



Ministère de l'enseignement supérieure
et de la recherche scientifique

UNIVERSITE DE M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département de génie civil et d'hydraulique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme
MASTER

FILIERE : HYDRAULIQUE

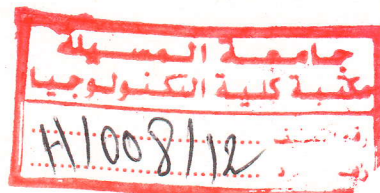
Option : Ouvrages Hydrauliques et Aménagement

THEME

*Simulation numérique de la recharge
artificielle
d'une nappe souterraine*

Dirigé par :
Mr.M.HAMIDOU

Présenté par :
BENABDERRAHMANE ADEL



Promotion : 2011/2012.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : L'ECOULEMENT SOUTERRAIN	
Introduction.....	2
I.1. Différents types d'eau dans une roche.....	2
I.1. 1.Eau gravitaire et eau de rétention.....	2
I.2. Le milieu souterrain	3
I .2.1. Nappes et aquifère.....	3
a-Un aquifère.....	3
b- Nappe d'eau souterraine	3
c-Nappe phréatique.....	3
I.2.2. Classification des aquifères:.....	4
a- Classification selon des critères lithologiques	4
b- Classification selon des critères piézométriques.....	5
I.2.3. Une nappe artésienne.....	6
I.3. Puits d'observation et piézomètre	7
I.3.1. Puits d'observation	7
I.3.2. Piézomètre.....	7
I.3.3. La surface piézométrique	7
I.4. Propriétés hydrauliques des aquifères	8
I.4.1. Conductivité hydraulique	8
a. Notion de perméabilité.....	8
I .4.2.Transmissivité	9
I .4.3.Coefficient d'emmagasinement	9
I .4.4.Porosité totale	10
I .4.5.Porosité efficace	10
I .5. Mesure de la perméabilité.....	11
I .5.1. Mesure de la perméabilité en laboratoire	11
I .5.2.Perméabilité des terrains stratifiés	12
I .5.3.Mesure de la perméabilité in- situ :.....	13
a- Essai de pompage.....	14
I .6. Caractéristique physique du milieu perméable.....	14
I .6.1. Continuité ou discontinuité.....	14
I .6.2. Isotropie ou anisotropie	14
I .6.3. Homogénéité ou hétérogénéité	14
I .7. Éléments d'hydraulique souterraine	14
I .7. 1. Hypothèses lors de l'étude de l'écoulement de l'eau dans les sols.....	15
I .7. 2. Condition de continuité.....	15
I .7. 3. Vitesse de l'eau dans le sol	15
I .8. Charge hydraulique	16
I .8.1. Notion de perte de charge.....	16
I .9. Le gradient hydraulique.....	17
I.10. Types d'écoulement	18
I.10.1. Écoulement permanent et écoulement transitoire.....	18
I.11. La loi de Darcy.....	19
I.11.1. Expérience de Darcy.....	19
I.11.2. Généralisation de la loi de Darcy.....	20

a- Milieu homogène et isotrope	20
b- Milieu homogène et anisotrope	20
I.15. Écoulements tridimensionnels à symétrie de révolution Hydraulique des puits.....	21
I.15.1. Équation de l'écoulement.....	21
a- Régime transitoire.....	21
b- Régime permanent.....	21
I.15.2. Hypothèses de calcul (en régime permanent)	21
I.15. 3. Pompage en régime permanent (formule de Dupuit)	22
I.15.4. Puits dans une nappe libre.....	22
a- Equation de la surface libre.....	23
I.15.5. Puits dans une nappe captive.....	23
Conclusion	24

CHAPITRE II : LA RECHARGE DES NAPPES

Introduction.....	25
II.1.Types de recharge.....	25
II.1.1.Recharge naturelle des nappes d'eau souterraines.....	25
a- La recharge directe.....	26
b- La recharge indirecte.....	26
c- La drainance.....	27
d- Alimentations diverses.....	27
II.1.2.La recharge artificielle des aquifères.....	27
a- Définition.....	27
b- Objectifs de la recharge artificielles des nappes.....	27
c- Inconvénients de la recharge artificielle des nappes.....	27
d- Moyens de recharge artificielles des nappes.....	28
e- Le choix des différents moyens utilisé pour la recharge artificielle.....	29
f- Description de quelques méthodes de recharge artificielle.....	29
II.2.Méthodes d'estimation de la recharge des nappes.....	30
II.2.1.Méthode du bilan hydrologique.....	30
II.2.2.Techniques géochimiques.....	30
II.2.3.Méthode hydrodynamique.....	30
II.2.4.L'estimation de la recharge par des modèles numériques.....	30
Conclusion.....	31

CHAPITRE III: MODELE MATHEMATIQUE

Introduction.....	32
III.1 Ecoulement en milieu poreux, modèle de nappe libre, formulation 2-D par intégration verticale.....	32
III.1 .1.Modèle théorique, 3-D, isotrope.....	32
a- Loi de Darcy	32
b-Conservation de la masse d'un fluide incompressible.....	33
c- Equation de base	33
III.2.Intégration verticale, formulation en valeur moyenne sur la verticale.....	33
III.2.1.Définition des moyennes.....	33
III.2.2.Intégration verticale.....	34
III.2.3.Condition aux limites en z	34
III.3. Condition aux limites	37
III.3.1. Dirichlet (Valeurs imposées).....	37

III.3.2. Conditions de flux	38
III.4. Les conditions initiales.....	38
III.5. Termes de source	38

CHAPITRE IV: DISCRETISATION PAR LA METHODE DIFFERENCES FINIES

Introduction.....	40
IV.1 Discretisation par la méthode des différences finies.....	41
IV.1.1 Discretisation du domaine géométrique.....	41
a- Equation différentielle concernant une fonction d'une variable.....	41
b- Equation différentielle concernant une fonction de deux variables.....	42
c- Les conditions aux limites.....	43
IV.1.2.L'approximation des dérivées partielles	43
a- Approximation de la dérivée premier $\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)$ et $\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)$	44
b- Approximation de la dérivée seconde $\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}\right)$ et $\left(\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}\right)$	44
c- Approximation de la dérivée par rapport au temps.....	45
IV.1.3. Problème transitoire (schémas explicite/implicite)	45
a- Les schémas à un pas.....	45
b- Le schéma d'Euler explicite.....	46
c- Le schéma d'Euler implicite.....	46
IV.1.4. Convergence et stabilité d'un schéma.....	46
IV.1.5. Schémas aux différences finis fréquemment utilisés.....	46
a- Schéma Runge-Kutta d'ordre 4.....	47
IV.2. Discretisation du modèle mathématique.....	48
IV.2.1. Discretisation de la géométrie de la nappe.....	48
IV.2.2. Discretisation du modèle transitoire	49
IV.2.3. Discretisation du modèle permanent.....	50
IV.2.4. Application de la méthode de Runge-Kutta	50
IV.2.5. Les conditions aux limites et initiales.....	52
IV.3. Test de convergence.....	54
IV.4. Traitement numérique des conditions du forage.....	54
IV.5. Organigramme de calcul.....	55

CHAPITRE V : APPLICATION NUMERIQUE

Introduction.....	57
V .1. Simulation d'un écoulement souterrain transitoire, dans un Aquifères à nappe libre.....	57
V .2. Pompage à partir d'un puits.....	60
V .2.1 Forage d'exploitation.....	60
a- Pompage par puits de petite section.....	60
b- Pompage par puits de grande section.....	63
V .3. Recharge artificielle des nappes.....	66
V .3.1. Recharge par puits d'injection.....	67
V .3.2. Recharge par bassin d'infiltration.....	69
V .3.3. La recharge artificielle des nappes à partir d'un barrage.....	72
Conclusion.....	74
CONCLUSION GENERALE.....	75

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME

DE MASTER EN HYDRAULIQUE

SPECIALITE: Ouvrages Hydrauliques et Aménagement

Proposé et dirigé par : Mr.M.HAMIDOU

Présenté par : BENABDERRAHMANE ADEL

THEME :

Simulation numérique de la recharge artificielle d'une nappe souterraine

Résumé :

Dans le but de connaître l'effet de la recharge sur les nappes libres et d'observer l'évolution de la surface libre lors de l'alimentation de ces nappes et aussi de déterminer le temps de recharge, on a développé un modèle numérique basé sur la méthode des différences finies. Ce modèle permet de résoudre l'équation mathématique d'écoulement en milieu poreux, résultant de la combinaison de l'équation de continuité et la loi de Darcy.

Pour tester l'efficacité du modèle développé différentes simulations de la recharge d'une nappe ont été effectuées.

Mots clés :

Les écoulements souterrains, Recharge des nappes, Méthode des différences finies.