

Cours de modélisation en hydrogéologie

Master2 hydrogéologie

Nabil CHABOUR

INTRODUCTION

L'objectif d'une étude de ressources en eau souterraine est, le plus souvent pour le chercheur ou l'ingénieur, la recherche d'une politique de gestion de la ressource, en terme de quantité ou de qualité. En terme de quantité, nous pouvons mentionner, par exemple celles relatives au débit d'exploitation, à l'implantation, à la durée de pompage dans un aquifère et à la connaissance des réserves (évolution piézométrique), celles-ci peuvent être traitées par les modèles d'écoulement. En terme de qualité nous pouvons mentionner le problème de pollution, traité par des modèles de transport. Pour ce faire, il est important de comprendre, précisément le fonctionnement du système aquifère considéré et comprendre, en particulier, la relation « sollicitation – réaction ou effet et causes » de ce système aquifère. D'une manière générale et dans la plupart des cas, il s'agit de connaître l'état future d'un système aquifère, soit pour des cause naturelles soit par l'intervention des cause anthropiques.

La connaissance de l'évolution (variation de niveau d'eau, de qualité de l'eau etc...) d'un aquifère ou de ses paramètres hydrodynamiques est acquise lors des expérimentations sur le terrain (essai de pompage, suivi de la piézométrie, analyses qualitative...). Dans la pratique, on recherche la politique d'exploitation la mieux adaptée en proposant différents scénarios d'exploitation. Cette expérimentation sur le terrain (connaissance de l'état futur du système réel) est limitée par le temps ou le coût. De ce fait, on fait appel à des modèles.

DEFINITION (quelques définitions)

- Un modèle est défini comme la représentation d'un système ou d'un processus réel.
- C'est donc une simplification de la réalité
- il est une représentation simplifiée, souvent formalisée d'un processus, d'un système (*source : le Robert*).

OBJECTIFS

Comprendre, décrire et expliquer le fonctionnement d'un système et prévoir son comportement.

On modélise et on simule pour représenter et pour comprendre

On modélise et on simule pour regarder vers le futur

Les modèles numériques sont utilisés en tant que :

- **Outil de représentation et de compréhension :**

Représentation d'un modèle conceptuel (connaissance de la géométrie de l'aquifère et de sa structure). Compréhension du fonctionnement du système l'aquifère (recharge, écoulement...).

- **Outil de gestion et de prédiction des ressources et/ou de la qualité des eaux :**

Prédire l'influence des pompages ou des changements climatiques, prévoir l'impact des causes anthropiques en terme de qualité. Suivre les polluants (leurs trajectoires, leurs concentrations et leur temps de transfert).

Généralement, on utilise les modèles pour aquifères pour simuler : les écoulements d'eau souterraine ou le transport de polluant.

Dans le cas des modèles d'écoulement et donc ceci concerne les quantités, la solution est :

$$H = f(x,y,z,t)$$

Dans le cas des modèles de transport et donc ceci concerne les concentrations, la solution est :

$$C = f(x,y,z,t)$$

Catégories de modèles en hydrogéologie :

Modèles physiques (ou modèles réduits), modèles analogiques et modèles mathématiques.

Modèles analogiques :

Il s'agit de la construction de maquettes, donc de système réduit (modèle réduit)

Modèles mathématiques :

- Modèles analytiques
- Modèles numériques

LES APPLICATIONS DE MODELES D'ECOULEMENT

- Interprétation des niveaux piézométriques
- influence de prélèvement des eaux souterraines
- Estimation des bilans hydriques
- Délimitation des zones de protection

LES APPLICATIONS DE MODELES DE TRANSPORT

- Interprétation des concentrations
- estimation du bilan massique des contaminants
- interprétation des panaches de polluants
- mise en place d'une stratégie de surveillance

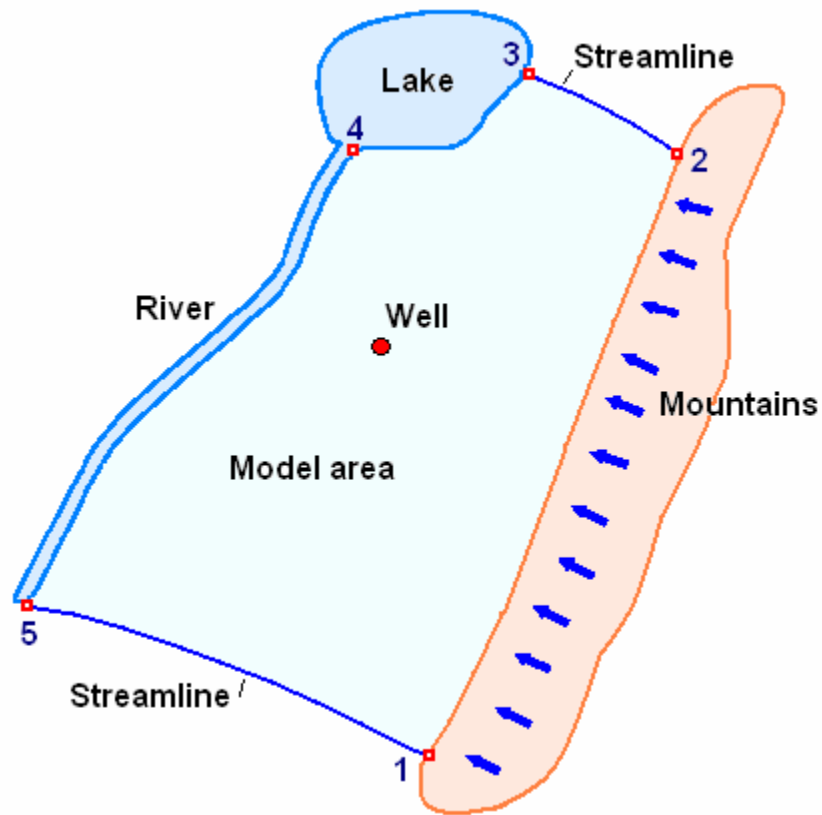
Les grandes étapes d'une modélisation hydrogéologique

Les principales étapes d'une modélisation sont les suivantes :

- définition du cadre de la modélisation
- collecte, analyse et synthèse des données
- élaboration d'un modèle conceptuel d'écoulement
- construction du modèle d'écoulement
- calage du modèle (ou calibration)
- validation du modèle
- exploitation du modèle calé

CONDITIONS AUX LIMITES DANS LE CAS D'UN MODELE D'ECOULEMENT

- Condition aux limites du premier type (DIRICHLET)
de potentiel (Cas particulier $h = \text{const.}$)
- Condition aux limites du second type (NEUMAN)
limite de flux (cas particulier est la limite imperméable où
le flux est égal à zéro).
- Condition aux limites du troisième type (Cauchy)
limites semi perméables, (par exemple les fuites à partir d'une eau de surface)
- Les conditions initiales : h connu à l'instant t_0



Exemple de conditions aux limites (Rausch, 2010)

Limite 1-2: flux imposé (non nul)

Limite 2-3: flux nul

Limite 3-4: potentiel imposé

Limite 4-5: semi-perméable

Limite 5-1: flux nul

SOLUTIONS

I.1. Formulation mathématique :

- L'équation de la continuité
- La loi de DARCY
- et la loi de conservation de masse.

Les modèles mathématiques se font par l'intermédiaire de la résolution d'équations différentielles. Il s'agit de l'équation de diffusivité ou de Laplace :

$$\delta^2 h / \delta x^2 + \delta^2 h / \delta y^2 + \delta^2 h / \delta z^2 = S/T + \delta h / t +/- Q$$

Où :

h : potentiel

S : coefficient d'emmagasinement

T : transmissivité

t : temps

Q : débit injecté ou prélevé

Cette équation est déduite de la combinaison de l'équation de la continuité, de la loi de Darcy et la loi de conservation de masse.

Elle définit le domaine de charge hydraulique h.

Les solutions peuvent être obtenues à l'aide de méthodes analytiques ou numériques. L'application des méthodes analytiques demande des conditions plus strictes : milieu homogène, isotrope, infini... (exemple Theis...)

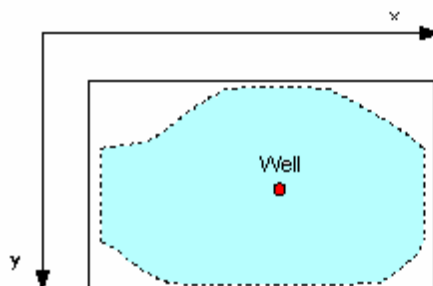
Lorsque les solutions analytiques ne sont plus adaptables, on utilise différentes solutions numériques :

- Méthode aux différences finies
- Méthode des volumes finis
- Méthode des éléments finis

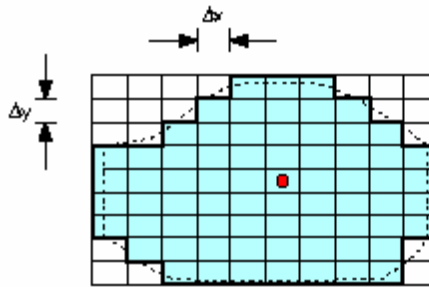
DISCRETISATION

Il s'agit d'un découpage de l'espace (domaine à modéliser) en éléments géométriques discrets : on utilise généralement ces deux méthodes :

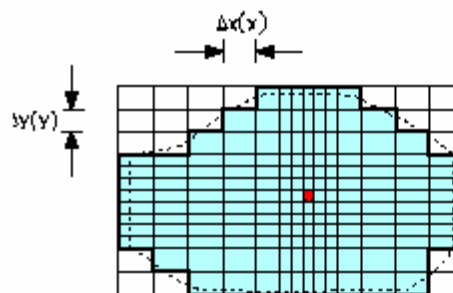
- différences finies



Limite du domaine à modéliser



Discretisation avec des mailles rectangulaires et de tailles constantes



Discretisation avec des mailles rectangulaires et de tailles variables (Rausch, 2010)

CALIBRAGE ET CALAGE :

Cela consiste à ajuster les paramètres et les flux (perméabilité, recharge) dans des limites acceptables permettant de mieux approcher les valeurs observées (charge hydraulique). Il s'agit de minimiser l'écart entre les valeurs observées et celles calculées. Parfois ceci peut nous permettre d'évaluer (grâce au calage) des valeurs impossibles à évaluer sur le terrain.

EXPLOITATION DU MODELE

Réalisation de scénarios permettant de comprendre les états futurs du système d'écoulement de l'aquifère.

Le TD, en salle d'informatique consiste en :

- une modélisation d'un aquifère sans pompage
- une modélisation avec pompage, en variant les débits et la localisation des points de pompage
- des simulations pour déterminer les périmètres de protection.

Les logiciels utilisés seront : ASMWIN et PMwin 5

Lien vers le logiciel PMWin 5

<http://www.pmwin.net/index.htm>

Références :

Rausch R. (2010) - Groundwater Modeling : An introduction to groundwater flow and solute transport modeling with applications. Technische Universität Darmstadt.

Kessasra F. (2020) modèles hydrogéologiques. Polycopié pour master. Université de Jijel