

**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 D'UN DIPLOME DE MASTER**  
**EN GÉNIE DES PROCÉDÉS**  
**OPTION : GÉNIE DES PROCÉDÉS DE L'ENVIRONNEMENT**

**SIMULATION DU TRANSPORT DE SOLUTE**  
**INERTE DANS UN MILIEU POREUX AVEC LA**  
**PRESENCE DES ZONES MOBILES ET IMMOBILES**

**Présenté par :**

**HADJI Ayoub**

**KORICHI Anis**

**Dirigé par :**

**M<sup>me</sup> KOLLI Mounira**

**Grade : MAA**

**Année universitaire**

**2019-2020**

**Session : Septembre**

---

<b>Table des matières</b>	<b>I</b>
<b>Liste des sigles et abréviations</b>	<b>IV</b>
<b>Liste des figures et tableaux</b>	<b>VII</b>
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b>	<b>1</b>

## **CHAPITRE I : LES MILIEUX POREUX**

I.1. Introduction .....	3
I.2. Le milieu poreux.....	3
I.3. Propriétés du milieu poreux.....	3
I.3.1. Volume élémentaire représentatif .....	4
I.3.2. La porosité.....	4
I.3.3. La tortuosité.....	5
I.3.4. Surface spécifique .....	5
I.3.5. La granulométrie .....	6
I.3.6. La perméabilité.....	7
I.4. Loi de Darcy .....	8
I.5. L'eau en milieu poreux.....	11
I.6. Le transport en milieu poreux.....	12
I.6.1. La convection .....	12
I.6.2. La diffusion moléculaire .....	13
I.6.3. Dispersion mécanique .....	13
I.6.4. Dispersion hydrodynamique .....	14
I.7. Courbe de percée .....	15

## **CHAPITRE II: MÉTHODES NUMÉRIQUES**

II.1. Introduction .....	16
II.2. Méthodes de résolution.....	17
II.2.1. Méthode des différences finies.....	17
II.2.1.1. Définition .....	17
II.2.1.2. Principe de la méthode.....	17
II.2.1.3. Les avantages et les inconvénients de la méthode des différences finies ...	18

II.2.2.	Méthode des éléments finis .....	18
II.2.2.1.	Définition .....	18
II.2.2.2.	Principe de la méthode .....	19
II.2.2.3.	Les grandes lignes de la méthode .....	19
II.2.2.4.	Les avantages et les inconvénients de la MEF .....	21
II.2.3.	Méthode des volumes finis .....	21
II.2.3.1.	Définition .....	21
II.2.3.2.	Principe de la méthode .....	22
II.2.3.3.	Les étapes de la méthode .....	22
II.2.3.4.	Les avantages et les inconvénients de la MVF .....	22
II.3.	Rappels sur le langage de programmation Fortran .....	23
II.3.1.	Fortran .....	23
II.3.2.	Les étapes de mise en œuvre d'un programme .....	24
II.3.3.	Avantages et inconvénients .....	24
II.3.3.1.	Avantages du langage Fortran .....	24
II.3.3.2.	Inconvénients du langage Fortran .....	25

## **CHAPITRE III: MODÉLISATION ET RÉOLUTION**

III.1.	Introduction .....	26
III.2.	Description du problème .....	26
III.3.	Modèle mathématique du transport de soluté inerte dans un milieu poreux non saturé ...	26
III.3.1.	Les hypothèses .....	27
III.3.2.	Bilan du modèle mathématique MIM .....	27
III.3.2.1.	Bilan de matière dans la fraction d'eau mobile : .....	28
III.3.2.2.	Bilan de matière dans la fraction immobile .....	30
III.4.	Résolution numérique du modèle MIM .....	31
III.4.1.	Discrétisation du domaine .....	31
III.4.1.1.	Discrétisation suivant la position .....	31
III.4.1.2.	Discrétisation suivant le temps .....	32
III.4.2.	Résolution du modèle MIM .....	32
III.4.2.1.	Résolution de l'équation du transport dans la fraction immobile .....	32
III.4.2.2.	Résolution de l'équation du transport dans la fraction mobile .....	34

**CHAPITRE IV: RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

IV.1. Introduction.....	37
IV.2. Résultats et discussions.....	38
IV.2.1. Profil des concentrations à une position fixe .....	38
IV.2.2. Profil des concentrations à un temps fixe.....	39
IV.2.3. Etude de la sensibilité des paramètres du modèle MIM.....	39
IV.2.3.1. Effet de la fraction d'eau mobile sur l'allure des courbes simulées .....	40
IV.2.3.2. Effet du coefficient cinétique d'échange sur l'allure des courbes simulées .....	42
IV.2.3.3. Effet du coefficient de dispersion sur l'allure des courbes simulées .....	44
IV.3. Conclusion .....	46
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE</b>	<b>47</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>48</b>

### Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail est de résoudre le modèle MIM décrivant le transport d'un soluté inerte dans un milieu poreux non saturé, à double porosité, et d'étudier l'effet de certains paramètres caractérisant ce modèle sur l'allure des courbes de percée. Ce modèle suppose que l'écoulement du soluté inerte dans le milieu poreux n'est pas homogène et qu'une partie d'eau ne participe pas à l'écoulement. La résolution numérique du modèle MIM a été faite par la méthode de Runge Kutta, pour la deuxième équation, et la méthode des différences finies, pour la première équation. Les concentrations réduites simulées ont été calculées à l'aide d'un programme développé en langage Fortran 90. L'exécution de ce programme permet de tracer les courbes de percée simulées à des temps et des espaces différents.

La résolution numérique du modèle MIM a conduit aux conclusions suivantes:

- L'existence d'un échange du soluté entre les zones de fluide mobile et les zones de fluide immobile conduit à des courbes de percée non symétriques.
- La fraction d'eau mobile a un effet important sur le temps d'apparition du soluté.
- Le coefficient cinétique d'échange influe sur les pentes des queues des courbes.
- Le coefficient de dispersion agit principalement sur la pente des montées des courbes.
- Ces trois paramètres ont des effets bien distincts sur l'allure des courbes simulées,
- Pour des valeurs des  $f$  élevées, les sensibilités de  $f$  et  $\alpha$  sur l'allure des courbes de percée sont faibles.
- Seul le coefficient de dispersion contrôle l'allure des courbes de percée pour des valeurs des  $f$  élevées.
- La comparaison entre les résultats numériques et théoriques nous permet de valider notre programme développé.