



Hydrogéologie

**Fluorescène dans la rivière Chicago pour la fête de la Saint-Patrick**

Hydrogéologie- L'hydrogéologie (de hydro-, eau et géologie, étude de la terre), également nommée hydrologie souterraine et plus rarement géo hydrologie, est la science qui étudie l'eau souterraine. Son domaine d'étude repose essentiellement sur deux branches des sciences de la terre, la géologie et l'hydrologie, mais aussi sur de nombreuses autres branches comme la géostatistique, la physique, la chimie, la biologie, la géochimie, l'hydrochimie, la géophysique, l'hydrodynamique, l'hydraulique souterraine, l'analyse numérique ainsi que des techniques de modélisation. À ce titre l'hydrogéologie est par excellence une science interdisciplinaire. L'hydrogéologie s'occupe de la distribution et de la circulation de l'eau souterraine dans le sol et les roches, en tenant compte de leurs interactions avec les conditions géologiques et l'eau de surface. L'hydrogéologie par rapport à d'autres branches L'hydrogéologie comme la plupart des sciences de la terre est une branche interdisciplinaire. Bien que les principes de base de l'hydrogéologie soient intuitifs (par exemple: l'eau coule vers le bas), l'étude de leurs interactions peut être très complexe. De façon générale, le fait de prendre en compte les interactions de différentes facettes d'un système à plusieurs composantes demande une connaissance de plusieurs branches tant au niveau expérimental que théorique. L'hydrogéologie est une branche des sciences de la terre qui s'occupe du flux de l'eau souterraine à travers les aquifères et autres milieux poreux peu profonds (généralement moins 1 000 mètres sous la surface). Le flux de l'eau très peu profonde (plus haute

que 3 mètres sous la surface) est une branche pertinente pour la pédologie, l'agriculture et le génie civil, autant que pour l'hydrologie. Le flux de fluides que l'on trouve dans des formations plus profondes (tels que l'eau mais aussi les hydrates de carbone et les fluides géothermiques) est aussi important pour la géologie, la géophysique et la géologie du pétrole. L'eau souterraine est un fluide visqueux (avec un nombre de Reynolds plus petit que 1) qui coule lentement (à l'exception près d'environnements géologiques particuliers comme les conduits karstiques parcourus par les rivières souterraines, les alluvions très grossières et les roches fracturées). Beaucoup de lois déduites empiriquement de l'eau souterraine peuvent également être déduites de la mécanique des fluides par le cas particulier de flux de Stokes où l'on considère des termes de viscosité et de pression, mais pas d'inertie. Les relations mathématiques utilisées pour décrire le flux de l'eau à travers un milieu poreux sont l'équation de diffusion et l'équation de Laplace. Ces deux équations ont des applications dans plusieurs champs différents. Le flux régulier de l'eau, décrit par l'équation de Laplace, a été simulé grâce à des analogies d'électricité, d'élasticité et de conduction thermique. Le flux de transition de l'eau souterraine est similaire à la diffusion de la chaleur dans un solide, de sorte que certaines solutions à des problèmes hydrologiques ont été adaptées de celles de la conduction thermique. Traditionnellement le mouvement de l'eau souterraine a été étudié indépendamment en hydrologie, en climatologie, en chimie et en microbiologie. Avec la maturation de l'hydrogéologie, les fortes interactions entre l'eau souterraine, l'eau de surface, la géochimie, l'humidité du sol et le climat deviennent de plus en plus claires.

**Définitions et propriétés**

**Aquifère**  
 Un aquifère est au sens strict une formation géologique perméable qui contient et transporte de l'eau, par opposition à un aquitard ou un aquiclude qui sont tous deux peu perméables (mais la distinction entre les deux termes prête à confusion). On parle généralement d'aquitard pour désigner une formation géologique peu perméable (relativement à la formation considérée comme perméable). On gardera ici à l'esprit que le caractère perméable d'une formation géologique est relatif. Un grès peut être considéré comme perméable par rapport à un niveau argileux, mais devient peu perméable si on le compare à des dépôts graveleux grossiers par exemple.

L'écoulement de l'eau souterraine peut être non-confiné (libre) ou confiné (captif). Dans le premier cas, le niveau de la surface libre de l'écoulement souterrain peut se déplacer verticalement sans limite vers le haut (jusqu'à la surface topographique). Dans le deuxième cas, la présence d'un niveau peu perméable ne permet pas l'élévation du niveau de la surface libre. Dans le cas d'un écoulement libre, le potentiel hydraulique à la surface libre de l'écoulement est égal à l'altitude de ce point. Dans le cas d'un écoulement confiné, le potentiel hydraulique est supérieur ou égal à l'altitude du mur de la formation peu perméable située au-dessus de l'écoulement. Dans le cas d'un écoulement confiné, l'aquifère est entièrement saturé en eau (saturation=1 ou 100 %). On parle d'écoulement saturé. Dans le cas d'un écoulement libre, on distingue une partie de l'aquifère saturée en eau (c'est la zone saturée), et une partie pour laquelle la saturation est inférieure à 1, c'est la zone non-saturée qui est située au-dessus de la zone saturée. La zone de transition entre la zone saturée et la zone non-saturée est appelée la frange capillaire.

**Potentiel hydraulique**  
 Le gradient de potentiel hydraulique (concrètement, la différence de niveau d'eau dans deux puits occupant la même nappe) est à l'origine du déplacement des masses d'eau - l'eau se déplaçant du potentiel le plus haut vers le plus bas. La loi de Darcy, est valable uniquement pour les milieux saturés, postule que le débit d'eau à travers une surface donnée d'un aquifère est proportionnel au gradient hydraulique. Le rapport entre le débit et le gradient hydraulique est la conductivité hydraulique (perméabilité étant un terme à éviter). Le potentiel hydraulique est une propriété directement mesurable. Il peut être mesuré à l'aide d'un transducteur de pression. Cette valeur peut être négative dans le cas de la succion, mais elle est positive dans les aquifères saturés. Un enregistrement du potentiel hydraulique sur un puits et pendant un certain temps est

appelé un hydrographe. Porosité La porosité ( $n$ ) est une propriété directement mesurable d'un aquifère. C'est une fraction entre 0 et 1 qui indique la quantité d'espace vide entre des particules de sol libres ou dans une roche fracturée. Il faut distinguer l'existence de ces vides, de leur interconnexion (qui, elle, permet à un fluide de circuler). On distingue : La porosité de matrice, liée à l'agencement des vides entre les grains dans les roches sédimentaires (30 % pour les sables et grès, 1 % pour les roches cristallines). La porosité de fractures, liée aux diaclases et fractures, typiquement dans les roches endogènes de type granite. Les fractures y sont souvent conjuguées, ce qui permet un réseau connecté, sauf si bouché par de l'argile. La porosité totale notée  $n$ , qui est le rapport du volume occupé par les vides par le volume total de la roche. La porosité n'affecte pas directement la distribution des potentiels hydrauliques dans un aquifère, mais elle a un effet très fort sur la migration de contaminants, parce qu'elle affecte la vitesse du flux de l'eau souterraine par une relation proportionnelle inverse. Contenu en eau Le contenu en eau, ou teneur en eau ( $\theta$ ) est une propriété directement mesurable. Elle représente la fraction de la roche qui est pleine d'eau liquide. C'est une fraction entre 0 et 1, et elle doit être inférieure ou égale à la porosité totale. Le contenu en eau est très important en hydrologie de la zone vadose où la conductivité hydraulique est une fonction fortement non-linéaire du contenu en eau. Cela complique la solution de l'équation de l'écoulement non-saturé de l'eau souterraine. Conductivité hydraulique La conductivité hydraulique ( $K$ ) et la transmissivité ( $T$ ) sont des propriétés indirectes de l'aquifère.  $T$  est égale à  $K$  intégré sur l'épaisseur verticale ( $b$ ) de l'aquifère. Ces propriétés sont des mesures de la capacité d'un aquifère à conduire l'eau. La perméabilité ( $\kappa$ ) est une propriété secondaire du milieu. Elle ne dépend pas de la viscosité ni de la densité du fluide.  $K$  et  $T$  sont spécifiques à l'eau. Stockage spécifique et rendement spécifique Le stockage spécifique ( $S_s$ ) et son équivalent intégré sur la profondeur, la stockativité, sont des propriétés indirectes de l'aquifère: elles ne peuvent pas être mesurées directement. Elles indiquent la quantité d'eau du sol évacuée par le stockage à cause d'une unité de dépressurisation d'un aquifère confiné, Ce sont des fractions entre 0 et 1. Le rendement spécifique ( $S_y$ ) est également une fraction entre 0 et 1 ( $S_y \leq$  porosité) qui indique la quantité d'eau évacuée par le drainage dû à un abaissement de la table d'eau dans un aquifère non conditionné. Généralement  $S_y$  est plusieurs ordres de grandeur plus grand que  $S_s$ . La porosité ou la porosité effective est souvent utilisée comme borne supérieure au rendement spécifique. Équations fondamentales d'état Loi de Darcy La loi de Darcy est une équation (obtenue empiriquement par Henry Darcy en 1856) qui énonce que la quantité d'eau du sol déchargée à travers une portion donnée de l'aquifère est proportionnelle à l'aire qui sectionne le flux, le gradient de portion hydraulique et la conductivité hydraulique. Équation de flux d'eau du sol L'équation de flux d'eau du sol, dans sa forme la plus générale, décrit le mouvement de l'eau du sol dans un milieu poreux (un aquifère ou un aquitard). Elle est connue en mathématique sous le nom d'équation de diffusion, et elle a beaucoup d'analogues dans d'autres branches. Beaucoup de solutions du flux d'eau du sol ont été empruntées ou adaptées de solutions existantes de la conduction thermique. Elle est souvent dérivée d'une base physique en utilisant la loi de Darcy et la conservation de la masse pour un petit volume de contrôle. L'équation est souvent utilisée pour prédire un flux vers des puits, qui ont une symétrie radiale, de sorte que l'équation de flux est communément résolue avec des coordonnées polaires ou cylindriques. Le test d'aquifère est l'une des solutions les plus utilisées et les plus fondamentales de l'équation de flux d'eau du sol. Elle peut être utilisée pour prédire l'évolution de la tête due à l'effet d'un pompage ou de plusieurs puits de pompage. La solution de Thiem résout l'équation de flux de l'eau de sol à l'équilibre (équation de Laplace). L'équilibre réel est rarement atteint en réalité à moins de la présence de larges sources d'eau proches (un lac ou une rivière). Cartographie hydrogéologique Elle permet de rendre visible la localisation des aquifères du territoire, ce qui est notamment nécessaire pour la protection des



champs captants et des périmètres de captages exploitées ou susceptibles de l'être pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation et l'industrie. Elle est destinée aux élus, techniciens, et aux enseignants, chercheurs, universitaires, etc. En France cette carte a été publiée en 1978. Elle devrait être entièrement mise à jour en février 2015, sur la base de la nouvelle version du référentiel hydrogéologique français (par le BRGM)<sup>1</sup>. Un échantillon en a été présenté en 2014. La nouvelle échelle et résolution seront plus précises, l'échelle passant du 1/1 500 000e (1 cm pour 15 km) au 1/1 000 000e (1 cm pour 10 km)<sup>1</sup>.

Ce travail s'appuie sur la Base de données « BD Lisa » qui contient les limites des systèmes aquifères et qui découpe le territoire en unités hydrogéologiques (selon le type de formation géologique et leur perméabilité)<sup>1</sup>. La carte présente aussi une « zonation climatique fournie par Météo France qui donne une indication sur la recharge des aquifères par les précipitations, mais aussi des données ponctuelles localisant, entre autres, les forages géothermiques et les sources thermales »<sup>1</sup>

Notes et références

1. a, b, c et d Hydroplus (2014) brève intitulée Le BRGM actualise sa carte hydrogéologique [archive], 8 octobre 2014

Articles connexes

Généralités

Hydrologie

Géologie

Eau

Source (hydrologie)

Concepts

Aquifère

Nappe phréatique

Puits artésien

Modélisation

Loi de Darcy

Cycle de l'eau

Hydrosphère

Hydrodynamique

Hydrostatique

Ressources en eau

Bibliographie

Banton, O. & Bangoy, L.-M. (1997) - Hydrogéologie, Multiscience environnementale des eaux souterraines, Presses de l'Université du Québec/AUPELF

Castany, G. (1982) - Hydrogéologie Principes et méthodes, Dunod, Paris

Castany, G. (1991) - « Origine et évolution des concepts des eaux souterraines », Travaux du comité français d'histoire de la géologie 3e série t. V no 1 (ISSN 1156-2919), Comité français d'histoire de la géologie, Paris, p. 1-7

Detay, M. (1993) - Le forage d'eau, Masson, Paris

Gilli, E., Mangan, C. & Mudry, J. (2006) - Hydrogéologie : objets, méthodes et applications, Dunod, Paris

Marsily, G. (1981) - Hydrogéologie quantitative, Masson

Martin, P. (2010) - Géologie appliqué au BTP, Eyrolles, Paris.

Liens externes

Sur les autres projets Wikimedia :

Hydrogéologie, sur Wikimedia Commons

Hydrogéologie, sur le Wiktionnaire

Hydrogéologie, sur Wikiversity