

*RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE*  
*MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE*

*SCIENTIFIQUE*



*UNIVERSITÉ SALAH BOUBNIDER, CONSTANTINE 03*  
*FACULTÉ DE GÉNIE DES PROCÉDÉS*  
*DÉPARTEMENT DE GÉNIE DE L'ENVIRONNEMENT*

N° d'ordre :... ..

Série :... ..

## **Mémoire**

**PRESENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER**  
**EN GÉNIE DES PROCÉDÉS**  
**OPTION : GÉNIE DES PROCÉDÉS DE L'ENVIRONNEMENT**

# **MODÉLISATION DE L'ADSORPTION LINÉAIRE DANS UN MILIEU POREUX NON SATURÉ**

**Présenté par :**

GAMOUH Bahae Etedj Roufeida

SAIDI Rayene

BENABDELKADER Imane

**Dirigé par :**

M<sup>me</sup> KOLLI Mounira

**Grade : MAA**

**Année universitaire**

**2020-2021**

**Session : juillet**

<b>Table des matières</b>	I
<b>Liste de sigle et abréviations</b>	IV
<b>Liste des figures</b>	IX
<b>Liste des tableaux</b>	XI
<b>Introduction générale</b>	1
<b>chapitre I : les milieux poreux</b>	
I.1. introduction .....	3
I.2. Définition des milieux poreux .....	3
I.3. phases des milieux poreux .....	3
I.3.1. phase solide .....	3
I.3.2. phase liquide .....	4
I.3.3. phase gazeuse .....	4
I.4. Propriétés des milieux poreux .....	4
I.4.1. porosité .....	4
I.4.2. tortuosité.....	6
I.4.3. surface spécifique .....	6
I.4.4. perméabilité.....	6
I.4.5. conductivité hydraulique .....	8
I.4.6. volume élémentaire représentatif .....	8
I.4.7. granulométrie .....	9
I.5. loi de darcy .....	9
I.5.1. Définition .....	9
I.5.2. Critiques et limitations de la loi de Darcy .....	11
I.6. écoulement dans les milieux poreux .....	12
I.6.1. Généralité .....	12
I.6.2. type d'écoulement en milieu poreux .....	12
I.6.2.1. Ecoulements en milieux poreux saturés .....	12
I.6.2.2. Ecoulements en milieux poreux non saturés .....	13
I.6.3. Mécanique du transport en milieu poreux .....	13
I.6.3.1. Advection (convection) .....	13
I.6.3.2. Dispersion hydrodynamique .....	14
<b>Chapitre II : L'adsorption</b>	
II.1. Introduction .....	16
II.2. Définition de l'adsorption .....	16
II.3. Mécanisme d'adsorption .....	17
II.4. Types d'adsorption.....	17
II.4.1. Adsorption physique .....	17
II.4.2. Adsorption chimique .....	18
II.5. Application de l'adsorption .....	18
II.6. Définition de l'adsorbant .....	19
II.7. Types d'adsorbants .....	19
II.7.1. charbons actifs .....	19
II.7.2. gels de silice .....	19
II.7.3. argiles activées .....	20
II.7.4. zéolithes .....	20

II.8. différents types d'isothermes et les modèles d'adsorption .....	21
II.8.1. Isotherme linéaire .....	21
II.8.2. Modèle de Langmuir .....	22
II.8.3. Modèle de Freundlich .....	22
II.9. paramètre influençant l'adsorption .....	22
II.9.1. Structure de l'adsorbant .....	22
II.9.2. Nature de l'adsorbat .....	23
II.9.3. Influence de la température.....	23
II.9.4. Influence de pH .....	23
II.9.5. La polarité.....	23
II.10. Courbe de percée .....	23
II.10.1. Utilisation de la courbe de percée .....	24

**Chapitre III : Les méthodes numériques**

III.1. Introduction .....	25
III.2. Méthode des différences finies.....	25
III.2.1. Définition.....	25
III.2.2. Méthodes d'approximation aux différences finies .....	26
III.2.2.1. Discrétisation totale .....	26
III.2.2.2. Semi-discrétisation .....	26
III.2.3. Principe de la méthode .....	26
III.2.4. Avantages et inconvénients de la MDF.....	27
III.2.5. Schémas explicites et implicites .....	28
III.2.5.1. Schéma explicite .....	28
III.2.5.2. Schéma implicite.....	28
III.3. Méthodes des éléments finis.....	29
III.3.1. Définition .....	29
III.3.2. Principe de la méthode des éléments finis .....	29
III.3.3. Les grandes lignes de la MEF .....	29
III.3.4. Avantages et inconvénients de la MEF .....	31
III.4. Méthode des volumes finis .....	32
III.4.1. Définition .....	32
III.4.2. Principe de la méthode des volumes finis .....	33
III.4.3. Avantages et inconvénients de la MVF .....	33

**Chapitre IV: Modélisation et résolution**

IV.1. Introduction .....	34
IV.2. Description du problème .....	34
IV.3. Modèle mathématique du transport de soluté réactif dans un milieu poreux non saturé .....	34
IV.3.1. hypothèses simplificatrice .....	35
IV.3.2. Modèle mathématique du transport de soluté réactif en milieu poreux non saturé.....	35
IV.3.3. Résolution numérique du modèle MIM .....	39
IV.3.3.1. Discrétisation du domaine .....	39
IV.3.3. Résolution du modèle MIM .....	40
IV.3.3.1. Résolution de l'équation du transport dans la fraction mobile .....	40
IV.3.3.2. Résolution de l'équation du transport dans la fraction immobile .....	42

IV.4. Organigramme de résolution du modèle MIM .....	43
<b>Chapitre V : Résultats et discussions</b>	
V.1. Introduction .....	45
V.2. Résultats et discussions .....	46
V.2.1. Fronts de concentration dans le lit à une abscisse fixe .....	46
V.2.2. Profil de concentration (onde d'adsorption) dans le lit à un temps fixe .....	46
V.2.3. Etude de la sensibilité des paramètres du modèle MIM .....	47
V.2.3.1. Effet de la fraction d'eau mobile sur l'allure des courbes simulée .....	48
V.2.3.2. Effet du coefficient de dispersion sur l'allure des courbes simulées .....	48
V.2.3.3. Effet du coefficient cinétique d'échange sur l'allure des courbes simulées .....	49
V.2.3.4. Effet de la fraction des sites réactifs en contact de l'eau mobile sur l'allure des courbes simulées .....	50
V.2.4. Comparaison entre les courbes de percée du 9-ACA en milieu saturé et non saturé.....	51
<b>Conclusion générale</b>	<b>53</b>
<b>Référence bibliographique</b>	

## ملخص:

يهدف هذا العمل إلى نمذجة الآليات الفيزيو-كيميائية الناتجة عن تدفقات و نقل المواد التفاعلية في وسط مسامي غير مشبع، وقد تم نمذجة هذه الظاهرة باستخدام نموذج متحرك ثابت، MIM. حيث يكون حل هذا النموذج باستخدام طريقة الفروق المحدودة والمخطط الصريح والضمني. الذي يسمح لنا بإعادة إنتاج منحنيات الاختراق على وسط مسامي غير مشبع. تمت دراسة تأثير بعض المتغيرات على التشتت عددياً من خلال تنفيذ مجموعة من المتغيرات على بعض العوامل.

لقد أظهرنا تأثير وجود المناطق الثابتة على التشتت من خلال مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الحالة مع تلك التي تم الحصول عليها في حالة وسائط مشبعة، حيث لوحظ وجود امتصاص قوى في ظل الظروف الغير المشبعة، مما أدى إلى انخفاض تعبئة هذه المواد المذابة .

**الكلمات المفتاحية:** وسط مسامي غير مشبع، إمتزاز، نموذج متحرك ثابت، طريقة الفروق المحدودة.

## Résumé

Ce travail a pour objectif de modéliser les mécanismes physico-chimiques régissant les écoulements et les transferts de solutés réactifs dans un milieu poreux non saturé. Ce phénomène a été modélisé en utilisant le modèle mobile immobile, MIM. Ce modèle a été résolu en utilisant la méthode des différences finies et le schéma explicite et celui implicite. Il permet de reproduire les courbes de percée simulées sur le milieu poreux non saturé. L'étude de l'influence de certains paramètres sur la dispersion a été étudiée numériquement en réalisant un jeu de paramètres.

Nous avons mis en évidence un effet de la présence des zones immobiles sur la dispersion en comparant les résultats obtenus dans ce cas avec ceux obtenus dans le cas des milieux saturés. Une plus forte sorption a été observée en conditions non saturées, conduisant donc à une plus faible mobilisation de ces solutés.

**Mots clés :** Milieu poreux non saturé, Adsorption, Modèle mobile immobile, Méthode des différences finies.