



UNIVERSITE DE M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département de Génie civil et d'Hydraulique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté pour l'obtention du diplôme

DE MASTER

FILIERE : HYDRAULIQUE

Option : Ouvrages Hydrauliques et Aménagement

THEME

**Modélisation et simulation de la pollution dans une nappe
phréatique**

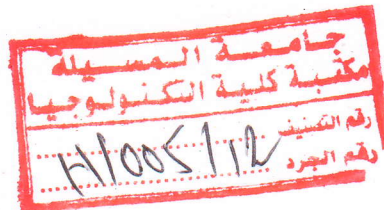
Dirigé par :

Mr. B. MERZOUK

Mr. T. IKNI

Présenté par :

Mr. BOUSSAKRA Khaled



Promotion: Juin 2012

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I: Généralités sur la pollution des eaux

I.1. Introduction.....	1
I.2. Pollution des sols et des nappes	2
I.3. Paramètres de qualité des eaux souterraines.....	3
I.3.1. Principaux paramètres de potabilité	3
1.La dureté	4
2. Le Ph.	4
3. La turbidité	4
4.Les sulfates.....	5
5. Le Fer	5
6. Le Manganèse.....	5
7. Le Fluor	5
I.3.2. Critères d'évaluation de la pollution	6
a) -Critères relatifs à la surface du sol.....	6
b) -Critères relatifs au sol.....	6
c)- Critères relatifs à la zone non saturée (zns)	6
d)- Critères relatifs à la nature de la zone saturée (aquifère).....	6
I.4. Principaux types et origines des pollutions.....	7
I.4.1. Types de pollution.....	7
1) Pollution temporaire et pollution chronique	7
2) Pollution ponctuelle et pollution diffuse	7

2) Pollution ponctuelle et pollution diffuse	7
3) Pollution linéaire	7
4) Pollutions historiques.....	7
I.4.2. Origine de la pollution des eaux	8
1) Pollution d'origine humaine.....	8
a) Les activités domestiques.....	8
b) Les activités industrielles	8
c) Les activités agricoles	9
I.5. Caractère des polluants.....	9
I.5.1. Solubilité aqueuse.....	9
I.5.2. Tension de vapeur.....	10
I.5.3. Adsorption.....	10
I.5.4. Biodégradabilité.....	11
I.6. Principaux types de polluants.....	11
I.6.1. Les polluants physiques.....	11
1) la chaleur.....	11
2) Les matières solides en suspension	11
3) La radioactivité	11
I. 6.2. Polluants chimiques.....	12
1) Les micropolluants métalliques.....	12
2) Autres substances minérales.....	12
3) Les détergents (tensioactifs).....	12
4) Les pesticides.....	12
I.6.3. Les pollutions microbiologiques.....	14
I.6.4. Les polluants organiques et les microorganismes.....	14
I.7. Transfert et évolution des polluants.....	14

I.7.1. Transfert dans le sol.....	15
I.7.2. Transfert dans la zone non saturée.....	16
I.7.3. Evolution en milieu saturé.....	16
I.7.3. Evolution en milieu saturé.....	17
I.8. Protection des eaux souterraines contre les pollutions.....	18
I.8.1. Les défenses naturelles contre les pollutions.....	18
1) Rôle du sol	18
2) Rôle du couvert végétal.....	18
3) Rôle protecteur des berges des cours d'eau.....	19
4) Autoépuration biologique des eaux souterraines.....	19
I.8.2. Protection des nappes contre les pollutions.....	20
1) Le périmètre de protection immédiate	20
2) Le périmètre de protection rapprochée	20
3) Le périmètre de protection éloignée.....	21
I.9. Conclusion.....	21

Chapitre II: Modélisation de la propagation des polluants

II.1. Introduction.....	22
II.2. Caractéristiques du milieu poreux.....	22
II.2.1. Caractéristiques du milieu poreux saturé.....	22
1) Porosité.....	22
2) Coefficient de saturation (S_r).....	22
3) Perméabilité.....	22
II.2.2. Caractéristiques physiques des milieux poreux.....	23
1) L'analyse granulométrique.....	23

II.3.4. Caractéristique physique du milieu perméable.....	31
a) Continuité ou discontinuité.....	31
b) Isotropie ou anisotropie.....	32
c) Homogénéité ou hétérogénéité.....	32
II.3.5. Caractéristiques des fluides.....	32
1) La viscosité.....	32
2) La masse volumique, la compressibilité et l'équation d'état.....	33
II.4. Emmagasinement spécifique.....	35
II.5. Perméabilité et transmissivité.....	36
II.5.1. Perméabilité (K en m/s).....	36
II.5.2. La transmissivité (T en m ² /s).....	36
II.6. Modèle théorique	38
II.6.1. Ecoulement	38
1) La loi de Darcy.....	38
a) Darcy 1856.....	38
b) Equation de l'écoulement.....	38
II.6.2. Equation de transport.....	41
1) Régimes de dispersion.....	42
2) Perte de polluant	43
II.6.3. Conditions aux limites.....	44
1) Conditions de Dirichlet	44
2) Conditions de Neumann	44
II.7. Conclusion.....	44

Chapitre III : Méthodes numériques

III.1. Introduction.....	45
III.2. Les différentes étapes pour modéliser numériquement un système complexe	45
III.3. Passage d'un problème continu au problème discret.....	45
III.3.1. Les volumes finis.....	45
III.3.2. Les éléments finis.....	46
a) Définition.....	46
b) Principe général de la méthode des éléments finis.....	46
III.3.3. Les différences finies.....	46
1) Discrétisation du domaine.....	47
3) L'approximation des dérivées.....	49
a) Approximation de la dérivée première $\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)$ (maillage régulier)	49
b) Approximation de la dérivée seconde $\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}\right)$ (maillage régulier)	4
c) Approximation de la dérivée seconde croisée $\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}\right)$	50
d) Approximation de la dérivée par rapport au temps.....	50
III.4. Convergence d'un schéma.....	50
III.4.1. Les schémas explicites et implicites.....	51
1) Schémas explicites.....	51
2) Schémas implicites.....	51
III.4.2. Comparaison des schémas implicites et explicite.....	51
III.5. Schémas aux différences finies fréquemment utilisés.....	52
III.5.1. Schéma de Mac-Cormack.....	52
III.5.2. Schéma de lambda.....	52
III.5.3. Schéma de Runge-Kutta (ordre 4).....	53

III.6. Conclusion.....	54
------------------------	----

chapitre IV : Résolution des équations d'écoulement et du transport

IV.1. Introduction.....	55
IV .2. Résolution des équations d'écoulement et du transport.....	55
IV.2.1. L'équation de l'écoulement.....	55
1) Modèle mathématique de l'écoulement souterrain.....	55
a) En régime transitoire.....	55
b) En régime permanent	56
2) Application de la méthode de Runge - Kutta	56
IV.2.2. L'équation de transport du polluant.....	57
1) Modèle mathématique du transport.....	57
a) En régime transitoire	57
B) Application de la méthode de Runge - Kutta	58
IV.3. Conditions initiales - conditions aux limites.....	60
IV.3.1. Conditions initiales	60
IV.3.2. Conditions aux limites.....	60
IV.4. Conditions sur les parois solides	60
a) Procédure de réflexion	60
b) Conditions sur les parois solides (les cotés latéraux).....	60
c) Conditions sur les parois solides amont et aval (problème Dirichlet).....	61
IV.5. Structure du programme élaboré	61
IV.5.1. Organigramme de calcul.....	62

IV.6. Conclusion..... 64

chapitre V : Résultats et interprétation

V.1. Introduction..... 65

V.2. Etude du phénomène de transport par dispersion dans le cas d'une pollution ponctuelle..... 65

 V.2.1. Maillage du milieu..... 65

 V.2.2. Conditions aux limites et initiales..... 65

 V.2.3. Etude de l'écoulement..... 66

 V.2.4. Etude du transport..... 66

 V.2.5. Interprétation..... 67

 V.2.6. Maillage de la nappe..... 68

 V.2.7. Conditions aux limites et initiales..... 68

 V.2.8. Etude de l'écoulement..... 68

 V.2.9. Etude du transport..... 68

 a) Pollution ponctuelle..... 69

 b) pollution repartie..... 71

V.3. Conclusion..... 73

Résumé

La pollution de l'environnement est l'un des grands fléaux du XX^{ème} siècle qui résulte du développement industriel. L'un des secteurs les plus sensibles à ce fléau est l'eau souterraine. La pollution de celle-ci est le risque permanent de limitation de la ressource en eau dans un proche avenir. Le phénomène de pollution des eaux souterraines est régi par des processus liés entre eux :

- Ecoulement de l'eau dans un milieu poreux;
- Transport de soluté.

La complexité de ces processus dépend de facteurs hydrogéologiques du milieu, de la non-uniformité de l'écoulement, de l'interaction physico-chimique entre le soluté et la matrice poreuse et du mécanisme de propagation du soluté. Un modèle mathématique régissant un pareil phénomène est basé sur plusieurs équations décrivant chacune un processus donné.

Mots clés : Eaux souterraines, écoulement, transport, polluant, modèle, différences finies.

ملخص

التلوث البيئي هو واحد من اكبر المشاكل في القرن العشرين نتيجة للتنمية الصناعية واحده من أكثر حساسية لهذه المشكلة هي المياه الجوفية والتلوث خطر مستمر مما يحد من موارد المياه في المستقبل القريب وتخضع ظاهرة تلوث المياه الجوفية لعمليات مترابطة تتمثل في تدفق المياه في وسط مسامي نقل المذاب.

وتعقيد هذه العمليات في وسط متماثل التدفق يعتمد على عوامل هيدرولوجية تتمثل في نشر آلية من التفاعلات الكيميائية و الفيزيائية بين المذاب ومصفوفة مسامية وفي هذا الإطار نقتراح نموذج رياضي ينضم مثل هذه الظاهرة استناد إلى عدة معادلات تصف كل منها عملية معينة

الكلمات المفتاحية المياه الجوفية, تدفق, نقل الملوثات, النموذج, الفرق النهائي