
Introduction

Les hydrogéologues établissent les relations entre la géologie et les eaux souterraines, cherchent à localiser le foyer de l'eau dans les diverses formations géologiques et recommandent des méthodes de recherche et de prospection adéquates. Il s'agit des environnements géologiques qui contrôlent la présence d'eaux souterraines, des lois physiques décrivant le flux des eaux souterraines et de l'évolution chimique qui accompagne le flux.

L'étymologie du mot (hydrogéologie) vient du grec ancien qui veut dire *ὑδριος*, húdrios (aqueux) dérivé de *ὑδωρ*, húdôr (eau) - *γη*, gê (terre) - *λογία*, logía (étude). L'hydrogéologie, ou hydrologie souterraine ou géohydrologie, est la science des eaux souterraines qui étudie les interactions entre les formations géologiques du sous-sol (roches, sols) et les eaux souterraines ainsi que les eaux de surface.

Les eaux souterraines sont l'une des ressources naturelles les plus importantes au monde, la principale source d'eau potable pour les approvisionnements domestiques surtout. Une grande partie du débit dans les cours d'eau et de l'eau dans les lacs et les zones humides est alimentée par les eaux souterraines. Le terme «eaux souterraines» est généralement réservé aux eaux présentes sous la nappe phréatique dans des sols et des formations géologiques complètement saturés.

L'étude des eaux souterraines est de nature interdisciplinaire car s'intègrent la chimie et la physique, la géologie et l'hydrologie. L'eau souterraine est plus qu'une ressource, c'est une caractéristique importante de l'environnement naturel et pose des problèmes environnementaux et peut, dans certains cas, constituer un support pour des solutions environnementales. Dans un contexte d'ingénierie, les eaux souterraines contribuent à des problèmes géotechniques tels que la stabilité des pentes et l'affaissement du sol. L'eau est un élément indispensable à l'être humain qui, au repos, en consomme deux à trois litres par jour, fournis pour moitié par son alimentation. C'est en fait la survie de toutes les espèces animales et végétales qui est conditionnée par l'eau, constituant des animaux à 70% et des végétaux à 90%.

Répartition de l'eau

L'eau existe sous forme gazeuse dans l'atmosphère, sous forme liquide dans les océans, les cours d'eau et les aquifères, sous forme solide dans les neiges, glaciers, calottes et banquises, mais l'eau est aussi présente dans la plupart des roches :

- ◆ l'eau de constitution qui entre dans la formule des minéraux ;
- ◆ l'eau adsorbée, fixée électriquement aux surfaces ioniques, et extractible ou non par les racines des plantes ;

◆ enfin l'eau gravitaire qui peut circuler dans les pores et discontinuités ouverts des roches. C'est le domaine de l'hydrogéologie. Elle peut occuper d'importants volumes souterrains et constituer des réserves de plus en plus sollicitées (Fig.1).

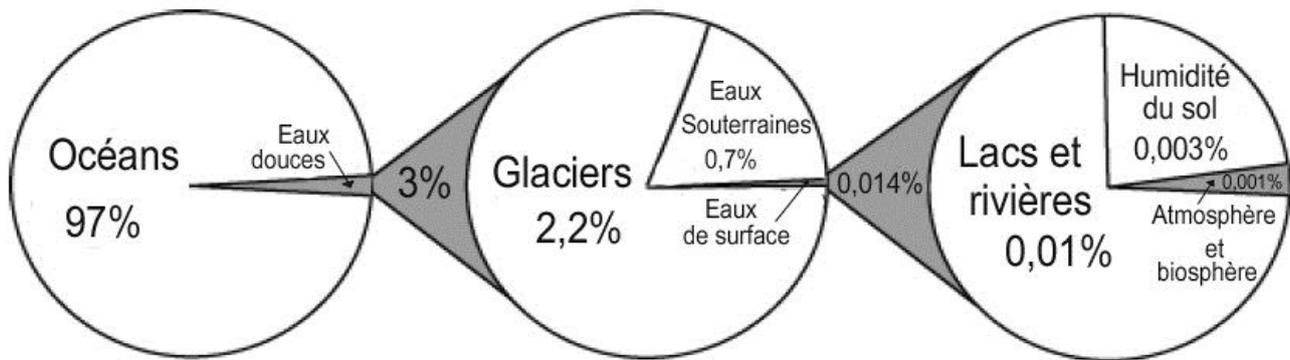


Figure. 01 : Différents types d'eau sur la planète

La planète bleue, c'est ainsi qu'elle apparaît depuis l'espace du fait que sa surface est couverte d'eau à 70 %. L'eau douce est donc un bien rare et précieux. Le volume total d'eau que porte la Terre est de 1,4 milliards de km³ ou 1,4 billions de m³ (1,4.10¹² m³). De ce volume, 3 % environ, soit 35 millions de km³, est de l'eau douce. La majeure partie de l'eau de la planète est salée et est contenue dans les différentes mers et océans (97%). Une petite partie d'eau salée se retrouve aussi dans des aquifères souterrains (1 %) et dans des lacs (0,006 %). Le tableau n°1 présente une estimation de la répartition de l'eau sur le globe. Il ne s'agit que d'un ordre d'idée, car l'évaluation des réserves souterraines est très variable selon plusieurs auteurs.

Tableau. 01 : Estimation de la répartition de l'eau sur Terre

	Volume (10 ³ km ³)	Pourcentage de l'eau totale (%)	Pourcentage de l'eau douce (%)
Eau totale	1,386 millions	100	-
Eau douce totale	35 000	2,53	100
Océans mondiaux	1,340 millions	96,5	-
Eau salée souterraine	13 000	1	-
Eau douce souterraine	10 500	0,76	30
Glaciers antarctiques	21 600	1,56	61,7
Glaciers du Groenland	2 340	0,17	6,7
Îles arctiques	84	0,006	0,24
Glaciers montagneux	40,6	0,003	0,12
Pergélisol et glace souterraine	300	0,022	0,86
Lacs salins	85,4	0,006	-
Lacs d'eau douce	91	0,007	0,26
Humidité du sol	16,5	0,0012	0,047
Tourbières	11,5	0,0008	0,03
Rivières (flux moyen)	2,12	0,0002	0,006
Dans la matière biologique	1,12	0,0001	0,0003
Dans l'atmosphère (en moyenne)	12,9	0,0001	0,04

CHAPITRE I : Cycle de l'eau

Certaines personnes pensent que les eaux souterraines s'accumulent dans les lacs ou les rivières souterraines. En fait, les eaux souterraines sont simplement les eaux souterraines qui saturer complètement les pores ou les fissures dans les sols et les roches. La plupart des eaux souterraines sont contenues dans et se déplacent dans les pores entre les particules de roche ou dans les fractures et les fissures dans les roches. Lorsque les pores du sable et du gravier sont saturés d'eau, celle-ci devient une eau souterraine. Les eaux souterraines sont reconstituées par les précipitations et, en fonction du climat et de la géologie locale, leur répartition est inégale. Lorsqu'il pleut, une partie de l'eau s'écoule dans les cours d'eau, certaines s'évaporent et d'autres rechargent les aquifères : on parle de cycle hydrologique ou cycle de l'eau.

I/ Le cycle hydrologique

Le cycle hydrologique est un concept virtuel décrivant une trajectoire étant circulaire des particules d'eaux, dans ses divers états (gazeux, solide, liquide), qui viennent de l'atmosphère, parcourent la surface du sol et du sous-sol et pour y retourner.

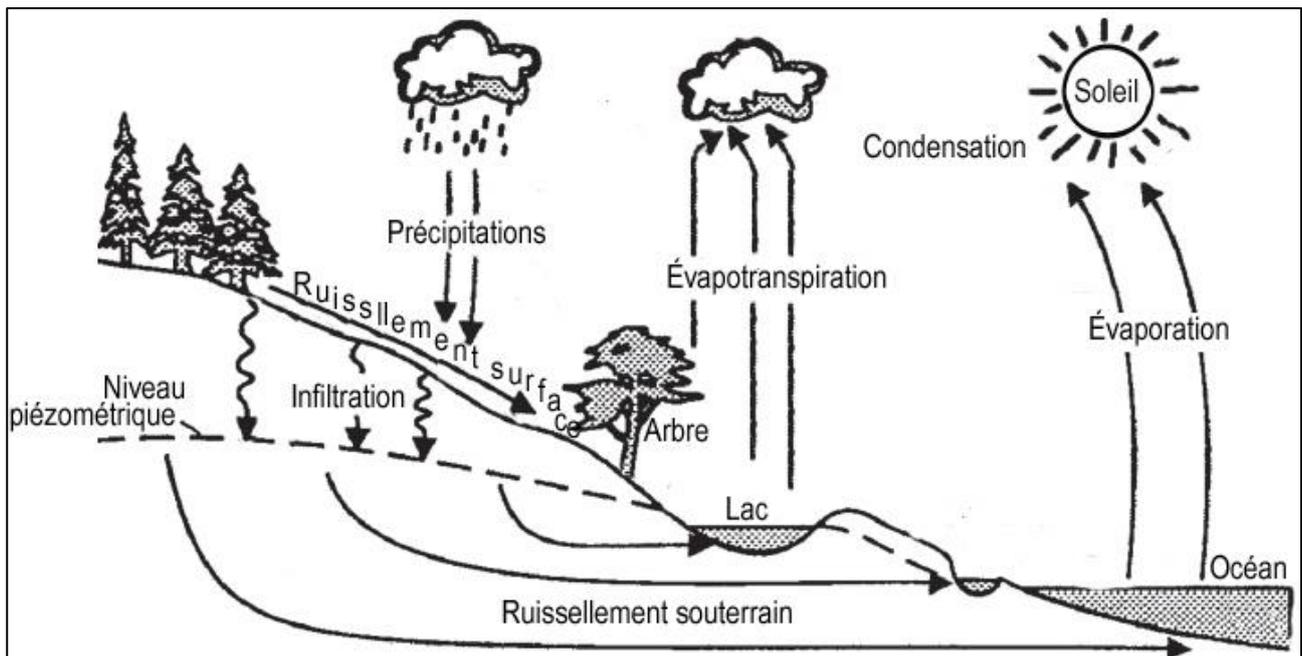


Figure. 02 : Schéma du cycle hydrologique ou cycle de l'eau

Sous l'influence du rayonnement solaire, l'eau liquide des océans (mers) et des surfaces des terres humides se gazéifie en vapeur d'eau qui s'élève dans l'atmosphère. Lorsque la pression de l'air chaud commence à se refroidir, la vapeur se condense en gouttelettes dans des nuages remplis de poussières. Les gouttelettes s'unissent entre elles pour donner des gouttes d'eau qui tombent sur le sol sous forme de précipitations liquides ou solides (pluies, neiges, grêles, grêles). Une fois

arrivées sur la terre, et sous l'action de la chaleur, les eaux des pluies s'évaporent et retournent vers l'atmosphère. Or, des quantités d'eaux tombées pénètrent dans le sol non saturé (sous- sol), par infiltration, et alimentent les aquifères.

Quand le sol est saturé, les eaux commencent à s'écouler en surface formant ainsi des ruisseaux (oueds), on appelle ce processus le ruissellement. Certaines quantités d'eaux présentes dans le sol peut être absorbées par les racines des végétaux et rejoindre l'atmosphère par transpiration. Les eaux utilisées par le règne vivant forment l'eau biologique. L'évapotranspiration correspond aux eaux continentales pourvues de végétations qui se libèrent dans atmosphère (Fig.1).

I-1/ composantes du cycle de l'eau

Le cycle de l'eau est donc le sujet à des processus complexes et variés parmi lesquels nous avons montré les précipitations, l'évaporation (physique –plans d'eau), la transpiration (biologique végétation), le ruissellement (ou écoulement de surface et souterrain), l'infiltration, qui constituent les principaux composantes de l'hydrologie. Ces divers mécanismes sont rendus possibles par un élément moteur, **le soleil**, organe vital de ce cycle. La compréhension et la description de ces processus figurent parmi les principaux objectifs poursuivis par l'hydrologue, les composants sont :

***La précipitation :** Notée **P**, est un produit sous forme liquide ou solide de la condensation de la vapeur d'eau qui tombe en gouttes de pluies ou de glace sur le sol.

***L'évaporation :** Notée **E**, est une émission de la vapeur des plans d'eau liquide exposés à une température inférieure au point d'ébullition.

***La transpiration :** Notée **T**, est un processus par lequel l'eau débarrassée des végétaux est transférée dans l'atmosphère sous forme de vapeur.

***L'évapotranspiration :** Notée **ET**, est la quantité d'eau transférée du sol vers l'atmosphère de l'ensemble de l'évaporation des retenus d'eau et la transpiration des plantes.

***Le ruissellement :** Noté **R**, est la quantité de l'eau coulée en surface sous forme de ruisseaux par saturation du sous- sol ou due à l'imperméabilité du sol. Il est aussi appelé « écoulement de surface ».

***L'infiltration :** Notée **I**, est le mouvement vertical de l'eau pénétrant dans un milieu poreux depuis la surface du sol. La couverture végétale dense influe négativement sur ce processus.

Nous pouvons déduire que le cycle hydrologique est caractérisé par l'interdépendance de ses composantes, par sa stabilité et son équilibre dynamique. Si l'un des processus est perturbé, tous les autres cycles (cycle de l'azote, cycle du phosphore, etc.) s'en ressentent. Le cycle hydrologique peut être influencé à des degrés divers par les activités humaines. Aujourd'hui, on estime qu'un habitant

sur cinq de la planète n'a pas accès à l'eau en suffisance et un sur trois possède une eau de bonne qualité. Dans ce contexte, il peut être utile de rappeler que "la mesure quantitative et qualitative des éléments du cycle hydrologique constitue une base essentielle pour une gestion efficace de l'eau". Donc, l'étude du bilan hydrologique ou hydrique permet de gérer et de d'assurer l'équilibre réel du cycle et donc une meilleure gestion durable.

I-2/ Bilan hydrologique

L'estimation des quantités d'eau passant par chacune des étapes du cycle hydrologique peut se faire à l'aide d'une équation appelée "bilan hydrologique" qui est le bilan des quantités d'eau entrant et sortant d'un système défini dans l'espace et dans le temps. Le bilan hydrique est fondé sur le principe que le total des apports doit être égal au total des sorties plus la variation positive ou négative du volume d'eau stocké dans le bassin ou la formation. Comme on peut avoir de plus des accumulations de la période précédente, et donc le bilan s'écrit :

$$P = (ET + R + I) \pm S$$

- **S** : est la ressources ou le stock de la période précédente (eaux souterraines, humidité du sol, neige)

Le bilan hydrique est simplifié par la relation :

$$P = ET + R + I$$

Afin qu'on puisse étudier le bilan hydrique, il est nécessaire d'acquérir des données concrètes sur les précipitations et des températures d'une région à étudier. En Algérie, l'office national de la météorologie (ONM), par la disponibilité de ses stations climatiques, pluviométriques, possède de données numériques sur les précipitations, les températures et même l'humidité de l'air et la vitesse des vents. Plusieurs auteurs comme Thornthwaite, Turc et Coutagne ont pu étudier le bilan hydrique grâce à des formules et des méthodes de calcul empiriques.

I-2-1/ Estimation de l'évapotranspiration

En ce qui concerne l'estimation de l'évapotranspiration (ET), nous devons rappeler deux termes utilisés dans l'interprétation du bilan hydrique :

***L'évapotranspiration potentielle** : Notée **ETP**, est la quantité maximale de l'eau susceptible d'être évaporée sous un climat donné par un couvert végétal continu bien alimenté en eau.

***L'évapotranspiration réelle** : Notée **ETR**, est la quantité totale d'eau qui s'évapore du sol et des plantes lorsque le sol est à son taux d'humidité naturel. Son estimation est exécutée de la manière suite :

I-2-1-1/ ETR par la formule de Turc

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad L = 300 + 25t + 0,05t^3$$

Avec : P : Précipitations moyennes annuelles en mm

t : Températures moyennes annuelles en °C

L : Pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand

I-2-1-2/ ETR par la formule de Coutagne

$$ETR = P - \varphi P^2 \quad \varphi = \frac{1}{0,8 + 0,16t}$$

Cette formule n'est valable que si les précipitations sont comprises entre : $\frac{1}{8\varphi} < P < \frac{1}{2\varphi}$

Où : P = Précipitation moyenne annuelle (m) ;

T = Température moyenne annuelle (°C).

I-2-1-3/ ETR par la formule de Thornthwaite

D'abord, on détermine l'ETP suivant des corrections entre températures moyennes mensuelles:

$$ETP = 16 \times \left(\frac{10t}{I}\right)^a \times k \quad a = \left(\frac{1,6I}{100}\right) + 0,5 \quad i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,5} \quad I = \sum_{i=1}^{12} i$$

Avec : i : Indice thermique mensuel

I : Indice thermique annuel

K : Coefficient d'ajustement mensuel dont les valeurs sous climats différents

RFU : Réserve facilement utilisable

*L'ETR prend trois hypothèses :

1/ $P < ETP$ et $RFU = 0$, $ETR = P$ 2/ Si $P \geq ETP$, $ETR = ETP$ 3/ Si $P < ETP$ et $RFU = +$, $ETR = P + RFU$

I-2-2/ Estimation du ruissellement de surface

Il représente le facteur principal du début des points des crues. Il est nécessaire d'évaluer le ruissellement dans le but d'apprécier l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface du sol. Le ruissellement est calculé par la formule de Tixeront- Berkaloff, avec :

$$R = \left(\frac{P^3}{3(ETP)^2}\right)$$

Où : R : Ruissellement en m ;

P : Précipitations moyennes annuelles en m ;

ETP : Evapotranspiration potentielle annuelle selon Thornthwaite en m.

*Cette formule est valable pour les stations où les précipitations ne dépassent pas 600mm. Si les

précipitations sont supérieures à 600mm, on utilise la formule : $R = \frac{P^3}{3}$

I-2-3/ Estimation de l'infiltration

Elle est déduite à partir de la formule du bilan global, où on a : $P = ETR + R + I$

Donc : $\Rightarrow I = P - (R + ETR)$

L'ETR : Evapotranspiration réelle selon la méthode de Thornthwaite.

Si : $I > 0$: Les entrées sont supérieures aux sorties.

$I < 0$: Les entrées sont inférieures aux sorties.