



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة الشهيد حمزة لخضر - الوادي
Université Echahid Hamma Lakhdar - Eloued
كلية العلوم الدقيقة
Faculté des Sciences Exactes
قسم الكيمياء
Département de Chimie

Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Chimie
Option Electrochimie Analytique et Environnement

Par

Mr. Selman BOUMESSAIDIA

THEME

**SYNTHESE ET CARACTERISATION DE
MATERIAUX ALUMINO-SILICATE
APPLICATION DANS L'ADSORPTION DE
POLLUANTS**

Soutenu le 28/02/2019 devant le Jury :

| | | | |
|-------------------------|------------|--------------|--------------------|
| Mr. LANEZ Touhami | Professeur | U. El Oued | Président |
| Mr. AHMEDI Ridha. | MCA | U. El Oued | Examineur |
| Mr. KHALEF Abdelhamide. | MCA | U. El Oued | Examineur |
| Mme ZERMANE Faiza | Professeur | USD de Blida | Examineur |
| Mr CHEKNANE Omar | MCA | USD de Blida | Invité |
| Mme MOHAMMEDI Ourida | Professeur | USD de Blida | Directeur de thèse |

Année universitaire : 2018/2019

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|----|
| RESUME | |
| REMERCIEMENTS..... | |
| LISTE DES FIGURES, TABLEAUX ET ABREVIATION..... | |
| TABLE DES MATIERES..... | |
| INTRODUCTION GENERALE | 18 |

CHAPITRE I : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

| | |
|---|----|
| I.1 La chimie de tensioactifs | 20 |
| I.1.1 Définition | 20 |
| I.1.2 Les différentes familles de tensioactifs | 21 |
| I.1.3 Les systèmes moléculaires organisés | 21 |
| a. Les phases micellaires | 21 |
| b. Les cristaux liquides | 24 |
| I.1.4 Comportement des surfactants en solution aqueuse | 25 |
| I.2 Les Matériaux poreux | 28 |
| I.2.1 Les Zéolithes | 28 |
| I.2.2 Matériaux mésoporeux silicatés | 30 |
| a. Le mécanisme d'auto-assemblage coopératif CTM | 30 |
| b. Le mécanisme transcriptif LCT | 31 |
| I.2.3 Les différents types des matériaux mésoporeux | 32 |
| a. Silice de types M41S | 32 |
| b. Silice de types SBA-15 | 34 |
| I.2.4 Mécanisme de formation | 35 |
| I.2.5 Les interactions tensioactif- précurseur | 36 |
| I.2.6 Les paramètres affectant la synthèse des matériaux mésoporeux | 39 |
| a. Influence de la nature du tensioactif | 39 |
| b. Influence du pH | 39 |
| c. Contrôle de la taille des pores | 40 |
| d. Extraction au solvant | 40 |
| e. Calcination sous air à 550 °C | 40 |
| I.3 Matériaux mésoporeux obtenus par nanocasting | 41 |

| | |
|---|----|
| I.3.1 Mécanisme de synthèse | 41 |
| I.3.1 Carbones mésoporeux formés dans des silices mésoporeuses..... | 42 |
| a. Carbone mésoporeux hexagonal : CMK-3 | 43 |
| b. Carbone mésoporeux cubique : CMK-1 | 43 |
| c. Carbone mésoporeux cubique à larges pores : CMK-8 | 45 |
| I.3.2 Application des matériaux mésoporeux | 46 |
| I.4 Phénomène de l'Adsorption | 47 |
| I.4.1 Description du phénomène d'adsorption | 47 |
| I.4.2 Caractéristiques de l'adsorption | 48 |
| a. Adsorption physique | 48 |
| b. Adsorption chimique..... | 49 |
| I.4.3 Cinétique d'adsorption | 49 |
| I.4.4 Isothermes d'adsorption | 50 |
| a. Adsorption en phase gazeuse | 50 |
| b. Adsorption en phase liquide | 52 |
| I.4.5 Modèles d'adsorption | 53 |
| a. Modèle d'adsorption de Langmuir | 53 |
| b. Modèle de Freundlich | 54 |
| c. Modèle d'adsorption de Brunauer-Emmett-Teller (B.E.T) | 54 |
| I.4.6 Isotherme d'adsorption à l'interface solide liquide | 55 |
| a. Isotherme d'adsorption à l'interface solide liquide | 55 |
| b. Isotherme d'adsorption sur Solides Poreux | 55 |
| I.4.7 Facteurs influençant le phénomène d'adsorption | 56 |
| a. La température | 56 |
| b. Facteurs caractérisant l'adsorbat | 56 |
| c. Facteurs caractérisant l'adsorbant | 56 |
| I.4.7 L'adsorption avec des matériaux mésoporeux | 57 |
| a. Adsorption de minéraux | 57 |
| b. Adsorption de composés organiques | 59 |
| I.5 Références | 61 |

CHAPITRE II : METHODES PHYSIQUES D'ANALYSE

| | |
|---|-----------|
| II. 1. Diffraction des rayons X (DRX) | 67 |
| II.1.1. Principe | 67 |
| II.1.2. Conditions d'analyse | 67 |
| II.2. Analyse texturale (BET) | 71 |
| II-2-1 Les différents types d'isotherme | 72 |
| II-2-2 Le phénomène d'hystérèse | 74 |
| II-3 Microscopie à balayage électronique | 76 |
| II-4 Spectrométrie d'absorption atomique | 77 |
| II-4-1 Principe | 78 |
| II-4-2 Applications..... | 79 |
| II-4 Références | 81 |

CHAPITRE III : SYNTHES ET CARACTERISATIONS DES MATERIAUX MESOPOREUX

| | |
|--|-----------|
| III.1. Introduction | 82 |
| III.2. Synthèses des matériaux mésoporeux purement siliciques | 82 |
| III.2.1. Synthèse du MCM-41 | 82 |
| III.2.2. Synthèse de CMI-1 | 84 |
| III.2.3. Synthèse de SBA-15 | 85 |
| III.3. Synthèses des matériaux mésoporeux aluminosilicate | 86 |
| III.4. Synthèses des charbons mésoporeux | 88 |
| III.5. Caractérisation | 90 |
| III.5.1. Les matériaux mésoporeux purement siliciques | 90 |
| a. Analyse DRX..... | 90 |
| b. Analyses par microscopie électronique à balayage (MEB)..... | 92 |
| c. Porosimétrie d'adsorption/désorption d'azote | 93 |
| d. Épaisseur des murs silicique..... | 94 |
| III.5.2. Les matériaux mésoporeux aluminosilicate | 94 |
| a. Analyse DRX | 94 |
| b. Porosimétrie d'adsorption/désorption de l'azote | 96 |
| III.5.3. Les charbons mésoporeux | 97 |
| a. Analyse DRX | 97 |

| | | |
|--------------------------------|---|-----|
| b. | Analyses par microscopie électronique à balayage (MEB)..... | 98 |
| c. | Porosimétrie d'adsorption-désorption de l'azote | 99 |
| d. | Epaisseur des murs carbonés | 101 |
| III.6. Conclusion | | 102 |
| III.7. References | | 103 |

CHAPITRE IV : APPLICATION A L'ADSORPTION

| | | |
|---|--|-----|
| IV.1. Introduction | | 104 |
| IV.2. Cinétique d'adsorption | | 104 |
| IV.2.1. Modélisation de la cinétique d'adsorption | | 107 |
| a. | Détermination de l'ordre de réaction | 107 |
| a.1. | Modélisation linéaire | 107 |
| a.2. | Modélisation non-linéaire | 108 |
| b. | Détermination des étapes limitantes..... | 117 |
| IV.3. Isotherme d'adsorption | | 122 |
| IV.3.1. Modélisation des isothermes d'adsorption | | 125 |
| a. | Modèle de Langmuir | 125 |
| a.1. | Modélisation non-linéaire | 125 |
| a.2. | Modélisation linéaire..... | 127 |
| b. | Modèle de Freundlich | 130 |
| a.1. | Modélisation non-linéaire | 130 |
| .2. | Modélisation linéaire..... | 133 |
| IV.4. Conclusion | | 136 |
| IV.5. Références | | 137 |
| CONCLUSION GENERALE | | 138 |
| ANNEXE | | |
| ARTICLE SCIENTIFIQUE | | |