

Ministère de l'enseignement supérieure
et de la recherche scientifique



UNIVERSITE DE M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département d'hydraulique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme
MASTER

FILIERE : HYDRAULIQUE

Option : Ouvrages Hydrauliques et Aménagement

THEME

*Simulation de la pollution dans un milieu
poreux : Application pour la nappe
alluviale du Sebaou-Tizi Ouzou*

Dirigé par :
Mr. IKNI TAHAR

Présenté par :
BOUHAFS ABDERRAHIM

Promotion : 2012/2013.

Sommaire

Introduction générale	1
 CHAPITRE I : L'écoulement souterrain	
Introduction	2
I .1. Les défis.....	2
I .2. Que faut-il entendre par eaux souterraines ?.....	3
I.2.1. Définitions	3
I.2.1.1. Eaux souterraines	3
I.2.1.2. Cycle de l'eau	3
I.2.1.3. Sources	3
I.3. Les réserves d'eau douce de la planète	4
I.4. L'eau souterraine dans les roches	5
I.4.1. Les pores	5
I.4.2. Les fissures	5
I.4.3. Les cavités	5
I .5. Classification de l'eau interstitielle	6
I .5.1. Eau gravitaire	6
I .5.2. Eau de rétention	7
I .5.3. Eau capillaire	7
I .6. Milieu hydraulique souterraine	7
I .6.1. L'aquifère	7
I .6.1.1. Qu'est-ce qu'un aquifère ?	7
I .6.1.2. Zone non saturée	8
I .6.1.3. Zone saturée	9
I .6.2. Couche de confinement	9
I .6.2.1. Aquifuge	9
I .6.2.2. Aquiclude	10
I .6.2.3. Aquitarde	10
I .6.3. Les principaux types de nappes souterraines	10
I .6.3.1. Les nappes phréatiques	10
I .6.3.2. Les nappes profondes.....	10
I .6.4. Comment détecter la présence d'une nappe et la caractériser ?	11
I .6.5. Condition aux limites de la nappe	12
I .6.6. Caractéristiques hydrodynamiques des formations aquifères	12
I .6.6.1. La conductivité hydraulique	13
I .6.6.2. Transmissivité	17
I .6.6.3. Coefficient d'emmagasinement	17
I.7. Milieu poreux (lieu d'écoulement)	18
I.7.1. Propriétés du milieu poreux	18
I.7.2. L'analyse texturale	18
I.7.2. L'analyse texturale	19
I.7.3. Caractéristique physique du milieu poreux	21
I.7.3.1. Masse volumique sèche	22
I.7.3.2. Notion de porosité / Définitions	22
I.7.3.3. Degré de saturation S_r	25
I.7.3.4. Teneur en eau (volumique) θ	25

I.7.3.5. Le potentiel de pression	26
I.7.3.6. Les paramètres dérivés (La capacité de rétention, la diffusivité hydraulique)	27
I.7.4. Homogénéité-hétérogénéité, isotropie-anisotropie et continuité-discontinuité	28
I.8. Écoulement dans un milieu poreux continu	28
I.8.1. Viscosité de l'eau	28
I.8.1.1. Viscosité dynamique	29
I.8.1.2. Viscosité cinématique	29
I.8.2. Charge hydraulique	29
I. 8.2.1 Perte de charge	30
I.8.3. Le gradient hydraulique	30
I.8.4. Équations de l'écoulement permanent (plan)	32
I.8.4.1. Hypothèses lors de l'étude de l'écoulement de l'eau dans les sols	32
I.8.4.2. l'écoulement dans un milieu poreux saturé	32
I.8.4.3. l'écoulement dans un milieu poreux non saturé	38
I.8.5. Équations de l'écoulement non permanent (transitoire)	38
I.8.5.1. L'équation de continuité en milieu poreux saturée	38
I.8.5.2. L'équation générale de l'écoulement plan	38
Conclusion	39

Chapitre II : Pollution des eaux souterraines

Introduction	40
II.1 Propriétés de l'eau	40
II.1.1. Propriétés physiques	40
II.1.1.1. La température d'ébullition	41
II.1.1.2. La masse volumique	41
II.1.1.3. la viscosité	41
II.1.1.4. La tension superficielle	41
II.1.1.5. La conductivité électrique	41
II.1.2. Propriétés chimiques de l'eau	41
II.1.3. Propriétés biologiques de l'eau	42
II.2. Ressources hydriques naturelles	42
II.2.1. Eaux souterraine	42
II.2.2. Eaux de surface	43
II.2.3. Eaux de mers et océans	44
II.3. Pollution des eaux	44
II.3.1. Origine de la pollution	44
II.3.1.1. L'industrie	44
II.3.1.2. L'agriculture	44
II.3.1.3. Pollution domestique	44
II.3.1.4. Pollution par les eaux pluviales	45
II. 3.1.5. Pollution d'origine naturelle	45
II.3.1.6. Pollution par les substances associées au traitement de l'eau	45
II.3.2. Les principaux polluants des eaux naturelles	46
II.3.2.1. Polluants physiques	46
II.3.2.2. polluants chimiques	47
II.3.2.3. polluants microbiologiques	49
II.4. Principaux types de pollution	49
II.4.1. Pollution temporaire et pollution chronique	49
II.4.2. Pollution ponctuelle et pollution diffuse	49
II.4.3. Pollution linéaire	50
II.4.4. Pollutions historiques	50

II.5. Risque de pollution des eaux souterraines	50
II.5.1. Vitesse d'infiltration	50
II.5.2. Effets de la pollution sur la santé humaine	51
II.5.2.1. Calcium et Magnésium	51
II.5.2.2. Sodium et potassium	51
II.5.2.3. Le sulfate	51
II.5.2.4. Le chlorure	51
II.5.2.5. Le nitrate	51
II.5.2.6. L'ammonium	52
II.6. Mécanismes régissant le transport en milieu poreux	52
II.6.1. Transport en milieu poreux	52
II.6.2. Processus de transport	53
II.6.2.1. Convection	53
II.6.2.2. Dispersion hydrodynamique	53
II.6.3. L'équation de convection-dispersion classique, CDE	56
II.6.3.1. Relation advection/dispersion	58
Conclusion	59

Chapitre III : Logiciel Comsol et méthode éléments finis

Introduction	60
III.1. Qu'est-ce qu'un modèle?	60
III.1. Qu'est-ce qu'un modèle?.....	60
III.2. Pourquoi faut-il modéliser	60
III.3. Les différentes étapes pour modéliser un système complexe	61
III.4. Processus d'analyse	61
III.5. Principales méthodes numériques	63
III.6. Les trois grandes familles des méthodes	64
III.6.1. Les différences finies	64
III.6.2. Les volumes finis	64
III.6.3. Les éléments finis	65
III.6.3.1. Généralités	65
III.6.3.2. Fondation de la méthode des éléments finis	67
III.6.3.3. Démarche éléments finis	68
III.7. Consistance, Convergence et Stabilité	72
III.8. Utilisation d'un logiciel éléments finis	73
III.8.1. Déroulement d'une étude	73
III.8.1.1. Analyse du problème	73
III.8.1.2. Choix du modèle	74
III.8.1.3. Choix du type d'éléments	74
III.8.1.4. Choix du maillage	74
III.8.1.5. Hypothèses de comportement	74
III.9. Modèle d'écoulement souterrain	77
III.10. Logiciel de simulation	78
III.10.1. COMSOL Multiphysics (FEMLAB)	78
III.10.2. Application de Comsol à d'autres problèmes	80
III.10.3. Logiciel commercial COMSOL Multiphysics	80
III.10.4. Méthodologie logiciel Comsol Multiphysics 3.5	81
III.10.4.1. généralité	81
III.10.4.2. L'interface graphique (le navigateur de modèle)	82
III.10.4.3. Modélisation à l'aide du Graphical User Interface	83
III.10.4.4. Dessin de la Géométrie	84

III.10.4.5. Modélisation de la physique et des équations	85
III.10.4.6. Variable et expression	85
III.10.4.7. Constantes	86
III.10.4.8. Expression des Variables	86
III.10.4.9. Variable de Couplage	86
III.10.4.10. Bibliothèque des coefficients/matériaux	87
III.10.4.11. Introduction des propriétés des domaines et sous-domaine	87
III.10.4.12. Introduction des conditions aux limites	88
III.10.4.13. Création de maille ou maillage	89
III.10.4.14. Eléments de Maille	89
III.10.4.15. Création de mailles libres	90
III.10.4.16. Les paramètres globaux	90
III.10.4.17. Résolution du problème	91
III.10.4.18. Sélection du type d'analyse	91
III.10.4.19. Progression de la résolution	92
Conclusion	93

Chapitre IV : Simulation numérique

Introduction	94
IV.1. Procédure de calcul et d'analyse des résultats	94
IV.2. Simulation numérique	94
IV.2.1. Présentation du cas étudié (cas d'une pollution ponctuelle)	94
IV.2.1.1. Hypothèses de calcul	95
IV.2.1.2. Conditions initiales et limites	95
IV.2.1.3. Maillage d'éléments finis	96
IV.2.1.4. Présentation de l'étude	96
IV.2.1.5. Présentation des résultats	98
IV.2.2. Présentation du cas étudié (cas d'une pollution ponctuelle et répartie)	103
IV.2.2.1 Cas d'une pollution ponctuelle	104
IV.2.2.2. Cas d'une pollution répartie	109
IV.2.2. 3. Interprétation	114
Conclusion	114

Chapitre V : Simulation de la pollution de la nappe alluviale « Sébaou »

Introduction	116
V.1. Situation géographique de la région d'étude	116
V.2. Les paramètres physiques et géomorphologiques du bassin versant du Sébaou	118
V.2.1. Paramètres géométriques	118
V.2.2. Les paramètres de forme	119
V.2.2.1. Indice de compacité de Gravelius (KC)	119
V.2.2.2. Dimensions du rectangle équivalent	119
V.3. Contexte Géologique	120
V.3.1. Les alluvions du Sébaou	120
V.4. simulation pollution des eaux souterraine d'une nappe alluviale de Sébaou	120
V.4.1. Présentation du domaine à modéliser	121
V.4.2. Conditions imposées aux limites du domaine	121
V.4.3. Les conditions aux limites	121
V.4.4. Les puits de pompage et les forages d'observations	122
V.4.5. Simulation d'écoulement souterraine en régime permanent	123

V.4.6. Scénario pollution des eaux souterraine	124
V.4.6.1. Pollution ponctuelle (cas d'un rejet industriel)	124
V.4.6.2. Présentation des résultats	125
Conclusion	127
Conclusion générale	128

Introduction

Général

Résumé :

L'objectif de cette étude est axé sur l'étude du transport de pollution des sols. Ce travail s'inscrit dans le cadre de la lutte contre la pollution des sols et des souterrains. Pour cela nous avons utilisé un logiciel (COMSOL Multiphysics 3.5), pour simuler la propagation de la pollution souterraine. Nous étudions comment elle se propage dans le milieu poreux saturé, ainsi nous pouvons finalement envisager une protection de l'eau pompée. Plusieurs scénarios sont étudiés :

- Cas d'une pollution ponctuelle.
- Cas d'une pollution répartie.
- Cas d'une pollution ponctuelle de la nappe alluviale " Sébaou

ملخص:

الهدف من هذه الدراسة يتمحور على دراسة تنقل الملوثات في الأراضي , هذا عمل مسجل في إطار الكفاح ضد التلوث للأراضي و المياه الجوفية , من أجل ذلك نستعمل لوجي سيال (COMSOL Multiphysics 3.5) لمحاكاة انتشار التلوث تحت الأرض , ندرس كيف ينتشر في الوسط المسامي المشبع , حتى نتمكن أخيرا من نظر حماية للمياه التي يتم ضخها.

عدة سيناريوهات مدروسة:

- حالة تلوث دقيق.
- حالة تلوث موزع.
- حالة وجود مصدر نقطة من طبقة المياه الجوفية الغرينية "سيباؤو".