu'Allah guide nos pas dans la voie du savoir et de la sagesse, et qu'Il nous accorde la force de poursuivre notre chemin avec humilité, détermination et persévérance.*

♥Amin♥

## *Dédicace*

*﴿وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ﴾*

*Au nom d'Allah, le Tout-Miséricordieux, le Très-Miséricordieux,*

*En cette heure bénie où mon mémoire de fin d'études prend forme, je m'incline humblement devant le Très-Haut, Lui qui est source de toute grâce et de toute sagesse. Sa lumière divine a guidé ma plume et a illuminé chaque pas de ce parcours académique exceptionnel que je dédie avec une gratitude éternelle.*

*Cette recherche et mes efforts académiques sont humblement dédiés à ceux qui ont illuminé ma vie de leur amour et de leur tendresse, ouvrant les portes de la connaissance et devenant mon refuge tout au long de ce parcours.*

*﴿وَإِخْفِضْ لَهُمَا جَنَاحَ الذُّلِّ مِنَ الرَّحْمَةِ وَقُلْ رَبِّ ارْحَمْهُمَا كَمَا رَبَّيَانِي صَغِيرًا﴾*

*À mes parents vénérés, je suis honoré de vous exprimer ma profonde reconnaissance. Votre amour inconditionnel, votre soutien indéfectible et vos prières incessantes ont été les fondements sacrés sur lesquels j'ai érigé mes aspirations et ma réussite.*

*Que les bénédictions d'Allah enveloppent votre vie et que votre bonheur soit éternel.*

*﴿قَالَ سَتَشُدُّ عَضُدَكَ بِأَخِيكَ﴾*

*À mes frères bien-aimés, Hamza, Khaled et Ibrahim, et à mes sœurs chéries, Zohra, Meriem, Houda, Khawla et Bouthaina, vous êtes mes compagnons de cœur et les bijoux précieux de ma vie. Votre amour fraternel, vos encouragements constants et votre soutien inconditionnel ont illuminé ma voie dans les moments les plus sombres.*

*Que nos liens familiaux se renforcent à jamais et que notre union soit une source de bonheur et de réussite pour nous tous.*

*﴿إِلَى رِفَاقِ الْخُطْوَةِ الْأُولَى وَالْخُطْوَةِ مَا قَبْلَ الْأَخِيرَةِ، إِلَى مَنْ كَانُوا خِلَالَ السِّنِينَ الْعِجَافِ  
سَحَابًا مُمَطَّرًا  
أَنَا مُمْتَنَّةٌ﴾*

*mes compagnons les plus précieux, mes frères de cœur, Abderrahmen et Samir, qui ont enlacé mon cœur de leur fraternité inébranlable.*

*ainsi qu'à mes douces confidentes, Yousra et Chaïma, qui ont tissé des liens de sororité profonde.*

*Que notre amitié, telle une constellation d'étoiles scintillantes, illumine notre destinée et nous guide vers des horizons infinis.*

*À mes précieuses camarades Sara, Nesrine et Dhikra, qui ont partagé avec moi cette aventure incroyable, je dédie une pensée spéciale.*

*Que mes mots les plus sincères témoignent de ma profonde reconnaissance envers tous ceux qui ont contribué à ma réalisation personnelle et académique. Puissent-ils être enveloppés des plus nobles bénédictions divines, car ils méritent l'admiration et l'honneur les plus élevés.*

**♥Alima ♥**

## *Dédicace*

### *A mes chers parents :*

*Quoi que je dise ou que je fasse, je n'arrivai jamais à vous remercier comme il se doit. C'est grâce à vos encouragements, vos bienveillances et votre présence à mes côtés, que j'ai réussi ce respectueux parcours.*

*Je souhaite que vous soyez fière de moi, et que j'ai pu répondre aux espoirs que vous avez fondé en moi.*

### *A mes chers Sœurs et mon petit frère*

*Wafa, Manel et Islem, merci pour vos soutiens moraux, vos confiances et vos conseils précieux, qui m'ont aidé dans les moments difficiles.*

*Je vous souhaite le bonheur et la réussite dans vos vies.*

### *A toute ma famille et mes amis*

*À travers ses lignes je ne peux pas vous décrire tous mes sentiments d'amour, surtout ma Tante **Linda**, le seul mot que je peux dire est merci.*

*Mon binôme **Fethia** et aussi **Semeh, Imene**, vraiment merci beaucoup à toute personne qui a contribué à la réalisation de ce mémoire.*

### *A mon petit amour Jihad ♥*

### *A mon mari :*

*Qui dans les moments les plus sombres de la réalisation de ce travail, a toujours été à mes côtés, pour m'écouter, m'encourager, me soutenir, pour écarter les doutes et partager les joies. Je ne compte plus le nombre de fois où une simple discussion avec lui a relancé ma motivation pour continuer. Je lui exprime une gratitude toute particulière, merci beaucoup **Imad**.*

*♥**Khawla**♥*

# Sommaire

Introduction générale.....	02
----------------------------	----

## Partie I : Recherche bibliographique

### Chapitre I : Généralités sur les argiles

I.1 Introduction.....	04
I.2 Propriétés physiques et chimiques de l'argile.....	05
I.2.1 L'indice de gonflement.....	05
I.2.2 La granulométrie.....	05
I.2.3 La densité.....	05
I.2.4 La porosité.....	06
I.2.5 Les propriétés.....	06
I.2.6 Colloïdalité.....	06
I.3 Structures et types d'argiles.....	07
I.3.1 Kaolinite.....	08
I.3.2 Morphologie du kaolin DD3 de Djebel Debagh.....	08
I.3.3 bentonite.....	09
I.4 Utilisations de l'argile en tant que matériau de base.....	10

### Chapitre II: Pontage des argiles

II.1 Introduction .....	11
II.2 Argiles ponté .....	11
II.2.1 Pontage par réaction d'échange cationique.....	12
II.2.1.1 Les argiles organophiles.....	13
II.2.1.2 Les argiles pontées ou à pilier.....	14
II.2.2 Pontage par réaction de greffage.....	15
II.3 Argile pontée au titane.....	16
II.4 Le choix du TiO <sub>2</sub> .....	17
II.5 Applications du dioxyde de titane.....	17
II.6 Les facteurs influençant sur le pontage des argiles.....	18

## Partie II : Partie pratique

### Chapitre I : Analyses physico-chimique

<b>I.1 Introduction .....</b>	<b>21</b>
<b>I.2 Préparation de l'échantillon argileux.....</b>	<b>21</b>
<b>I.2.1 Source.....</b>	<b>21</b>
<b>I.2.2 Concassage, Séchage et broyage.....</b>	<b>22</b>
<b>I.3 Caractéristiques des différents types d'argiles utilisées.....</b>	<b>22</b>
<b>I.3.1 La bentonite.....</b>	<b>22</b>
<b>I.3.2 Les kaolins.....</b>	<b>23</b>
<b>I.3.3 Le kaolin DD .....</b>	<b>24</b>
<b>I.3.4 Le KT2 de Tamazert.....</b>	<b>25</b>
<b>I.4 Analyse physico-chimique du matériau.....</b>	<b>26</b>
<b>I.4.1 Détermination du pH.....</b>	<b>27</b>
<b>I.4.2 Mesure du pH.....</b>	<b>28</b>
<b>I.4.3 Taux d'humidité.....</b>	<b>29</b>
<b>I.4.4 Indice de gonflement.....</b>	<b>31</b>
<b>I.4.5 Colloïdalité.....</b>	<b>33</b>
<b>I.5 Analyse résultats.....</b>	<b>35</b>

### Chapitre II : Synthèse des argiles pontés

<b>II.1 introduction.....</b>	<b>37</b>
...	
<b>II.2 Préparation des échantillons argileux .....</b>	<b>37</b>
<b>II.2.1 Protocole de préparation d'argiles purifiées et caractérisées .....</b>	<b>37</b>
<b>II.2.1.1 Introduction .....</b>	<b>37</b>
<b>II.2.1.2 Matériaux .....</b>	<b>38</b>
<b>II.2.1.3 Protocole.....</b>	<b>39</b>
<b>II.2.2 Protocole de préparation d'argiles pontées.....</b>	<b>41</b>
<b>II.2.2.1 Introduction .....</b>	<b>41</b>
<b>II.2.2.2 Matériaux .....</b>	<b>41</b>
<b>II.2.2.3 Protocole .....</b>	<b>41</b>
<b>II.3 Conclusion .....</b>	<b>47</b>
<b>Conclusion Générale.....</b>	<b>49</b>
<b>Références Bibliographiques.....</b>	<b>50</b>

## Liste des figures

<b><u>Figure 1: Notion de feuillet, inter feuillet (structure) et de distance réticulaire d pour un Minéral de type 1:1 (groupe de kaolinite <math>\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4</math>).....</u></b>	<b><u>5</u></b>
<b><u>Figure 2: Représenter Les principales propriétés des matériaux inorganiques.....</u></b>	<b><u>6</u></b>
<b><u>Figure 3: Structure d'une argile .....</u></b>	<b><u>7</u></b>
<b><u>Figure 4: Représentation schématique de la structure de kaolin .....</u></b>	<b><u>8</u></b>
<b><u>Figure 5: Morphologie d'une kaolinite très bien cristallisée et (b) représentation d'une plaquette de kaolinite. ....</u></b>	<b><u>9</u></b>
<b><u>Figure 6: Représentation schématique de l'empilement des feuillets unitaire dans une argile (cas de bentonite). ....</u></b>	<b><u>9</u></b>
<b><u>Figure 7: Morphologie d'une bentonite très bien cristallisée et (b) représentation d'une plaquette de bentonite. ....</u></b>	<b><u>10</u></b>
<b><u>Figure 8 : Protocole de Pontage d'argile .....</u></b>	<b><u>12</u></b>
<b><u>Figure 9: Conformations probables des ions alkylammonium à la surface des feuillets selon Lagaly .....</u></b>	<b><u>14</u></b>
<b><u>Figure 10:: Représentation schématique des étapes mises en jeu dans la technique de pontage des argiles, <math>d_1 &lt; d_3 &lt; d_2</math> .....</u></b>	<b><u>16</u></b>
<b><u>Figure 11: Situation géographique des gisements d'argiles en Algérie .....</u></b>	<b><u>21</u></b>
<b><u>Figure 12: L'argile bentonite .....</u></b>	<b><u>23</u></b>
<b><u>Figure 13: Les résultats d'analyse de DRX des argiles bentonite non activée.....</u></b>	<b><u>23</u></b>
<b><u>Figure 14: L'argile kaolin DD .....</u></b>	<b><u>24</u></b>
<b><u>Figure 15 : Les résultats d'analyse de DRX de argile Kaolin DD 3 non activée.....</u></b>	<b><u>25</u></b>
<b><u>Figure 16 : MEB du kaolin DD3 de Djebel Debbag. ....</u></b>	<b><u>25</u></b>
<b><u>Figure 17 : L'argile KT2 de Tamazert. ....</u></b>	<b><u>25</u></b>
<b><u>Figure 18 : Les résultats d'analyse de DRX de l'argile KT2 de Tamazert non activée. .</u></b>	<b><u>26</u></b>
<b><u>Figure 19 :Préparation des suspensions d'argile (bentonite, DD3, KT2). ....</u></b>	<b><u>28</u></b>
<b><u>Figure 20: Mesures du pH. ....</u></b>	<b><u>28</u></b>
<b><u>Figure 21: Mesure de la masse de l'échantillon d'argile (bentonite, DD3, KT2),.....</u></b>	<b><u>29</u></b>
<b><u>Figure 22: Étape de séchage à 110°C pour obtenir une masse constante de l'échantillon d'argile.....</u></b>	<b><u>30</u></b>
<b><u>Figure 23: Étape de pesée et de transfert des trois échantillons d'argile dans les éprouvettes graduées.....</u></b>	<b><u>31</u></b>
<b><u>Figure 24: Observation de la dispersion de l'argile dans l'eau distillée après 45 minutes de repos.....</u></b>	<b><u>32</u></b>
<b><u>Figure 25: Ajout d'argile supplémentaire et période de repos pour la sédimentation. ..</u></b>	<b><u>32</u></b>
<b><u>Figure 26: Préparation de la suspension d'argile avec ajout de MgO pour la défloculation.....</u></b>	<b><u>34</u></b>
<b><u>Figure 27: Agitation du mélange argile-eau-MgO pendant 5 minutes à l'aide d'un agitateur. ....</u></b>	<b><u>34</u></b>
<b><u>Figure 28: Étape de repos de 24 heures : stabilisation du mélange argile-eau après agitation.....</u></b>	<b><u>34</u></b>
<b><u>Figure 29: Solution tampon d'acide acétique et l'acétate de sodium. ....</u></b>	<b><u>38</u></b>

<b><u>Figure 30: Une quantité de 20g d'argile.....</u></b>	<b><u>38</u></b>
<b><u>Figure 31: Traitement par solution de HCl. ....</u></b>	<b><u>39</u></b>
<b><u>Figure 32: Traitement par l'eau oxygénée.....</u></b>	<b><u>39</u></b>
<b><u>Figure 33: L'argile traitée dans la solution de NaCl.....</u></b>	<b><u>40</u></b>
<b><u>Figure 34: Les Argiles traitée.....</u></b>	<b><u>40</u></b>
<b><u>Figure 35: Préparation de la solution de pontage (HCl,TiO<sub>2</sub>). ....</u></b>	<b><u>42</u></b>
<b><u>Figure 36: La solution de pontage. ....</u></b>	<b><u>42</u></b>
<b><u>Figure 37: La dispersion des argile dans l'eau distillée.....</u></b>	<b><u>43</u></b>
<b><u>Figure 38: Titrage de l'argile par TiO<sub>2</sub>. ....</u></b>	<b><u>44</u></b>
<b><u>Figure 39: Solution TiO<sub>2</sub> avec l'argile sous agitation pendant 12 heures à 25 °C.....</u></b>	<b><u>44</u></b>
<b><u>Figure 40: Solution TiO<sub>2</sub> avec l'argile.....</u></b>	<b><u>45</u></b>
<b><u>Figure 41:Récupération la suspension en utilisant une centrifugeuse. ....</u></b>	<b><u>45</u></b>
<b><u>Figure 42:Les Argiles modifiée par TiO<sub>2</sub> traitée.....</u></b>	<b><u>45</u></b>
<b><u>Figure 43: Calcinations des matériaux.....</u></b>	<b><u>46</u></b>

### Liste de Tableau

<b><u>Tableau .1. Paramètres physico-chimiques de l'échantillon argileux.....</u></b>	<b><u>35</u></b>
---	------------------

## Résumé

Notre mémoire, intitulé "Synthèse des matériaux inorganiques fonctionnalisés", est structuré en deux parties distinctes, chacune composée de deux chapitres. La première partie consiste en une recherche bibliographique approfondie axée sur les argiles. Le premier chapitre offre une perspective générale sur les argiles en mettant en évidence leurs caractéristiques fondamentales et leur importance dans divers domaines d'application. Le deuxième chapitre se concentre spécifiquement sur le pontage des argiles, une approche de fonctionnalisation qui consiste à insérer des espèces chimiques inorganiques entre les feuillets des argiles.

La deuxième partie du mémoire est dédiée à la mise en pratique de la recherche. Le premier chapitre de cette partie se concentre sur l'analyse physico-chimique approfondie des argiles, permettant ainsi de caractériser de manière précise leur composition et leurs propriétés clés. Des méthodes d'analyse appropriées ont été utilisées pour évaluer les paramètres essentiels des argiles étudiées. Le deuxième chapitre aborde la synthèse des argiles pontées, qui implique des traitements physiques et chimiques spécifiques appliqués aux argiles, suivis de leur modification par le dioxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ) synthétisés par procédé Sol-gel.

L'objectif principal de cette étude est de valoriser une argile abondante en exploitant le potentiel du pontage. Cette approche suscite un intérêt considérable dans la communauté scientifique.

Nos recherches apportent une contribution significative à la compréhension approfondie des argiles en termes de composants inorganiques, et explorent de manière novatrice leur valorisation par pontage. Les résultats obtenus à travers la synthèse des argiles pontées ouvrent des perspectives prometteuses pour leur utilisation dans une gamme variée d'applications techniques. Ces avancées peuvent potentiellement influencer le développement de nouvelles technologies et pratiques dans divers secteurs industriels.

## الملخص:

تحمل مذكرتنا عنوان "توليف المواد غير العضوية الوظيفية"، وتنقسم إلى جزئين متميزين، يتألف كل منهما من فصلين. الجزء الأول وهو الجزء النظري و الذي يشتمل على استعراض لنتائج البحث المكتبي بالتركيز على الطين. يقدم فصله الأول نظرة عامة حول الطين مع تسليط الضوء على خصائصه الأساسية وأهميته في مجالات التطبيق المختلفة. كما يركز الفصل الثاني بشكل خاص على عملية ربط الطين، وهي استراتيجية تعتمد على إدراج مركبات غير عضوية بين طبقات الطين لتعزيز خواصه.

الجزء الثاني من الأطروحة مكرس للشق التطبيقي الذي بدوره يتضمن فصلين. يتناول الفصل الأول من هذا الجزء التحليل الفيزيوكيميائي المعمق للطين، مما يتيح التعرف على تراكيبه وخصائصه الرئيسية بدقة. يناقش الفصل الثاني عملية توليف الطين، والتي تشمل المعاملات الفيزيائية والكيميائية الخاصة المطبقة على الطين، تليها عملية تعديله باستخدام أكسيد وثاني أكسيد التيتانيوم ( $TiO_2$ ) المصنوعين بواسطة طريقة الهلام- المحلول.

تثير هذه الاستراتيجية اهتمامًا كبيرًا في المجتمع العلمي. فالهدف الرئيسي لهذه الدراسة هو استثمار إمكانات الربط للطين. فبالتالي فإن أبحاثنا تسهم في إثراء الفهم العميق للطين من حيث المكونات غير العضوية واستكشاف إمكانات الاستفادة منه.

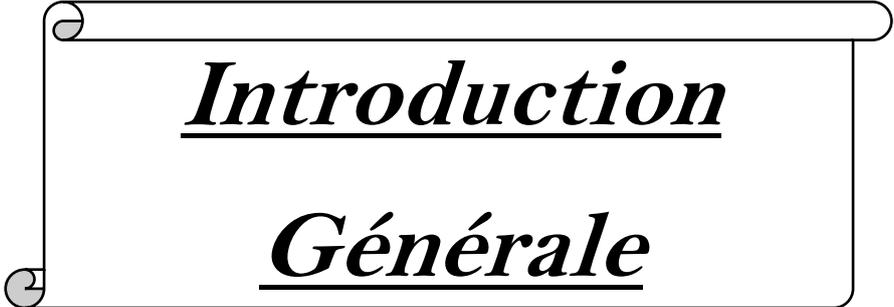
وكما كان متوقع فإن النتائج المستمدة من التحليل الفيزيوكيميائي المعمق وتوليف الطين المرتبط فتحت آفاقًا واعدة لاستخدامه في مجموعة متنوعة من التطبيقات التقنية. يمكن أن تؤثر هذه التطورات بشكل كبير على تطور التكنولوجيا والممارسات الجديدة في مختلف القطاعات الصناعية.

## Summary

Our thesis entitled "Synthesis of Functionalized Inorganic Materials," is structured into two distinct parts, each consisting of two chapters. The first part comprises an extensive literature review focused on clays. The first chapter provides a general overview of clays, highlighting their fundamental characteristics and their significance in various fields of application. The second chapter specifically focuses on clay bridging, a functionalization approach that involves inserting inorganic chemical species between the clay layers.

The second part of the thesis is dedicated to putting the research into practice. The first chapter of this part concentrates on a thorough physicochemical analysis of clays, enabling the precise characterization of their composition and key properties. Appropriate analytical methods were employed to evaluate the essential parameters of the studied clays. The second chapter addresses the synthesis of bridged clays, involving specific physical and chemical treatments applied to the clays, followed by their modification with titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) synthesized through the Sol-gel process.

The main objective of this study is to exploit the potential of bridging to enhance the value of abundant clay. This approach has garnered considerable interest within the scientific community. Our research makes a significant contribution to the in-depth understanding of clays in terms of inorganic components and innovatively explores their valorization through bridging. The results obtained from the synthesis of bridged clays open promising perspectives for their use in a diverse range of technical applications. These advancements can potentially influence the development of new technologies and practices in various industrial sectors.

A decorative scroll frame with a white background and a black border. The top edge is curved, and the left side has two small circular handles. The text is centered within the frame.

**Introduction**

**Générale**

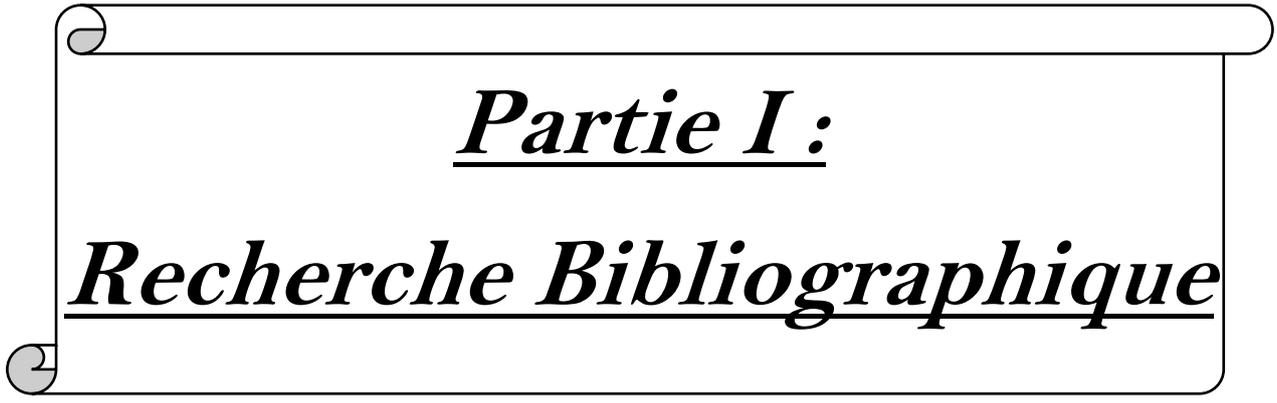
### **Introduction générale**

L'argile est un matériau inorganique largement utilisé dans diverses applications industrielles et environnementales en raison de ses propriétés physiques et chimiques uniques. Cependant, ses propriétés peuvent être améliorées en fonctionnalisant les argiles avec des composés organiques pour créer des matériaux inorganiques fonctionnalisés qui peuvent être utilisés dans de nombreux domaines, tels que la catalyse, la purification de l'eau, l'adsorption de gaz, la séparation des molécules et la médecine [1].

Les chercheurs s'intéressent de plus en plus aux propriétés des matériaux fonctionnalisés La synthèse de matériaux inorganiques fonctionnalisés à base d'argile est donc devenue un domaine de recherche important et en constante évolution. et à leur application dans divers domaines. Cependant, malgré les progrès récents, il reste encore beaucoup à découvrir et à comprendre sur la fonctionnalisation des argiles [2].

Dans ce contexte, cette recherche vise à synthétiser et caractériser des matériaux inorganiques fonctionnalisés à base d'argile en utilisant la méthode de pontage avec des composés organiques. Les propriétés physiques et chimiques des matériaux fonctionnalisés seront étudiées et comparées à celles des argiles non fonctionnalisées. L'objectif principal est de comprendre comment la fonctionnalisation affecte les propriétés des matériaux et de déterminer comment ils peuvent être utilisés dans diverses applications [3].

En résumé, cette recherche contribuera à l'élargissement de la connaissance sur la synthèse de matériaux inorganiques fonctionnalisés à base d'argile, ce qui pourrait conduire à des développements significatifs dans divers domaines de recherche et d'application [4,5].



*Partie I :*  
*Recherche Bibliographique*

## Chapitre I : Généralités sur les argiles

### I.1 Introduction :

L'argile est un matériau naturel composé de minéraux argileux, tels que la montmorillonite, la kaolinite et bentonite. Les argiles sont largement utilisées dans les domaines industriels et environnementaux en raison de leurs propriétés uniques telles que leur capacité d'adsorption et leur capacité de rétention d'eau [6]. Les propriétés physiques et chimiques des argiles dépendent de la nature des minéraux argileux et des conditions environnementales [7].

Les argiles sont des minéraux argileux lamellaires qui sont constitués de couches de tétraèdres de silice et d'alumine empilées les unes sur les autres. Les couches sont maintenues ensemble par des liaisons de van der Waals [8]. La surface des argiles est chargée négativement en raison de la présence d'ions aluminium, ce qui les rend sensibles à la présence d'ions positifs et les rend capables d'adsorber des molécules organiques et inorganiques [9].

La montmorillonite est l'un des minéraux argileux les plus couramment utilisés dans les applications industrielles et environnementales. Elle est constituée de couches de silice et d'alumine avec une couche de tétraèdres de silice entre chaque couche. La montmorillonite est capable d'adsorber de grandes quantités d'eau et de diverses molécules organiques et inorganiques en raison de sa structure lamellaire et de sa surface chargée négativement [10,11].

La kaolinite est un autre minéral argileux couramment utilisé dans les applications industrielles, notamment dans la production de papier, la céramique et les cosmétiques. Elle est constituée de couches de silice et d'alumine empilées les unes sur les autres sans couche intermédiaire de tétraèdres de silice [12]. La kaolinite a une faible capacité d'adsorption en raison de sa structure en couches et de sa surface faiblement chargée négativement [13].

En résumé, les argiles sont des minéraux argileux lamellaires qui sont largement utilisés dans les applications industrielles et environnementales. Les propriétés physiques et chimiques des argiles dépendent de la nature des minéraux argileux et des conditions environnementales [14]. La montmorillonite, la kaolinite et l'illite sont les minéraux argileux les plus couramment utilisés dans les applications industrielles et environnementales [15].

## I.2 Propriétés physiques et chimiques de l'argile :

L'argile possède plusieurs propriétés physiques et chimiques qui déterminent son comportement et sa réactivité. Les propriétés physiques de l'argile comprennent son indice de gonflement, sa granulométrie, sa densité et sa porosité [16].

### I.2.1 L'indice de gonflement :

L'indice de gonflement de l'argile est une mesure de sa capacité à absorber de l'eau et à gonfler [17]. Cette propriété dépend de la quantité d'ions présents dans les couches de silice et d'alumine et de la présence de minéraux gonflants tels que la montmorillonite. Les argiles à fort indice de gonflement sont capables de gonfler considérablement en présence d'eau, tandis que les argiles à faible indice de gonflement ont une capacité d'absorption d'eau limitée [18].

### I.2.2 La granulométrie :

La granulométrie de l'argile est une mesure de la taille des particules. Les particules d'argile sont généralement très fines, avec une taille de particules inférieure à 2 microns [19].

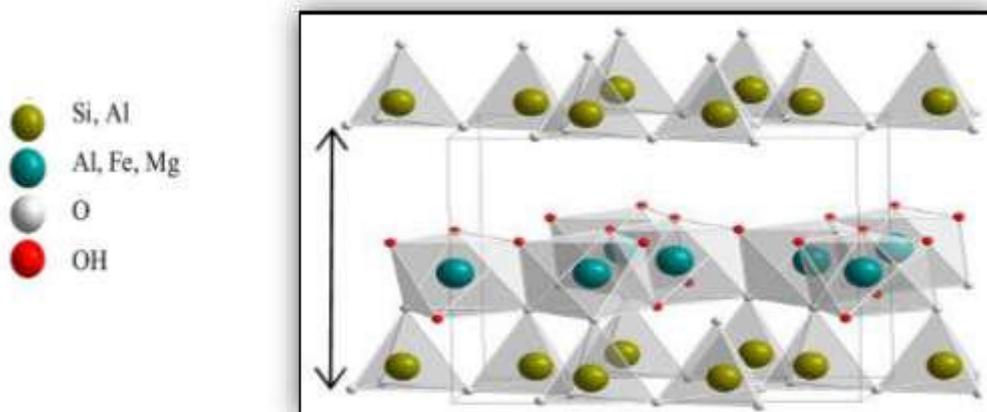


Figure 1: Notion de feuillet, inter feuillet (structure) et de distance réticulaire  $d$  pour un

Minéral de type 1:1 (groupe de kaolinite  $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ).

### I.2.3 La densité :

La **densité** de l'argile dépend de la composition des minéraux argileux et de la présence des minéraux accessoires. En général, la densité de l'argile est comprise entre 2,5 et 2,7 g/cm<sup>3</sup> [5].

### I.2.4 La porosité :

La **porosité** de l'argile mesure la quantité d'espace vide entre les particules d'argile. Cette propriété dépend de la taille des particules et de la présence de minéraux accessoires. Les argiles à structure lamellaire ont une porosité élevée en raison de leur structure en couches [20].

### I.2.5 Les propriétés :

Les **propriétés** chimiques de l'argile comprennent son pH, sa charge électrique et sa capacité d'échange ionique. Le pH de l'argile dépend de la composition des minéraux argileux et de la présence d'autres minéraux. Les argiles peuvent être acides, neutres ou basiques. La charge électrique de l'argile dépend de la présence d'ions dans les couches de silice et d'alumine. Les argiles ont une surface chargée négativement qui les rend capables d'adsorber des ions positifs. La capacité d'échange ionique de l'argile dépend de la présence d'ions échangeables dans les couches de silice et d'alumine. Les argiles peuvent échanger des cations, tels que les ions sodium et potassium, avec les ions présents dans l'eau environnante [14].

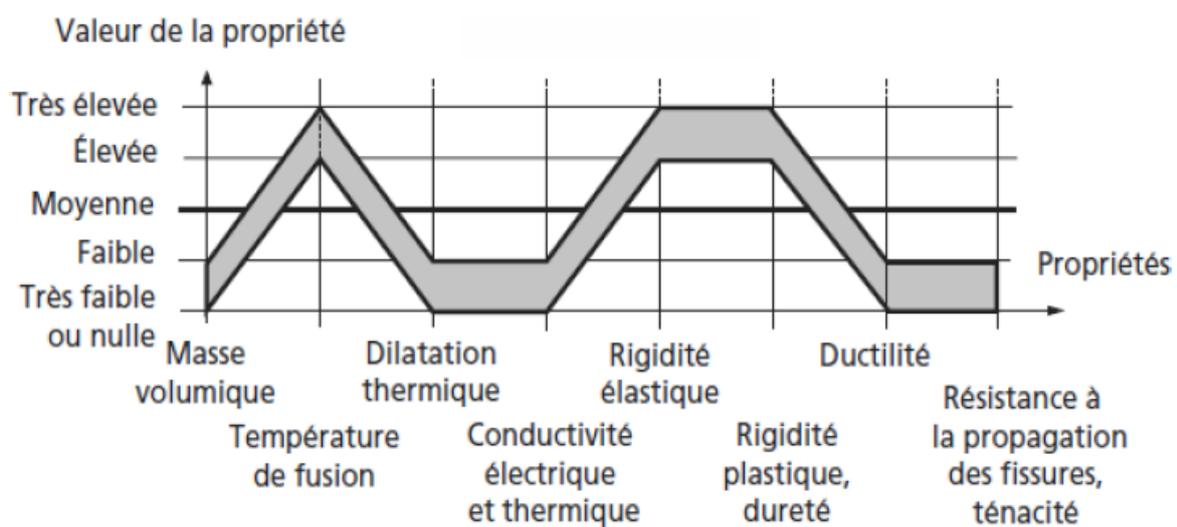


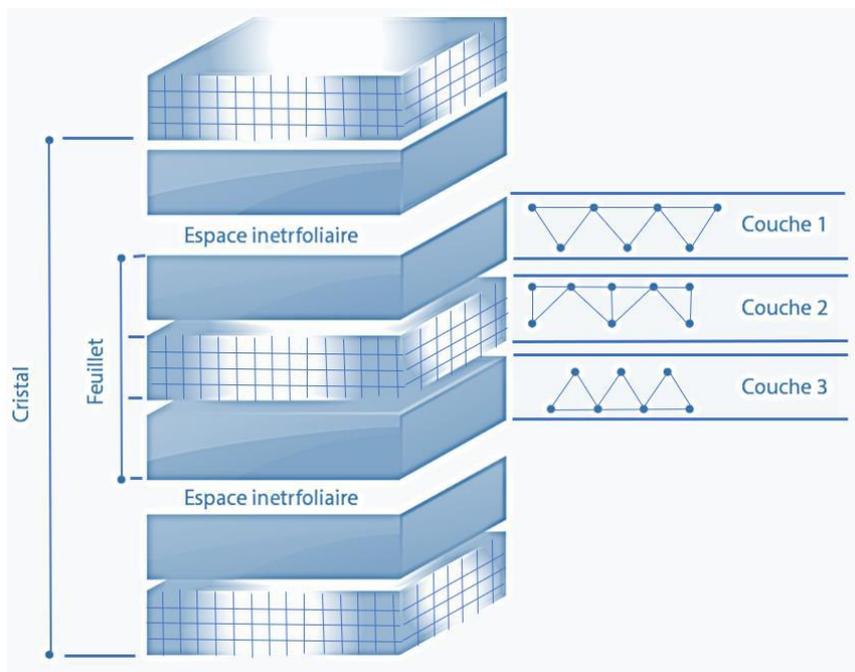
Figure 2 : Les principales propriétés des matériaux inorganiques.

### I.2.6 Colloïdalité :

Le terme colloïdal désigne des substances assez divisées pour que les particules ne soient visibles qu'au microscope électronique. Cette propriété est d'une grande importance pour les procédés de purification des argiles. Elle est liée à la présence de charges négatives à la surface de chaque grain d'argile. Le caractère colloïdal se traduit par le recouvrement de chaque grain d'argile par une double couche d'ions hydrosoluble de charges opposées [21].

**En résumé** l'argile possède plusieurs propriétés physiques et chimiques qui déterminent son comportement et sa réactivité. Les propriétés physiques de l'argile comprennent son indice de gonflement, sa granulométrie, sa densité et sa porosité.

### I.3.1 Structures et types d'argiles :



**Figure 3: Structure d'une argile.**

Les argiles sont des minéraux silicatés en couches, qui sont généralement constitués d'un empilement de feuilles de silice et d'alumine, avec des couches intercalées d'eau et d'autres cations tels que le sodium, le calcium ou le magnésium. La structure de l'argile est responsable de ses propriétés physiques et chimiques uniques, notamment sa surface

spécifique élevée, sa capacité d'échange cationique et son aptitude à former des complexes avec d'autres ions et molécules[22].

Il existe différents types d'argiles en fonction de leur composition et de leur structure, tels que les kaolinites, les bentonites.

### I.3.2 Kaolinite :

L'argile de kaolin, également connue sous le nom de kaolinite, est une argile blanche, douce et plastique, composée principalement de silicates d'aluminium. Elle est souvent utilisée dans la fabrication de papier, de céramiques et de produits pharmaceutiques [23].

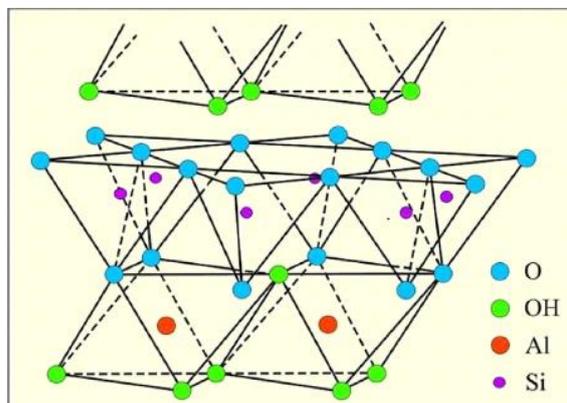


Figure 4: Représentation schématique de la structure de kaolin

### I.3.3 Morphologie du kaolin DD3 de Djebel Debagh :

En général, les cristaux ont une morphologie régulière et adoptent fréquemment une forme de plaquette hexagonale, bien qu'ils puissent également prendre des formes allongées ou réduites en losanges. Les faces basales (001) et les faces latérales (110), (110) et (020) délimitent ces formes cristallines[24,13].

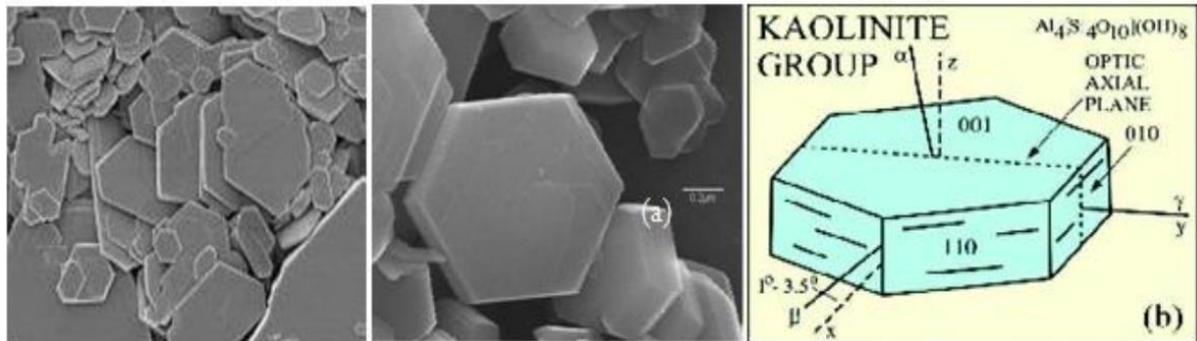


Figure 5: Morphologie d'une kaolinite très bien cristallisée et (b) représentation d'une plaquette de kaolinite.

#### I.4 Bentonite :

Les bentonites sont des argiles qui possèdent une grande capacité d'échange cationique, ce qui signifie qu'elles peuvent facilement échanger des ions avec leur environnement. Elles sont également connues pour leur aptitude à être expansées et intercalées avec des molécules organiques, ce qui les rend très utiles dans la synthèse de matériaux inorganiques fonctionnalisés[25].

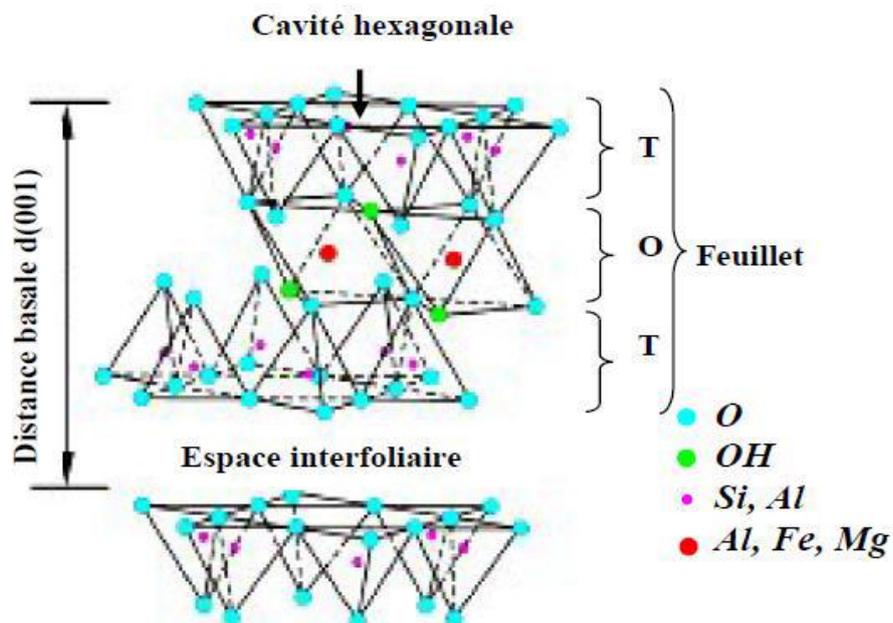
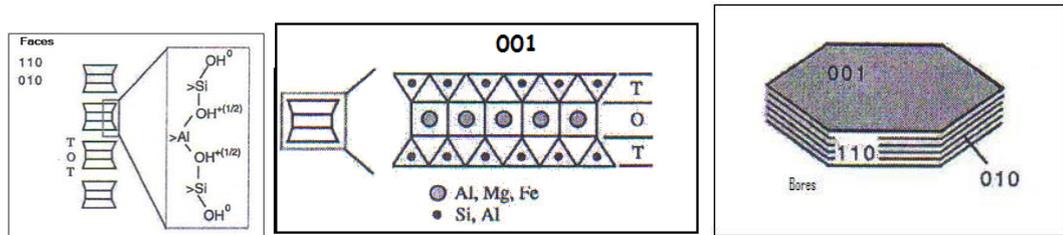


Figure 6: Représentation schématique de l'empilement des feuillets unitaire dans une argile (cas de bentonite).



**Figure 7: Morphologie d'une bentonite très bien cristallisée et (b) représentation d'une plaquette de bentonite.**

Les bentonites sont les argiles les plus utilisées dans la synthèse de matériaux inorganiques fonctionnalisés en raison de leur grande capacité d'échange cationique et de leur aptitude à être expansées et intercalées avec des molécules organiques [6].

**En résumé** chacun des types d'argiles possède des propriétés et des utilisations uniques en fonction de leur composition et de leur structure. Les smectites sont particulièrement avantageuses pour la production de matériaux inorganiques fonctionnalisés, grâce à leur capacité élevée d'échange cationique et leur capacité à être facilement expansées et intercalées avec des molécules organiques [22].

### **I.5 Utilisations de l'argile en tant que matériau de base pour la synthèse de matériaux inorganiques fonctionnalisés :**

L'argile est largement utilisée comme matériau de base dans la synthèse de matériaux inorganiques fonctionnalisés en raison de sa surface spécifique élevée et de sa capacité à interagir avec d'autres ions et molécules. Les argiles fonctionnalisées sont utilisées dans de nombreux domaines tels que la catalyse, la séparation, la purification, la rétention de gaz, l'électrochimie, la chimie des matériaux et la médecine [26].

L'un des domaines les plus importants pour l'utilisation des argiles fonctionnalisées est la catalyse, où elles sont utilisées comme catalyseurs hétérogènes pour des réactions telles que l'hydrogénation, la déshydrogénation, la cyclisation et l'oxydation. Les argiles fonctionnalisées sont également utilisées dans des applications de purification, telles que l'élimination des métaux lourds, des composés organiques volatils et des colorants de l'eau [2].

## Chapitre II : Pontage (Fonctionnalisation) des argiles.

### II.1 Introduction :

Le pontage (ou fonctionnalisation) des argiles occupe une place prépondérante dans la synthèse de matériaux inorganiques fonctionnalisés. En modifiant la structure et les propriétés des argiles, le pontage permet d'obtenir des matériaux avec des caractéristiques spécifiques, ouvrant ainsi la voie à de nombreuses applications dans divers domaines tels que la catalyse, l'adsorption, la libération contrôlée de médicaments, les matériaux composites, et le traitement des eaux, entre autres.

Le présent chapitre se consacre à l'étude approfondie du pontage des argiles, en mettant l'accent sur son importance et son rôle dans l'amélioration des propriétés des argiles fonctionnalisées. Nous explorerons les différentes méthodes de pontage utilisées, les agents de pontage employés, ainsi que les techniques de caractérisation couramment utilisées pour évaluer les argiles fonctionnalisées.

L'objectif principal de ce chapitre est de fournir une compréhension claire du processus de pontage des argiles, de ses implications et de ses conséquences sur les propriétés physiques et chimiques des matériaux obtenus. En examinant les méthodes de pontage, nous pourrions identifier leurs avantages respectifs et leurs limites, permettant ainsi de sélectionner la méthode la plus appropriée en fonction des besoins spécifiques de chaque application.

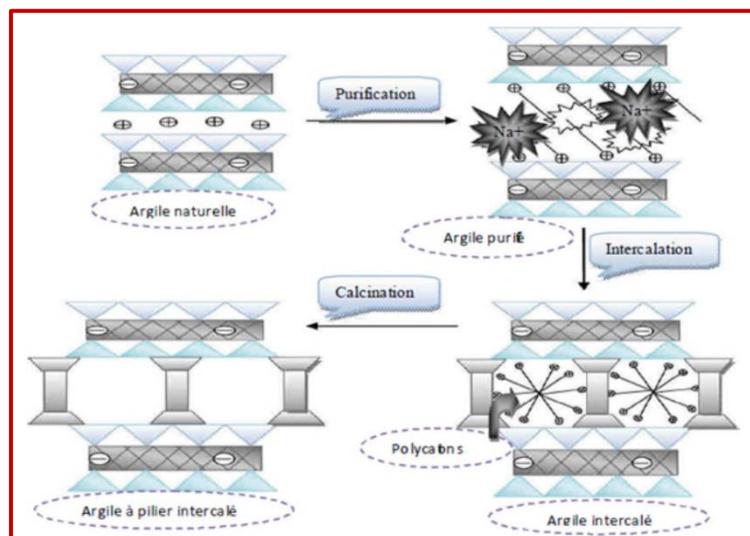
En somme, ce chapitre offre une exploration approfondie du pontage des argiles, fournissant ainsi une base solide pour la compréhension des aspects fondamentaux et des applications pratiques de ce processus essentiel dans la synthèse de matériaux inorganiques fonctionnalisés.

### II.2 Argiles pontées :

Le pontage des argiles réside dans l'intercalation entre leurs feuillets de gros polycations métalliques simples ou mixtes, par échange cationique des ions compensateurs dans le but d'obtenir des matériaux microporeux, à structure rigide, thermiquement stable avec un grand espacement interfoliaire et dotés de propriétés acido-basique et redox particulièrement dépendant du type et des conditions du pontage. Cette nouvelle classe de tamis moléculaire bidimensionnels a suscité l'intérêt des chercheurs au cours de ces vingt dernières années. Elle

a fait l'objet de plusieurs publications et brevets. Elle a trouvé des applications dans la séparation, l'adsorption et notamment la catalyse hétérogène.

Actuellement, il est connu que la nature du sel précurseur est primordiale dans le pontage, et les intercalaires sont obtenus généralement par hydrolyse d'un sel métallique par une base forte (ou un acide fort) selon la nature et la concentration du métal choisi ainsi que de sa méthode de synthèse. Après calcination, les polycations intercalés, en se transformant en piliers sous forme de grappes d'oxydes métalliques rigides et résistants, confèrent à ces solides une stabilité thermique élevée, une surface microporeuse développée et une grande acidité. Ce solide ressemble à une zéolithe car il possède une porosité bien définie qui peut engendrer une sélectivité de forme, mais toutefois d'après certains travaux, la taille des pores pour ces argiles intercalés est plus grande que celle des zéolithes conventionnelles. Les potentialités d'utilisation des minéraux argileux à l'état naturel sont en dessous des possibilités offertes par leurs diverses propriétés. Les minéraux argileux peuvent acquérir des fonctionnalités intéressantes via la modification chimique de leurs structures. [27]



**Figure 8 : Protocole de Pontage d'argile**

### II.2.1 Pontage par réaction d'échange cationique :

En raison de leur état d'hydratation et de leur faible liaison aux feuillets, les cations interfoliaires dans les argiles peuvent être facilement échangés contre des espèces cationiques

organiques ou inorganiques permettant l'obtention de différents matériaux hybrides organoinorganiques.

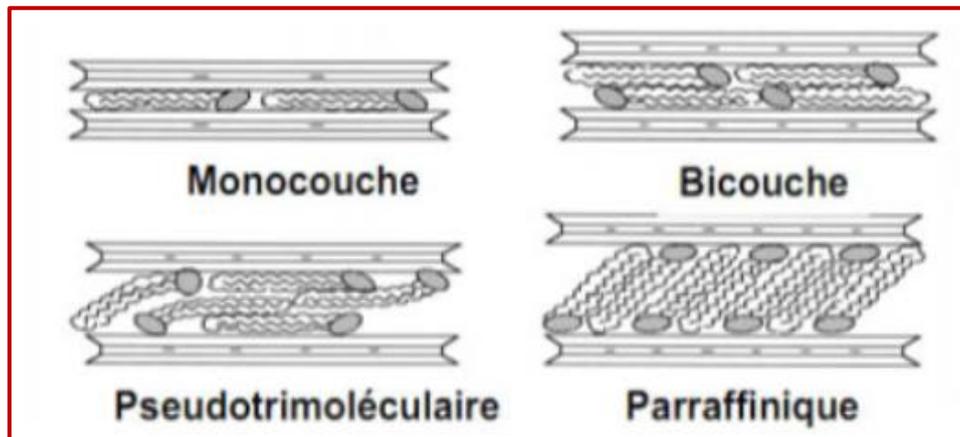
Cette méthode de pontage sur la surface de l'argile par échange cationique consiste à remplacer les cations compensateurs (généralement des  $\text{Na}^+$ ) situés entre les feuillets de l'argile par des cations organiques porteurs d'un ou de plusieurs chaînes alkyles hydrophobes afin d'augmenter la distance interfoliaire et ainsi initier l'exfoliation. C'est à base de ces aluminosilicates organiquement modifiés que les nanocomposites sont habituellement élaborés.

Les cations les plus couramment utilisés sont les ions alkylammonium qui, par leur insertion entre les feuillets, confèrent à l'argile un caractère organophile. Les ions alkylphosphonium remplissent également la même fonction, mais ils sont peu utilisés. L'échange s'effectue dans un milieu aqueux pour aider davantage, grâce au gonflement des feuillets de silicates, l'insertion des ions alkylammonium. [27]

### II.2.1.1: Les argiles organophiles :

Les minéraux argileux de nature hydrophile peuvent être rendus organophiles en échangeant leurs cations interfoliaires avec des surfactants cationiques tels que des ammoniums, des phosphoniums. Cette modification permet l'obtention de matériau susceptible d'être utilisé dans différentes applications telles que, parmi d'autres, l'adsorption des polluants organiques et le développement des nanocomposites polymères. Les sels d'alkylammoniums sont les plus utilisés pour la préparation des argiles organophiles. Dans ce contexte, les travaux pionniers de Lagaly ont démontré qu'en fonction de la charge, de la géométrie de surface et de la capacité d'échange cationique du feuillet du minéral argileux ainsi que de la longueur de la chaîne carbonée du surfactant cationique, l'intercalation des cations organiques peut être sous forme de monocouche, bicouche ou pseudotrimoléculaire accompagnée d'expansion de la distance basale, mise en évidence par la diffraction des rayons X ou de neutrons, du minéral argileux de **13.6 Å**, **17.6 Å** et **22 Å** respectivement ou sous forme paraffinique dont la distance basale est fonction du nombre de carbone composant le surfactant cationique . D'ailleurs, la transition entre les états de monocouche et bicouche peut être mise à profit pour déterminer la distribution de charges des feuillets de l'argile ainsi que leurs charges moyennes. Néanmoins, en raison de l'hétérogénéité de distribution des charges des feuillets de l'argile, des caractérisations plus localisées et approfondies par MET ont montré que

l'expansion de certains feuillets de l'argile intercalés par des ions alkylammoniums peut atteindre des valeurs de 39 Å, 72Å.



**Figure 9 : Conformations probables des ions alkylammonium à la surface des feuillets**

Bien que les minéraux fibreux, en l'occurrence la palygorskite, présentent des capacités d'échange cationiques plus faibles que celles des smectites, leur traitement avec des sels d'alkylammoniums produit également des matériaux organophiles. Comme dans le cas des smectites, additionnelles quantités de paires d'ions de surfactant (cation + contre ion) peuvent être adsorbées sur les surfaces du minéral fibreux en engendrant un environnement organophile propice à la dispersion des matériaux de faible polarité. [27]

### II.2.1.2 : Les argiles pontées ou à piliers :

Les argiles à piliers d'oxydes métalliques (traduit du terme en anglais Pillared Interlayered Clays (P.I.L.C)) peuvent être obtenus par le procédé dit de pontage (pillaring en anglais). Ce procédé consiste à échanger en première étape les cations interfoliaires du minéral argileux avec des polycations de métal issu au préalable de l'hydrolyse de l'élément métallique et à calciner par la suite (étape 2) à température élevée (300 – 500 °C) pour transformer les polycations en piliers d'oxydes métallique. La distance basale inter lamellaire  $d_{001}$  de la smectite intercalée par des espèces de polycations métalliques ( $d_2$ ) augmente par rapport à celle caractéristique du minéral argileux de départ ( $d_1$ ). Cette distance connaît une légère diminution dans le matériau final d'argile à piliers d'oxydes métalliques ( $d_3$ ) suite à la déhydroxylation et la déshydratation mises en jeu au cours de la calcination. Le pontage

confère au minéral argileux une stabilité thermique accrue et l'ouverture de ses espaces interfoliaires engendrant par conséquent une augmentation de sa surface spécifique et de son volume microporeux.

Le développement de ce nouveau type de matériaux permet de plus de doter les minéraux argileux de nouvelles fonctionnalités susceptibles d'ouvrir des voies d'applications innovantes, originales et intéressantes.

A cet égard, plusieurs travaux ont montré la possibilité d'introduire des piliers d'oxyde de Ti au sein des espaces interfoliaires de montmorillonite engendrant le plus grand espacement stable observé ( $\approx 28 \text{ \AA}$  à  $700 \text{ }^\circ\text{C}$ ) et d'utiliser le matériau dérivé dans le domaine de la photocatalyse. [27]

### II.2.2 Pontage par réaction de greffage :

Cette méthode est plus utilisée dans la fonctionnalisation des minéraux argileux fibreux, en l'occurrence la palygorskite, en raison de la proportion importante des groupes silanols (SiOH) de bords qu'ils contiennent engendrées par la discontinuité de leurs couches silicatées. Ces groupes silanols, localisés sur les surfaces externes et sur les bords des canaux structuraux du minéral fibreux, peuvent réagir avec des agents de couplage à base de silane ( $\equiv\text{Si-X}$  avec X = OR, Cl) en engendrant des ponts siloxanes stables. [27]



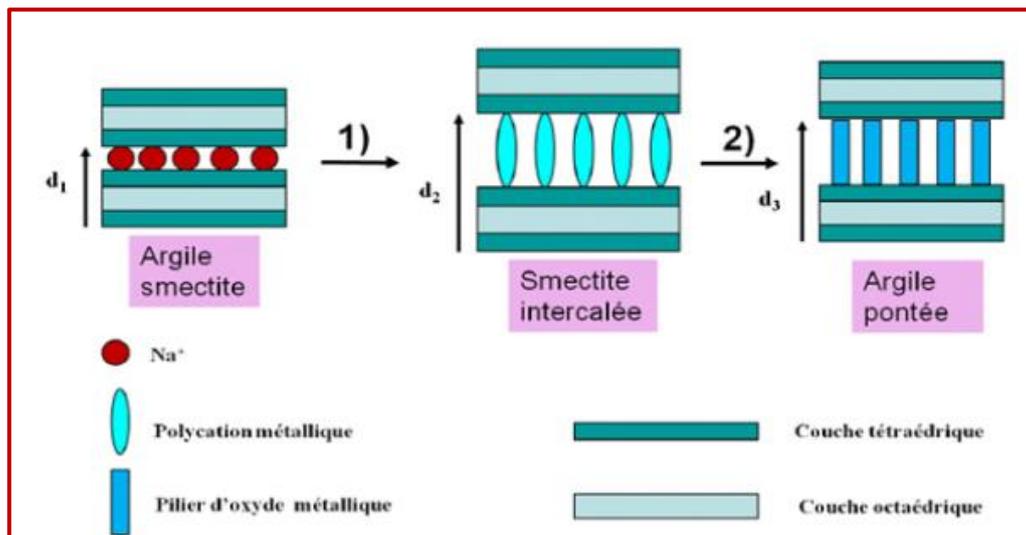


Figure 10 : Représentation schématique des étapes mises en jeu dans la technique de pontage des argiles,  $d_1 < d_3 < d_2$

**Etape 1** : intercalation de l'oligomère cationique du métal

**Etape 2** : calcination

### II.3 Argile pontée au titane :

Globalement dans le domaine de l'application à la catalyse, une grande variété d'argile pontée a été préparé en utilisant différentes espèces polycationiques tel que : Al, Zr, Ti, Fe et le Cr . [29]

Par ailleurs, vu la complexité de préparation et surtout la méconnaissance des structures des polycations de titane, la littérature scientifique ne nous offre que les principales conditions optimales de préparation des argiles à piliers de titane moyennant les conditions suivantes : rapport H/Ti, âge de la solution pontante, rapport Ti/argile, température de calcination. [28]

Deux différentes méthodes ont été utilisées pour la préparation des argiles pontées au titane, la première méthode utilise le  $TiCl_4$  et l'acide chlorhydrique, tandis que, dans la deuxième méthode, des éthoxydes de titane hydrolysé avec le HCl, sont utilisés comme agent de pontage. Ces deux méthodes ont prouvé être souhaitables pour la préparation des argiles pontées au titane, bien que, le premier processus exige un traitement prudent du  $TiCl_4$ . Sterte. [30] Bernier et al. [31] And L. Boudali et al. [32] Ont effectué des études détaillées sur les conditions expérimentales de l'hydrolyse de  $TiCl_4$  avec HCl ils ont indiqué que les conditions de synthèse étaient critiques en ce qui concerne la morphologie et la texture du produit final.

La surface spécifique et l'espace basal obtenus sont respectivement égal à :  $260-350 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$  et  $18-24 \text{ \AA}$ .

L. Boudali et al. [32] ont étudié l'hydrolyse de  $\text{TiCl}_4$  et ont trouvé que la nature de l'acide utilisé affecte la nature des espèces polymériques obtenues.

Valverde et al. . [33] Rapportent que l'intercalation avec l'éthoxyde de titane hydrolysé avec HCl donne une surface spécifique de  $310 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  et un espace basal de  $23.8 \text{ \AA}$ . La même méthode a été aussi utilisée par Castillo et al. [34]

#### II.4 Le choix du $\text{TiO}_2$ :

L'oxyde de titane est un matériau bon marché, largement utilisé dans différentes industries (Cosmétique, peinture...) car il possède de nombreuses propriétés intéressantes, tant du point de vue scientifique que technique et industriel. Il a déjà été largement étudié et convient bien à de nombreuses techniques expérimentales. Il peut être facilement réduit, de sorte à augmenter sa conductivité.

Il s'agit d'un matériau fortement hydrophile qui a la particularité de dissocier l'eau qu'il adsorbe. Ce phénomène est photo activé par le rayonnement ultraviolet. Cette propriété est exploitée sur des parebrises de véhicules ou des vitres de bâtiments. Il est aussi capable de décomposer des molécules organiques, ce qui peut être utilisé à des fins de purification de l'eau, de l'air ou de nettoyage de surfaces.

Ces propriétés électriques ne sont pas moins variées. Lorsque sa composition est stœchiométrique, le  $\text{TiO}_2$  se comporte comme un isolant, alors que quelques défauts suffisent pour le rendre semi-conducteur. Il est préparé en couches minces, son insensibilité à la lumière du visible et du proche infrarouge, en raison de la large bande interdite (de l'ordre de  $3,2 \text{ eV}$ ), ne lui permet d'absorber que dans le proche ultraviolet. [27]

En effet il présente :

- Des propriétés physicochimiques et électriques intéressantes ;
- Une excellente dureté mécanique ;
- Une bonne stabilité chimique ;
- Un fort indice de réfraction ;

- Une bonne transparence dans le domaine du visible et proche infrarouge.
- Ce matériau a fait l'objet de nombreux travaux de recherche, ses propriétés cristallographiques, électroniques et optiques ont été explorées par différentes techniques d'analyse.

### **II.5 Applications du dioxyde de titane :**

On compte de nombreuses utilisations de l'oxyde de titane et notamment dans les secteurs industriels suivants : cosmétiques, abrasifs, pâtes, peintures, papeterie, traitements de surfaces, électricité.

Les applications scientifiques, industrielles et high-tech du dioxyde de titane sont nombreuses, ainsi les films minces de  $\text{TiO}_2$  sont largement utilisés dans diverses applications.

A titre d'exemple, nous pouvons citer : les revêtements optiques, les cellules photovoltaïques, les capteurs de gaz, les systèmes électrochromes, l'auto-nettoyage des surfaces et la catalyse. Le dioxyde de titane est aussi utilisé comme pigment blanc ou en tant que revêtement de protection anticorrosion de la céramique et des dispositifs électrochromes.

Le dioxyde de titane est capable de décomposer des molécules organiques, ce qui lui permet d'être utilisé pour la purification de l'eau, de l'air ou le nettoyage de surfaces.

Dans le domaine de la photochimie, le dioxyde de titane permet l'initiation de réactions telles que la photolyse de l'eau, la photo réduction de l'azote et la purification d'effluent liquides et gazeux.

Les revêtements de dioxyde de titane présentent des propriétés favorables pour le guidage optique, notamment pour amplifier des signaux dans des films dopés avec des ions de terres rares ou pour modifier l'indice de réfraction de la surface des verres. Etant aisément supporté par le corps humain, il recouvre certaines prothèses osseuses, permettant aux tissus fibreux de s'attacher facilement à sa structure granuleuse. Ses propriétés électriques ne sont pas moins variées. Lorsque sa composition est stœchiométrique, le  $\text{TiO}_2$  se comporte comme un isolant, alors que quelques défauts suffisent pour le rendre semi-conducteur. [27]

### **II.6 Les facteurs influençant sur le pontage des argiles :**

Les facteurs influençant le pontage des argiles sont nombreux, nous les citons comme suit :

- ❖ La nature du cation échangeable initial de l'argile joue un rôle certain, puisque la première étape du traitement est une intercalation par échange cationique. Souvent ce cation est le sodium, ce qui permet d'avoir une argile de départ bien dispersée où l'échange est plus facile à réaliser.
- ❖ La nature de l'argile elle-même est très importante, tant du point de vue minéralogique (composition des feuillets, origine de la charge, densité de la charge et sa distribution) que du point de vue textural (dimension et forme des feuillets et ses agrégats).
- ❖ La concentration initiale de l'argile dans l'eau joue sur la taille des agrégats. A des concentrations très faibles ( $< 0,1 \%$ ), il peut y avoir disparition complète des tactoïdes.
- ❖ L'anion utilisé comme source de polymère (nitrate, chlorures, sulfates...) n'est pas innocent dans le mécanisme de la modification des argiles.
- ❖ Le rôle du pH qui est lié à la fois aux concentrations initiales et au rapport OH-/Al.
- ❖ Le rôle de la température de traitement.
- ❖ Le temps et la température de maturation de l'argile dans la solution du polymère.
- ❖ Le rôle de la dialyse, qui semble mieux organiser les polymères dans l'espace inter lamellaire.
- ❖ Le mode de séchage. La lyophilisation crée une porosité plus élevée (macroporosité) des argiles trioctaédriques. [27]



**Partie II :**  
**Partie pratique**

## **Chapitre I : Analyses physico-chimiques**

### **I.1 Introduction**

Ce premier chapitre se concentre sur l'analyse physico-chimique de l'argile en tant que matériau inorganique, en se concentrant sur la détermination de paramètres tels que le pH, l'indice de gonflement, l'humidité et la colloïdalité. Nous expliquerons les méthodes d'analyse utilisées pour mesurer ces paramètres, puis détaillerons les résultats obtenus et leur interprétation en relation avec la littérature scientifique existante. L'objectif de cette analyse est de mieux comprendre les propriétés de l'argile et comment celles-ci peuvent être exploitées pour des applications industrielles spécifiques.

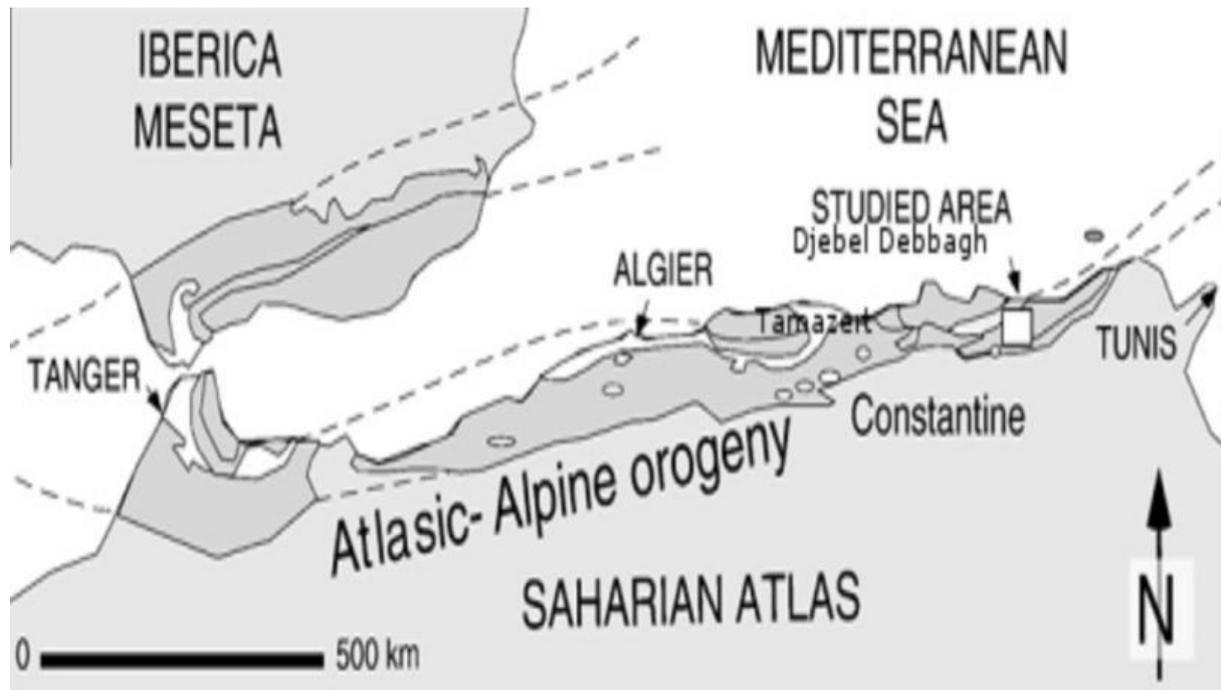
### **I.2 Préparation de l'échantillon argileux :**

#### **I.2.1 Source :**

Les échantillons "Bentonite" ont été prélevée au niveau de la wilaya de Tlemecen.

Les échantillons "Kaolin DD3" ont été prélevé au niveau de Djebel Dbagh à Guelma.

Les échantillons "Kaolin KT2" ont été prélevée au niveau de la wilaya de la région de Tamazertà Jijel.



**Figure 11 : Situation géographique des gisements d'argiles en Algérie**

« Gisement de Tamazert (○) et de Djebel Debbagh (□) »

### **I.2.2 Concassage, Séchage et broyage :**

L'échantillon prélevé a subi les opérations unitaires suivantes.

- Concassage des roches de l'échantillon en morceaux par un mortier.
- Broyage des morceaux de l'échantillon argileux dans un broyeur.
- Tamisage de la poudre de l'échantillon (Tamis de 50 $\mu$ m).
- Séchage dans l'étuve pendant 24 h (T =105 °C)

### **I.3 Caractéristiques des différents types d'argiles utilisées dans l'étude :**

#### **I.3.1 La bentonite :**

- La bentonite est composée principalement de montmorillonite, une argile ayant une forte capacité d'absorption d'eau et de gaz, ainsi qu'une plasticité élevée.
- Elle est largement utilisée dans diverses applications industrielles telles que la construction, la production de papier et l'extraction de pétrole et de gaz naturel.

- La bentonite peut présenter des variations en termes de texture, de couleur, de teneur en eau et de pH.
- Elle est insoluble dans l'eau, mais peut former une suspension colloïdale en présence d'eau.



Figure 12 : L'argile bentonite

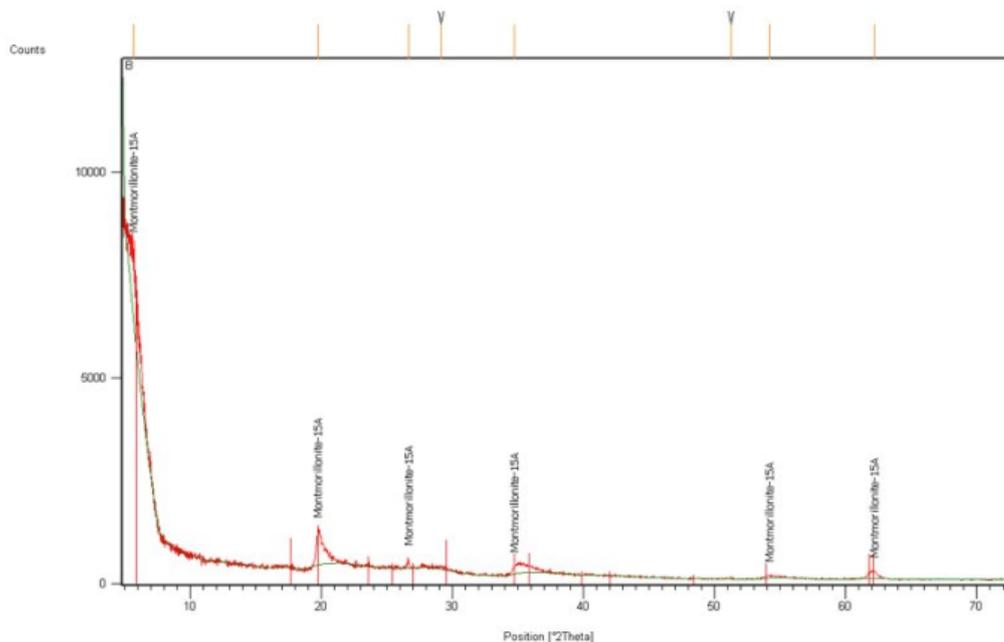


Figure 13 : Les résultats d'analyse de DRX des argiles bentonite non activée [6].

### I.3.2 Les kaolins :

Les kaolins sont classés dans la famille des argiles et font partie du groupe silico-alumineux phylliteux, aux côtés de la montmorillonite, des illites et micas, et des Polygroslytes. La phase prédominante dans le kaolin est la kaolinite

$(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O})$  ou l'halloysite  $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O})$  avec  $n \geq 4$ .

### I.3.3 Le kaolin DD :

Le kaolin DD présente différentes qualités en fonction de la concentration des impuretés d'hydroxydes métalliques. Il est généralement classifié en quatre catégories ou nuances : kaolin DD 1, Kaolin DD 2, Kaolin DD 3 et le Kaolin DD 4.



**Figure 14 : L'argile kaolin DD3.**

Le kaolin DD3 est un mélange de deux phases principales : la kaolinite  $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$  et l'halloysite  $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$ .

L'argile utilisée dans votre travail est du kaolin extrait du Djebel Debagh, est un Kaolin DD 3 *ème* nuance. Ce kaolin naturel est exploité depuis près d'un siècle à partir d'un gisement situé à Djebbel Debbagh dans la wilaya de Guelma en Algérie. Le gisement est de nature hydrothermale et est proche de sources thermales réputées.

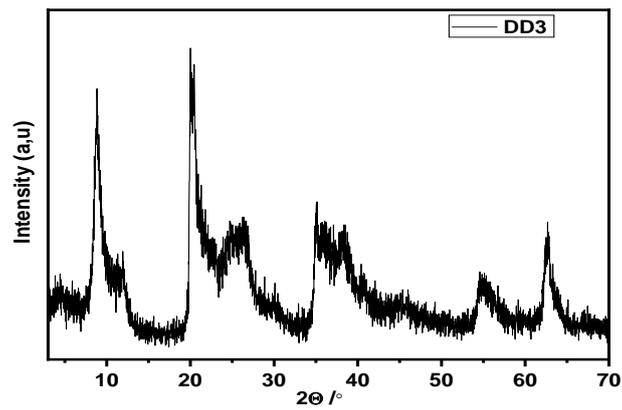


Figure 15 : Les résultats d'analyse de DRX de argile Kaolin DD 3 non activée [6].

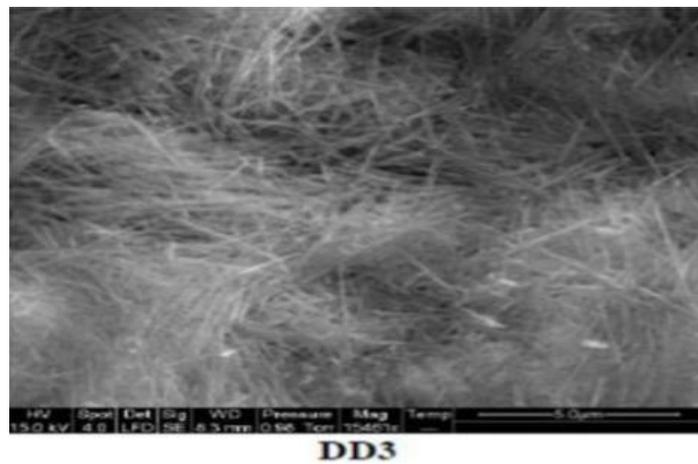


Figure 16 : MEB du kaolin DD3 de Djebel Debbag [6].

#### I.3.4 Le KT2 de Tamazert:



**Figure 17 : L'argile KT2 de Tamazert.**

L'argile utilisée dans notre travail est le kaolin KT2 de Tamazert, qui est l'un des deux types d'argiles connus dans la région, avec le kaolin KT1. Principalement composé de kaolinite, une forme cristalline d'argile, le kaolin KT2 se distingue par sa douceur, sa plasticité et sa faible teneur en fer et en titane. Ce matériau est largement utilisé dans l'industrie de la céramique pour sa capacité à réduire la température de cuisson et à améliorer les propriétés des produits finis. Il est également utilisé dans l'industrie du papier comme charge, pour améliorer la blancheur et la résistance du papier. Le kaolin KT2 est insoluble dans l'eau et possède une faible capacité d'absorption, ce qui en fait un choix adapté pour les applications où une forte capacité d'absorption n'est pas nécessaire.

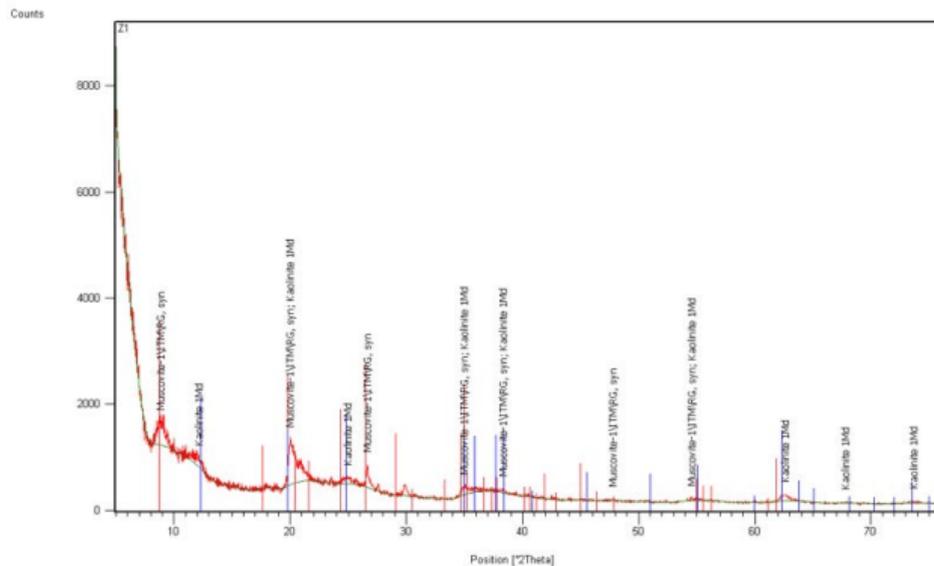


Figure 18 : Les résultats d'analyse de DRX de l'argile KT2 de Tamazert non activée [6].

#### I.4 Analyse physico-chimique du matériau :

Dans cette partie pratique, nous avons analysé l'argile en se concentrant sur des paramètres clés tels que le pH, l'indice de gonflement, l'humidité et la colloïdalité. Ces mesures sont importantes pour comprendre les propriétés physico-chimiques de l'argile et son comportement dans différents environnements.

Nous allons décrire les techniques et méthodes que nous avons utilisées pour réaliser ces analyses et discuter de leurs implications pour la compréhension de l'argile en tant que matériau inorganique.

##### I.4.1 Détermination du pH :

Objectif : L'objectif de cette expérience est de déterminer le pH de trois suspensions d'argile (bentonite, DD3, KT2) pour quantifier leur acidité lorsqu'elles sont en contact avec une

solution aqueuse. Le pH est une mesure de l'acidité ou de la basicité d'une solution et est déterminé en mesurant la concentration d'ions d'hydrogène dans la solution.

Matériaux :

- Trois suspensions d'argile (bentonite, DD3, KT2) d'un diamètre de  $D = 0,005 \text{ mm}$  ( $\mu\text{m}$ ).
- Eau distillée d'environ 200 ml.
- PH-mètre.
- Récipients pour mélanger les suspensions d'argile avec l'eau distillée.
- Agitateur.

Méthodes :

1. Préparation des suspensions d'argile :

- Nous avons pris 10 g de chaque suspension d'argile (bentonite, DD3, KT2) et les avons placées dans des récipients distincts.
- Après on a ajouté environ 200 ml d'eau distillée à chaque récipient contenant la suspension d'argile.
- Nous avons agité chaque récipient à l'aide d'un agitateur pour bien mélanger la suspension d'argile avec l'eau distillée.
- Enfin, on a laissé les suspensions d'argile en contact avec l'eau distillée pendant une durée de 4 heures à une température ambiante de  $25^{\circ}\text{C}$ . Cette période permet aux ions de passer en homogénéité de la solution d'argile.

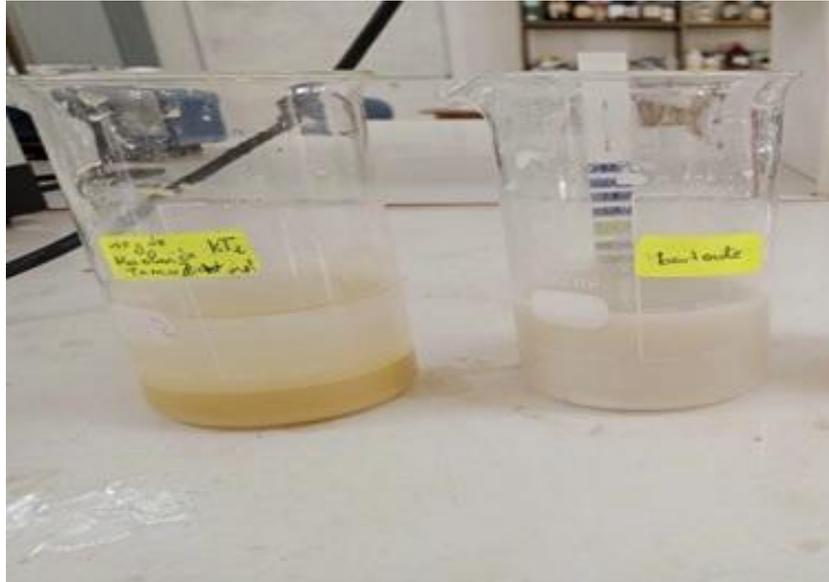


Figure 19 : Préparation des suspensions d'argile (bentonite, DD3, KT2).

#### I.4.2 Mesure du pH :

- Après 4 heures, nous avons mesuré le pH de chaque suspension d'argile à l'aide d'un pH-mètre. On a effectué chaque mesure directement sur la suspension d'argile dans le récipient.



Figure 20 : Mesure du pH.

NB : Les résultats sont à discuter dans la partie des résultats

### I.4.3 Taux d'humidité :

Objectif : Déterminer l'humidité des trois échantillons d'argile (bentonite, DD3, KT2) à l'aide d'une méthode simple et précise.

Matériaux :

- Trois échantillons d'argile (bentonite, DD3, KT2).
- Balance analytique.
- Four à 110°C.
- Dessiccateur contenant du gel de silice ou du sulfate de calcium anhydre.
- Récipient pour placer l'échantillon après séchage.
- Papier absorbant.

Méthode :

1. Prélever un échantillon représentatif d'argile d'environ 5 g.
2. Mesurer la masse de l'échantillon d'argile avec précision et enregistrer la valeur.



**Figure 21: Mesure de la masse de l'échantillon d'argile (bentonite, DD3, KT2).**

3. Sécher l'échantillon d'argile au four à une température de 110°C jusqu'à ce que la masse devienne constante (environ 24 heures).



**Figure 22 : Étape de séchage à 110°C pour obtenir une masse constante de l'échantillon d'argile.**

4. Retirer l'échantillon du four et le placer dans un dessiccateur contenant du gel de silice ou du sulfate de calcium anhydre pour éviter toute absorption d'humidité.
5. Laisser refroidir l'échantillon pendant environ 30 minutes, puis mesurer précisément sa masse et enregistrer la valeur.
6. Calculer l'humidité de l'argile à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Humidité (\%)} = [(masse\ initiale - masse\ sèche) / masse\ initiale] \times 100$$

où : masse initiale : masse de l'échantillon avant séchage, masse sèche : masse de l'échantillon après séchage.

7. Répéter les étapes 1 à 6 pour chaque échantillon d'argile (bentonite, DD3, KT2).
8. Nettoyer soigneusement le dessiccateur et le récipient après chaque mesure à l'aide de papier absorbant.

Il est important de noter que la teneur en eau de l'argile peut varier en fonction de nombreux facteurs tels que la température, l'humidité relative de l'air et le taux d'échange d'ions dans l'argile. Toutefois, cette méthode expérimentale permet de déterminer l'humidité d'un échantillon d'argile avec une précision adéquate pour les besoins de la recherche.

#### I.4.4 Indice de gonflement :

Objectif : Évaluer l'indice de gonflement de trois types d'argile (bentonite, DD3, KT2) en mesurant leur volume après avoir été hydratés.

Matériaux :

- Trois éprouvettes graduées de 50 ml.
- Eau distillée.
- Balance de précision.
- Trois échantillons d'argile (bentonite, DD3, KT2).

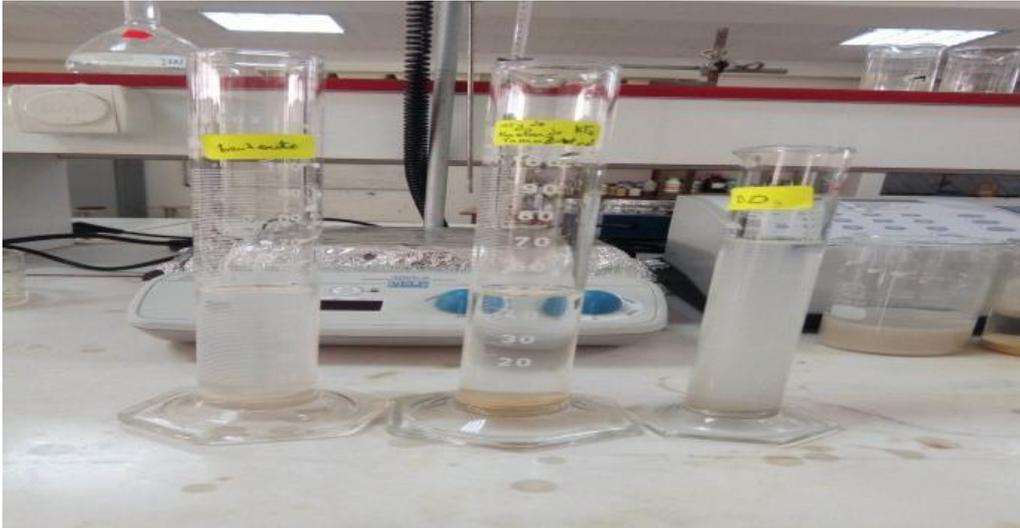
Méthode :

1. Peser 0,5 g d'argile de chaque type (bentonite, DD3, KT2) avec une balance de précision et verser dans les trois éprouvettes graduées.



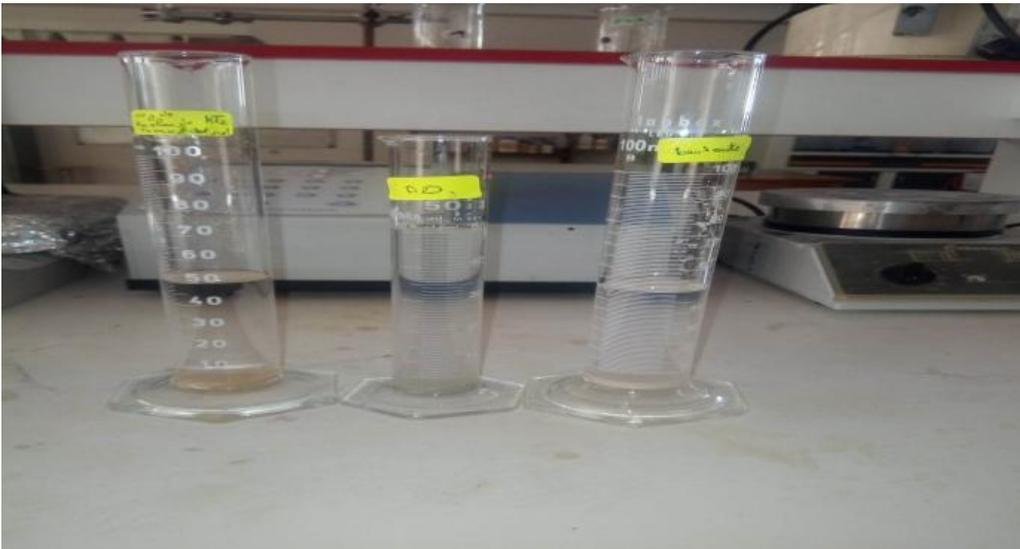
**Figure 23: Étape de pesée et de transfert des trois échantillons d'argile dans les éprouvettes graduées.**

Ajouter 50 ml d'eau distillée dans chaque éprouvette graduée contenant l'argile et laisser reposer pendant 45 minutes.



**Figure 24: Observation de la dispersion de l'argile dans l'eau distillée après 45 minutes de repos.**

2. Ajouter 0,5 g d'argile supplémentaire dans chaque éprouvette graduée et laisser reposer pendant encore 2 heures.



**Figure 25 : Ajout d'argile supplémentaire et période de repos pour la sédimentation.**

3. Mesurer le volume final de chaque éprouvette graduée après que l'argile a été hydratée.
4. Calculer l'indice de gonflement de chaque type d'argile en utilisant la formule suivante :

$$\text{Indice de gonflement (\%)} = (\text{Volume de gonflement} \times 50) / (50 - \text{humidité})$$

où  $V_f$  est le volume final de l'échantillon hydraté et  $V_i$  est le volume initial de l'échantillon sec.

6. Répéter les étapes 1 à 5 pour les deux autres types d'argile (DD3, KT2).

Il est important de noter que l'indice de gonflement peut varier en fonction de nombreux facteurs tels que le type d'argile, la qualité de l'eau utilisée, la température et le temps de repos. Toutefois, cette méthode expérimentale permet d'obtenir des résultats comparatifs pour évaluer la capacité de gonflement de chaque type d'argile.

#### I.4.5 Colloïdalité :

Objectif : Mesurer la colloïdalité de trois échantillons d'argile (bentonite, DD3, KT2).

Matériaux :

- Trois échantillons d'argile (bentonite, DD3, KT2)
- 100 mL d'eau distillée
- 0,2 g de MgO
- Une éprouvette graduée
- Un agitateur
- Une balance de précision

Méthode :

1. Mettre 5 g d'argile dans 100 mL d'eau distillée dans une éprouvette graduée.
2. Ajouter 0,2 g de MgO dans la solution pour permettre la défloculation.



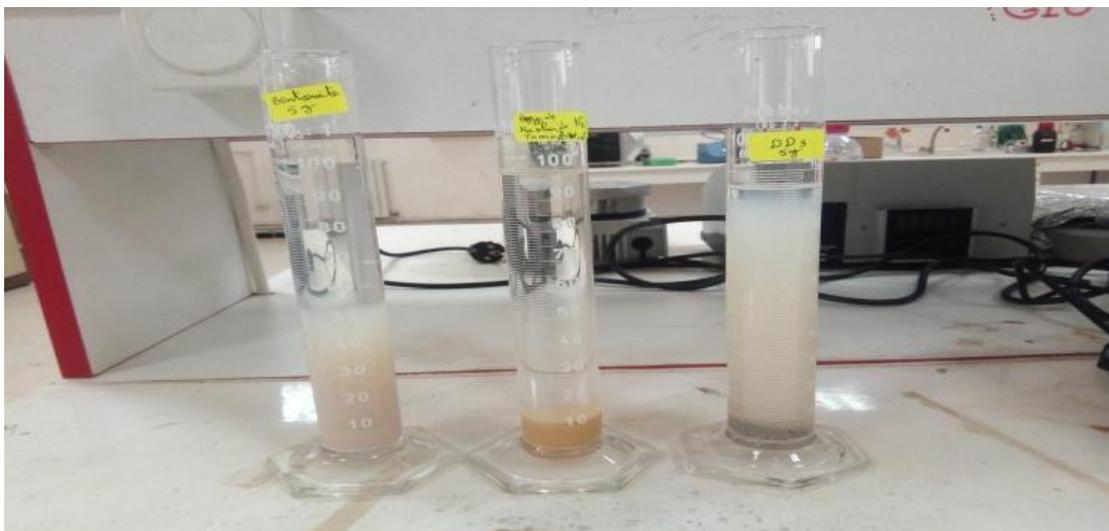
**Figure 26: Préparation de la suspension d'argile avec ajout de MgO pour la défloculation.**

3. Agiter le mélange pendant 5 minutes à l'aide d'un agitateur.



**Figure 27: Agitation du mélange argile-eau-MgO pendant 5 minutes à l'aide d'un agitateur.**

4. Placer l'éprouvette graduée contenant le mélange dans un endroit stable pendant 24 heures.



**Figure 28: Étape de repos de 24 heures : stabilisation du mélange argile-eau après agitation.**

5. Mesurer le volume  $V$  (en mL) occupé par le surnageant.
6. Calculer la colloïdalité ( $C\%$ ) à l'aide de la formule suivante :  $C(\%) = 100 - V$
7. Répéter les étapes 1 à 6 pour chaque échantillon d'argile (bentonite, DD3, KT2).

Il est important de noter que la colloïdalité est une mesure de la capacité d'une argile à former des colloïdes en suspension dans un liquide. Cette méthode expérimentale permet de mesurer la colloïdalité de différents échantillons d'argile avec une précision adéquate pour les besoins de la recherche.

**Tableau .1.** Paramètres physico-chimiques de l'échantillon argileux.

Les Caractérisations	DD3	KT2	Bentonite
pH	9,55	5	8
Taux d'humidité H(%)	2,4	3	17
Indice de gonflement Ig(%)	51,47	54,25	75,75
Colloïdalité C(%)	95	99	98

### I.5 Analyse résultats :

Les résultats de l'analyse physico-chimique des trois argiles montrent plusieurs différences significatives entre les échantillons.

Tout d'abord, en ce qui concerne le pH, il y a une variation importante entre les échantillons. La suspension DD3 a un pH basique de 9,55, la suspension KT2 est acide avec un pH de 5, et la suspension bentonite a un pH légèrement basique de 8. Cette variation peut indiquer une différence dans la composition chimique des échantillons, avec des niveaux différents de composés acides et alcalins.

En ce qui concerne le taux d'humidité, les trois échantillons ont des taux assez similaires, avec la suspension DD3 ayant un taux d'humidité de 2,4%, la suspension KT2 ayant un taux d'humidité de 3%, et la suspension bentonite ayant un taux d'humidité élevé de 17%. Ce dernier taux élevé peut être lié à la forte capacité d'absorption d'eau de la bentonite, qui est utilisée pour son pouvoir absorbant dans certaines applications.

L'indice de gonflement, qui mesure la capacité de l'argile à gonfler lorsqu'elle est exposée à l'eau, varie également entre les échantillons. La suspension DD3 a un indice de gonflement de 51,47%, la suspension KT2 a un indice de gonflement de 54,25%, et la suspension bentonite a un indice de gonflement élevé de 75,75%. Cela peut indiquer que la bentonite a une capacité d'absorption d'eau supérieure à celle des deux autres échantillons, ce qui peut être lié à sa structure en feuillets qui lui confère une grande surface d'échange.

Enfin, en ce qui concerne la colloïdalité, les trois échantillons ont des valeurs élevées, indiquant la présence de particules colloïdales en suspension dans la solution. La suspension DD3 a une colloïdalité de 95%, la suspension KT2 a une colloïdalité de 99%, et la suspension bentonite a une colloïdalité de 98%. La présence de particules colloïdales peut avoir des implications dans l'utilisation de ces échantillons dans diverses applications industrielles, notamment en termes de stabilité de la suspension et de la réactivité des particules.

En conclusion, l'analyse physico-chimique des trois échantillons d'argile montre des différences significatives en termes de pH, d'indice de gonflement et de taux d'humidité. Ces différences peuvent être importantes dans la compréhension de la composition et des propriétés de ces échantillons, ainsi que dans leur utilisation dans diverses applications industrielles.

## Chapitre II : synthèse des argiles pontés

### II.1 introduction :

Ce chapitre se concentre sur la synthèse des argiles pontées avec le dioxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ), en mettant en évidence le pontage de la bentonite, du kaolin KT2 et du kaolin DD3. Les argiles pontées sont des matériaux inorganiques qui résultent de l'insertion d'agents de pontage entre les feuillets d'argile, modifiant ainsi leurs propriétés physiques, chimiques et structurales.

Dans cette étude, nous nous intéressons à la préparation des argiles pontées en utilisant ces trois types d'argile spécifiques. La bentonite, également connue sous le nom de montmorillonite, est une argile largement étudiée et utilisée. Le kaolin KT2 et le kaolin DD3 sont des argiles riches en kaolinite, qui offrent des caractéristiques uniques complémentaires à celles de la bentonite.

L'objectif de ce chapitre est de décrire la méthodologie de préparation des argiles pontées en utilisant le  $\text{TiO}_2$ , ainsi que les caractéristiques spécifiques de chaque type d'argile. Nous aborderons les étapes de purification des argiles, les procédures de pontage avec le  $\text{TiO}_2$ , et les techniques de caractérisation utilisées pour évaluer la structure et les propriétés des matériaux obtenus.

La synthèse des argiles pontées revêt une importance particulière en raison de leur potentiel d'application dans divers domaines, tels que la catalyse et la modification des propriétés des matériaux composites. En comprenant les méthodes de préparation et les caractéristiques des argiles pontées, nous pouvons exploiter leur potentiel dans la conception de nouveaux matériaux fonctionnels.

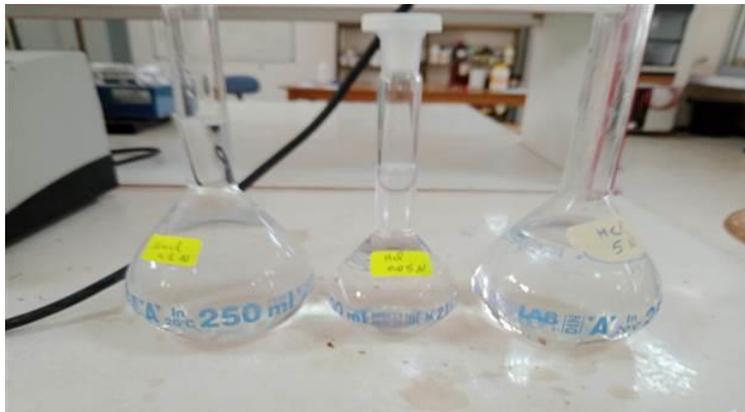
### II.2 Préparation des échantillons argileux :

#### II.2.1 Protocole de préparation d'argiles purifiées et caractérisées :

##### II.2.1.1 Introduction :

Dans cette étude, nous avons réalisé le traitement et la purification de trois types d'argiles (bentonite, kaolin KT2, kaolin DD3) afin d'obtenir des échantillons d'argiles purifiées. Le protocole expérimental comprend un traitement par HCl suivi d'un traitement par l'eau

oxygénée, et se termine par une étape de lavage avec une solution de NaCl. Les argiles purifiées sont ensuite caractérisées par diffraction des rayons X.



**Figure 29 : Solution tampon d'acide acétique et l'acétate de sodium.**

#### II.2.1.2 Matériaux :

- 3 échantillons de (20g) de chaque type d'argile



**Bentonite**

**KT2**

**DD3**

**Figure 30: Une quantité de 20g d'argile.**

- Acide chlorhydrique HCl (0,05N)
- Eau oxygénée H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
- Solution de NaCl (0,1N)
- Eau distillée
- Équipements de laboratoire : agitateur, filtre, bêcher, dessiccateur, etc.

**II.2.1.3 Protocole :****1. Traitement par HCl :**

- a. Pour chaque échantillon d'argile (bentonite, kaolin KT<sub>2</sub>, kaolin DD<sub>3</sub>), disperser 20 g dans 250 ml de solution d'acide chlorhydrique (0,05N).

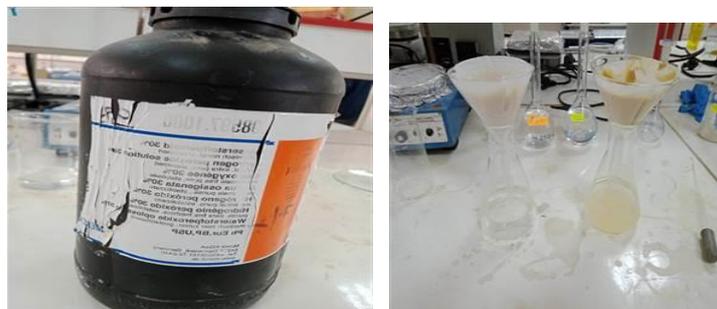


**Figure 31 : Traitement par solution de HCl.**

- b. Laisser le mélange sous agitation pendant 1 heure.
- c. Filtrer le mélange et laver l'argile récupérée trois fois à l'eau distillée jusqu'à la disparition des chlorures.

**2. Traitement par l'eau oxygénée :**

- a. Pour chaque échantillon d'argile purifiée (bentonite, kaolin KT<sub>2</sub>, kaolin DD<sub>3</sub>), disperser les 20 g d'argile récupérée dans un bêcher de 100 ml.
- b. Ajouter de l'eau oxygénée (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) au bêcher.

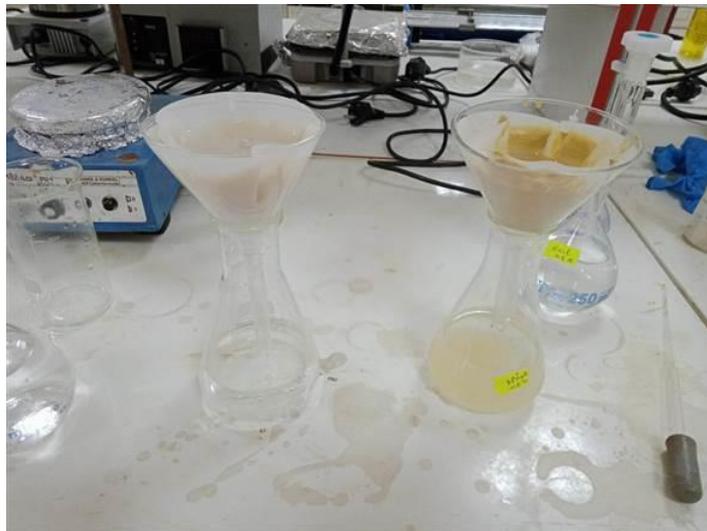


**Figure 32: Traitement par l'eau oxygénée**

- c. Laisser le mélange sous agitation pendant 2 heures.
- d. Laver l'argile purifiée plusieurs fois à l'eau distillée.
- e. Sécher, broyer, tamiser et stocker l'argile purifiée dans un dessiccateur.

### 3. Lavage avec une solution de NaCl :

- a. Pour chaque échantillon d'argile purifiée (bentonite, kaolin KT2, kaolin DD3), prendre 20 g de l'argile purifiée et la disperser dans une suspension argileuse.
- b. Traiter la suspension trois fois avec une solution de NaCl 0,1N sous agitation pendant 24 heures.



**Figure 33: L'argile traitée dans la solution de NaCl.**

- c. Récupérer la bentonite sodée pour chaque échantillon et la laver plusieurs fois à l'eau distillée jusqu'à un test négatif des chlorures avec du nitrate d'argent.
- d. Sécher la bentonite sodée à 60°C pendant 24 heures.



**Figure 34: les Argiles traitée.**

## **II.2.2 Protocole de préparation d'argiles pontées et des matériaux composites :**

### **II.2.2.1 Introduction :**

Dans cette étude, nous avons réalisé la préparation d'argiles pontées avec du dioxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ). Le protocole expérimental a été basé sur la méthode développée par A. Valverde et al. L'objectif de ce protocole était de créer un matériau composite en intercalant les polycations de titane dans la structure de la bentonite, du kaolin KT2 et du kaolin DD3.

### **Catalyseur**

le  $\text{TiO}_2$  P25 se distingue par sa structure cristalline non poreuse. Sa surface spécifique mesurée par la méthode BET est de  $50 \text{ m}^2/\text{g}$ , ce qui lui confère une grande capacité d'adsorption. De plus, la taille moyenne des cristallites est d'environ 30nm, ce qui favorise une grande réactivité catalytique.

En raison de ses caractéristiques remarquables, le  $\text{TiO}_2$  P25 est couramment utilisé comme catalyseur dans de nombreux domaines de recherche, notamment en catalyse hétérogène, en photocatalyse et en synthèse des matériaux inorganiques.

### **II.2.2.2 Matériaux :**

- 3 échantillons de (8g) de chaque type d'argile qu'on a purifié
- Dioxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ )
- Acide chlorhydrique (HCl) 5N
- Eau distillée e
- Équipements de laboratoire : agitateur, centrifugeuse, four, etc.

### **II.2.2.3 Protocole :**

1. Préparation de la solution de pontage :



**Figure 35: Préparation de la solution de pontage (HCl, TiO<sub>2</sub>).**

a. Sous forte agitation, ajouter goutte à goutte de l'éthoxyde de titane à une solution d'acide chlorhydrique (HCl) de concentration 5N, en respectant un rapport molaire HCl/Ti de 2,5 mol/mol.

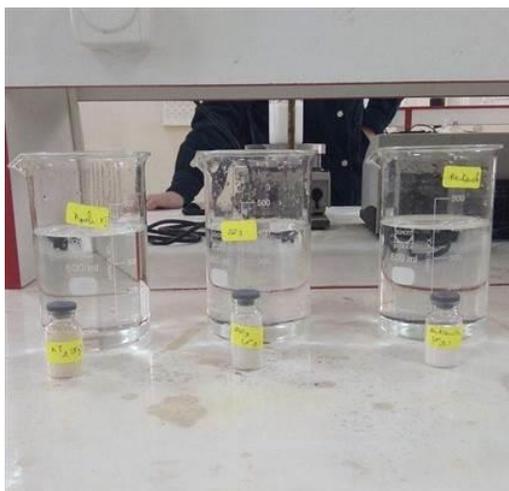


**Figure 36 : la solution de pontage.**

b. Laisser agiter la solution de pontage pendant 3 heures.

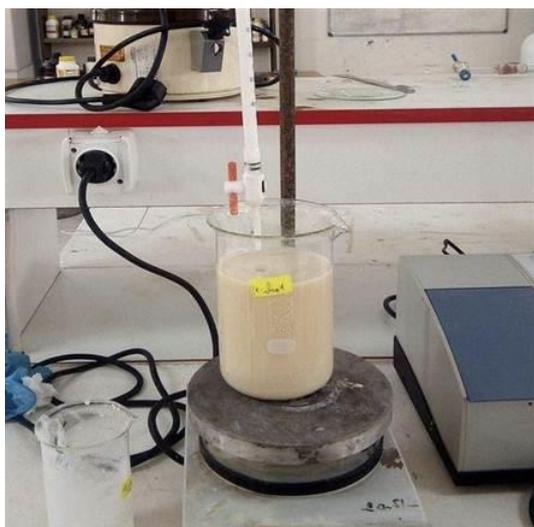
2. Préparation des suspensions d'argile pontée :

a. Dans trois récipients distincts, disperser respectivement 8 g de bentonite, 8g de kaolin KT2 et 8 g de kaolin DD3 dans 400 ml d'eau distillée e.



**Figure 37 : la dispersion des argiles dans l'eau distillée.**

b. Ajouter la solution de pontage goutte à goutte à chaque suspension d'argile, en respectant un rapport Ti/g d'argile de 10 mmol pour chaque type d'argile.





**Figure 38 : Titrage de l'argile par  $\text{TiO}_2$ .**

c. Laisser chaque mélange sous agitation pendant 12 heures à  $25\text{ }^\circ\text{C}$ .



**Figure 39 : Solution  $\text{TiO}_2$  avec l'argile sous agitation pendant 12 heures à  $25\text{ }^\circ\text{C}$ .**



**Figure 40: Solution  $\text{TiO}_2$  avec l'argile.**

3. Récupération et purification des argiles pontées :

a. Pour chaque type d'argile, récupérer la suspension en utilisant une centrifugeuse.



**Figure 41: récupération de la suspension en utilisant une centrifugeuse.**

b. Laver chaque argile récupérée à quatre reprises avec de l'eau distillée e pour éliminer les impuretés.



**Figure 42 : Les argiles modifiées par  $\text{TiO}_2$  traitée.**

c. Calciner chaque argile à  $500^\circ\text{C}$  avec une pente de  $2^\circ\text{C}/\text{min}$  pendant 2 heures.



**Figure 43 : Calcinations des matériaux.**

4. Caractérisation des matériaux obtenus :

a. Effectuer une analyse de diffraction des rayons X sur chaque matériau obtenu pour étudier leur structure et leur composition.

### **II.3 Conclusion :**

Ce protocole a permis de préparer avec succès des argiles pontées au dioxyde de titane en utilisant la méthode décrite par A. Valverde et al [33]. Les échantillons d'argile de bentonite, de kaolin KT2 et de kaolin DD3 ont été intercalés avec les polycations de titane, et les matériaux composites ont été caractérisés par diffraction des rayons X. Ces matériaux composites peuvent être utilisés dans diverses applications en raison de leurs propriétés améliorées grâce à la présence de  $\text{TiO}_2$ .

A decorative frame resembling a scroll, with a rounded top and a small circular element at the top-left corner. The text is centered within this frame.

**Conclusion Générale**

### Conclusion Générale

En conclusion, ce mémoire a été consacré à l'étude et à la synthèse de matériaux inorganiques, mettant en évidence leur potentiel dans différents domaines d'application. À travers des analyses physicochimiques approfondies, nous avons pu caractériser les propriétés et la composition de divers matériaux, en mettant l'accent sur l'utilisation d'argiles abondantes en Algérie, telles que l'argile de Djebel Debagh DD3 et l'argile Tamazert KT2.

L'étude de l'activation chimique des argiles a permis de mieux comprendre leur comportement et d'optimiser leur potentiel fonctionnel. En exploitant ces argiles traitées, nous avons réussi à élaborer des matériaux inorganiques fonctionnalisés en utilisant des oxydes tels que le dioxyde de titane. Ces matériaux ont présenté des propriétés améliorées et des performances prometteuses dans différentes applications.

L'utilisation de ces matériaux inorganiques a ouvert la voie à diverses applications, notamment dans le domaine du traitement des eaux usées. Cela souligne l'importance de la recherche sur les matériaux inorganiques pour relever les défis environnementaux et développer des solutions durables.

Ce mémoire constitue une contribution significative à la compréhension et à l'exploitation des matériaux inorganiques, en mettant en évidence leur polyvalence et leur potentiel d'innovation. Les résultats obtenus ouvrent de nouvelles perspectives de recherche et incitent à poursuivre les études dans ce domaine prometteur.

Finalement les résultats de cette recherche témoignent de l'importance de la recherche et de l'innovation dans ce domaine. Ils soulignent le potentiel des argiles abondantes en Algérie et leur transformation en matériaux fonctionnalisés. En continuant à explorer et à exploiter les propriétés uniques des matériaux inorganiques, nous pourrions ouvrir la voie à de nouvelles avancées scientifiques et technologiques, contribuant ainsi au progrès de la société et à la préservation de l'environnement.

### Références Bibliographiques :

- [1]. Abdallah ILLAIK(2008) SYNTHÈSE ET CARACTÉRISATION DE NANOCOMPOSITES POLYMÈRES / HYDROXYDES DOUBLES LAMELLAIRES (HDL) , these de doctorat, BLAISE PASCAL.
- [2]. Lahcen BOUNA(2012) FONCTIONNALISATION DES MINÉRAUX ARGILEUX D'ORIGINE MAROCAINE PAR TiO<sub>2</sub> EN VUE DE L'ÉLIMINATION PAR PHOTOCATALYSE DE MICROPOLLUANTS ORGANIQUES DES MILIEUX AQUEUX, these de doctorat, TOULOUSE.
- [3]. ABDESSOULTANE Moussa, RAMI Mohamed(2017) Caractérisation Mécanique Et Thermo Physique Des Matériaux Locaux A Base d'Argile Stabilisé Au Plâtre (Cas d'Argile de Timimoune) ,Mémoire de Maste, ADRAR.
- [4]. Cherifi-Naci H., Louhab K., Efficacité des Complexes Organo/Inorgano Argileux pour l'élimination des métaux lourds à partir des solutions aqueuses, Algerian J. Env. Sc. Technology, 5:3 (2019) 1009-1019
- [5]. Mme Salih HADDOUM(2016)ELABORATION DE CATALYSEURS A BASE DE MATIERES PREMIERES LOCALES POUR LA PRODUCTION D'ESSENCES A HAUT INDICE D'OCTANE, Thèse de Doctorat, Algérienne.
- [6]. ZEN Soumia(2015) Etude des propriétés physico-chimiques des argiles de l'Est- Algérien. Application à l'adsorption des colorants de tannerie ,these de doctorat,Guelma.
- [7]. KHIREDDINE Ouahida(2015) Étude de matériaux argileux et leur Impact sur l'adsorption de certains polluants, these de doctorat, ANNABA.
- [8]. Nadia HOUTA(2015) Dispersion de phyllosilicates et processus de frittage de céramiques silicatées ,these de doctorat, LIMOGES.
- [9]. Hadj Abdelkader née Benselka Naima(2014) Synthèses d'argiles anioniques ( MgFeCO<sub>3</sub> )par coprécipitation et dégradation thermique de l'urée et applications à l'élimination de colorants anioniques dans les effluents textiles, these de doctorat, Algérienne.
- [10]. BelamriInesHioul Sara(2019) synthèse de molécule pharmaceutique par catalyse hétérogène en présence de la montmorillonite traitée, Mémoire de Master, Jijel.
- [11]. OuahabHadjir(2019) Synthèse et caractérisation d'un nanobiocomposite à base d'amidon thermoplastique et d'un renfort hydrophile et organophile, , Mémoire de Master, Biskra.

## Références Bibliographiques

---

[12]. Nedjima BOUZIDI(2012) Influence des impuretés des kaolins sur les propriétés des produits de cuisson, these de doctorat, Bejaia.

[13]. GUENDOZ MOHAMMED ZAKARYAALLIGUI MOUAD(2020) Etude de l'Adsorption de FER ( Fe<sup>3+</sup> ) en Solution Aqueuse sur Kaolin, Mémoire master, OUM EL BOUAGHI.

[14]. FEDDAL Imène(2016) « CONTRIBUTION A L'ELIMINATION D'UN POLLUANT ORGANIQUE, EN MILIEU HYDRIQUE : BLEU DE METHYLENE (BM), SUR DES MATERIAUX ARGILEUX MODIFIES » ,these de doctorat, SIDI BEL ABBES.

[15]. Jean Aimé MBEY(2013) FILMS COMPOSITES AMIDON DE MANIOC-KAOLINITE : Influence de la dispersion de l'argile et des interactions argile-amidon sur les propriétés des films, these de doctorat, Lorraine.

[16] .NOUIOUA Khaoùla BELAADA Hanane DAHMOUNE Karima( 2020) Elaboration et Caractérisation d'un Matériau Inorganique (destiné à la Préparation des Matériaux Composites) Mémoire de Master, Msila .

[17]. Kharfallah Akila(2013) LES CARACTÉRISTIQUES CINÉTIQUES, THERMODYNAMIQUE ET D'EQUILIBRE DE L'ADSORPTION DU BLEU DE METHYLENE SUR LE SABLE DE MER, Mémoire master , OUM EL BOUAGHI.

[18]. MEDJNOUN Amal<sup>1</sup>, BAHAR Ramdane<sup>2</sup> & KHIATINE Mohamed<sup>3</sup>(2014) Caractérisation et estimation du gonflement des argiles algériennes, cas des argiles de Médéa, of Conférences 11,3004(2014).

[19]. Aissa Salem(2016) effet de l'activation mécanique de l'argile cuite (déchets de briques) sur le comportement mécanique du mortier Mémoire de Master, M'sila.

[20]. Mille BERKANI SABRINA(2008) Traitement des eaux chargées en nickel par une bentonite algérienne , Mémoire MAGISTER, ALGERIENNE.

[21]. TICHOUDAD ahlam, TAMOUM fatima.(2018)Préparation et caractérisation d'une argile modifiée. Application à l'adsorption d'un colorant, Mémoire master, TISSEMSILT.

[22]. Mouderes Rania Hallouz Saada(2019) Utilisation d'une argile naturelle et modifiée sur un polluant organique , Mémoire master ,Tissemsilt.

[23]. chouafamohamed (2016) comportement du kaolin à l'enrichissement par flottation.cas

De la mine de tamazert-Jijel, these de doctorat, Annaba.

## Références Bibliographiques

---

[24]H. Bourara, H. Zeghache, (2012) Etude de l'adsorption des colorants anioniques de tannerie par des argiles de la région Est d'Algérie, Mémoire master, Guelma.

[25]. Nabil BABAHOUM(2022) Caractérisation, valorisation des bentonites Algériennes pour l'utilisation dans l'industrie pharmaceutique et cosmétique : cas du gisement de Maghnia , Tlemcen-Algérie, these de doctorat, Algérienne.

[26].Myriam Duc. Les argiles dans le génie civil : pathologies et propriétés remarquables. Matériaux. Université Paris Est - Marne-la-Vallée, 2020. tel-03089797

[27] : CHOUHI Farida, Mémoire Master « Préparation et caractérisation d'une argile locale modifiée par pontage inorganique » Université Ibn Khaldoun de Tiaret 2015/2016.

[28] : MEGUEDAD Karima (Sahel), Thèse de doctorat « Argile pontée au titane Colorants chimie Colorants Degussa P25 Industries textiles Photoctalyse Pollution de l'eau pH » Université Lyon1 2009 .

[29] P. Canizares, J.L. Valverde, M.R. Sun Kou, C.B. Molina, Micropor. Mesopor. Mater.22 (1999) 267.

[30] J.P. Sterte, Clays and Clays Minerals. 39 (1991) 167.

[31] A. Bernier, L.F. Admaiai, P. Grange, Appl. Catal. A General 77 (1991) 269.

[32] L.K. Boudali, A. Ghorbel, D. Tichit, B. Chiche, R. Dutartre, F. Figueras, Microporous Materials, 2 (1994) 525-535.

[33] J.L. Valverde, P. Sanchez, F. Dorado, C.B. Molina, A. Romero, Microporous and Mesoporous Materials, 54 (2002) 155-165.

[34] H.L. Del Castillo, A. Gil, P. Grange, J. Phys. Chem. Solids, 58 (1997) 1053-1062

