

Identification de l'unité d'enseignement

Spécialité: 2^{ème} année Licence Génie Min

Semestre : 4

Titre : Hydrogéologie

Responsable : Dr. S.BOUNAB (cours+TP)

Crédits : 3

Coefficient : 2

Volume horaire hebdomadaire: 37h30,(Cours : 1h30,TP : 1h00)

Cours 1+2

1 : introduction à l'hydrogéologie

1-Introduction :

L'hydrogéologie (de hydro-, eau et géologie, science de la terre), est la science qui étudie l'eau souterraine. Elle étudie les origines des eaux, les formes des gisements (aquifères), les actions mutuelles entre l'eau et la roche, la répartition, les mouvements, régimes des eaux, leurs états (liquide, solide ou gazeux), leurs propriétés physiques, chimiques, bactériologiques, radioactifs et les conditions de leurs exploitations.

L'Hydrogéologie dont la base fondamentale est la géologie, est une science pluridisciplinaire utilisant les moyens et les méthodes des prospections géophysiques, de la géochimie des roches et des eaux, de l'hydrodynamique souterraine, des techniques de forages et de captage, elle utilise aussi différentes méthodes sciences fondamentales ; mathématique, physique, chimie, biologie dans l'étude de différents paramètres de l'eau souterraine et les processus hydrogéologiques (étude des réservoirs, interaction eau-roche..), ainsi que pour exprimer les résultats des recherches.

L'Hydrogéologie se compose de plusieurs branches, parmi lesquelles, certaines devenant une discipline scientifique autonome, en générale, hydrogéologie se divise en deux grandes parties ; l'hydrogéologie théorique et l'hydrogéologie appliquée.

2-l'Hydrogéologie théorique : dans l'hydrogéologie théorique en rencontre ;

2-1- hydrogéologie générale : elle définit les modèles géologiques de l'hydrosphère de la terre, définir et trouver les gisements des eaux souterrains, les lois générale de leurs distribution et de l'existence des eaux et définir le rôle des eaux dans la géologie historique de la terre.

2-2-dynamique des eaux souterraine (hydrodynamique) : elle traite les problèmes liés aux différentes formes de mouvements des eaux souterraines, mis à part le phénomène de filtration des eaux dont l'étude est bien développée ou rencontre d'autres formes de mouvements ; convection, diffusion, osmose...etc. qui peuvent être étudiés en hydrogéologie.

2-3-hydrogéothermie : le champ thermique dans lequel existe l'eau souterraine, se caractérise par une grande amplitude, on peut rencontrer l'eau dans les roches en fusion à des températures critiques 374°-450° et à des pressions de certains mégapascals. Hydrothermie est la science de transferts des chaleurs entre l'eau et la roche et les lois d'échanges des températures des eaux souterraines.

2-4-hydrochimie : les eaux souterraines contiennent une diversité d'éléments chimiques qui se trouvent sous formes d'ions, des molécules dans la solution, ainsi que des gazes et des liaisons complexes. L'étude de ses formes, des conditions de leurs existences, l'apparition et la distribution, la classification des eaux souterraines par la composition chimique, la genèse...etc. forme l'hydrochimie.

2-5-la paléo-hydrogéologie : la reconstitution des conditions hydrogéologiques qui ont existé dans le passé sur le globe terrestre, permet de comprendre la structure hydrogéologique contemporaine et les mécanismes des gisements d'eaux souterraines, du pétrole, des sels et des minéraux utiles.

2-6-hydrogéologie régionale : les eaux souterraines se différencient des autres eaux par le fait qu'elles sont liées aux roches. Puisque les roches sont organisées dans différentes structures géologiques de différentes échelles, l'hydrogéologie régionale étudie la répartition de l'eau dans les roches géologiques dans l'espace et dans différentes régions, pays et sur toute la planète en générale.

Ces différentes branches fondamentales d'hydrogéologie contemporaines. Sont liées entre elles, elles forment la base théorique.

3-hydrogéologie appliquée : elle présente les différents intérêts de l'hydrogéologie telle que l'industrie, l'agriculture, c'est pourquoi de temps en temps, on note l'apparition de nouvelles disciplines. L'hydrogéologie appliquée renferme des branches importantes dans l'économie nationale parmi lesquelles on note :

- AEP (alimentation en eau potable).
- Hydrogéologie pétrolière.
- Hydrogéologie des mines.
- Recherche hydro-chimiques des minéraux utiles.
- Protection des eaux.

Parmi les branches de l'hydrogéologie appliquée on cite ; **l'hydrologie**, qui étudie les régimes des cours d'eau et les affluents, traite les problèmes des crues et les inondations et étudie les bilans hydriques des bassins hydrogéologiques, la **géophysique** appliquée en hydrogéologie

(sondage électrique, diagraphie, sismique...) qui permet de déterminer l'existence et la géométrie des aquifères, l'**hydrochimie** permet de déterminer la composition chimique des eaux et de déterminer leurs potabilités et leurs intérêts économiques.

L'hydrogéologie utilise les progrès technologiques pour l'exploitation des eaux souterraines (**forage hydraulique**) et le **traitement des eaux** pour différents buts, principalement l'**AEP** (alimentation en eau potable). Les domaines d'utilisation de ses technologies sont :

- Les forages et les équipements des puits.
- L'échantillonnage et l'analyse de l'eau.
- Les essais par pompage.
- Le traitement des eaux.
- Hydrométrie
- Les mesures géophysiques

Les principaux buts de l'hydrogéologie sont :

- Résolution des problèmes hydrogéologiques liés à l'irrigation des terres des régions arides.
- Prospection des sources et l'AEP.
- Prospection et estimation des réserves en eaux minérales utilisées dans les buts médicaux.
- Recherche et utilisation des eaux thermales, pour les chaudières et les centrales électriques.
- Recherche des gisements de minéraux utiles par les méthodes hydrogéochimiques (l'extraction d'iode, brome, Bor, lithiums, strontium...etc.).
- Recherche radio-hydrogéologique des gisements des matériaux atomiques et résolution des problèmes d'utilisation des eaux radioactives.

Les rôles de l'hydrogéologue sont :

- Il identifie, à partir d'observations de terrain et par différents modes de prospection, les nappes souterraines qui pourront être exploitées pour l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation en agriculture (par forage), la géothermie.
- Il détermine les sites de captage et les périmètres de protection à mettre en place autour des captages.
- Il accompagne le foreur lors des activités de forage pour assurer le suivi technique et le conseille afin d'éviter toute pollution des eaux souterraines qui pourraient induire les activités de forage.
- Il surveille l'évolution et la qualité des eaux souterraines afin de prévoir les incidences sur l'approvisionnement en eau potable.

- Il étudie tout projet d'aménagement pouvant avoir un impact sur les eaux souterraines et les captages d'eau destinée à la consommation.
- Il évalue les risques de pollution des eaux souterraines provenant des activités humaines (sites industriels, agriculture, etc.) et identifie les problèmes de transfert des pollutions.
- Il étudie les risques liés au sol et au sous-sol lorsque l'eau souterraine peut être un facteur de risque.
- Il établit des plans de décontamination des sols et des nappes et assure le suivi de leur mise en œuvre.
- Il élabore des modèles informatiques de simulation.

02 : HYDROLOGIE ET CYCLE DE L'EAUX

I – 1 : INTRODUCTION A L'HYDROLOGIE DE SURFACE

D'une façon très générale, l'hydrologie peut se définir comme l'étude du cycle de l'eau et L'estimation de ses différents flux. L'hydrologie au sens large regroupe :

- la climatologie, pour la partie aérienne du cycle de l'eau (précipitations, retour à l'atmosphère, transferts, *etc.*) ;
- l'hydrologie de surface au sens strict, pour les écoulements à la surface des continents ;
- l'hydrodynamique des milieux non saturés pour les échanges entre les eaux de surface et les eaux souterraines (infiltration, retour à l'atmosphère à partir des nappes, *etc.*) ;
- l'hydrodynamique souterraine (sens strict) pour les écoulements en milieux saturés.

L'hydrologie de surface est la science qui traite essentiellement des problèmes qualitatifs et quantitatifs des écoulements à la surface des continents. Ces problèmes se ramènent généralement à des prévisions (associer à une date une certaine grandeur) ou des prédéterminations (associer à une grandeur une certaine probabilité) de débits ou de volume en un point ou sur une surface

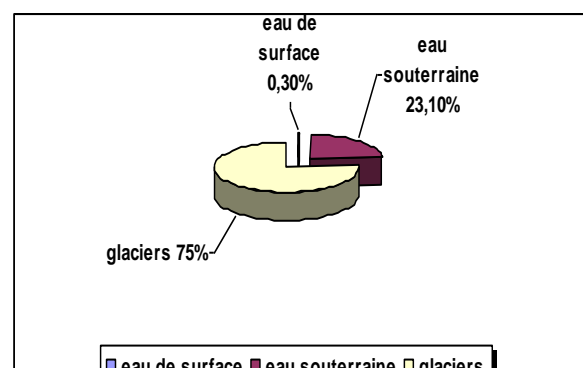
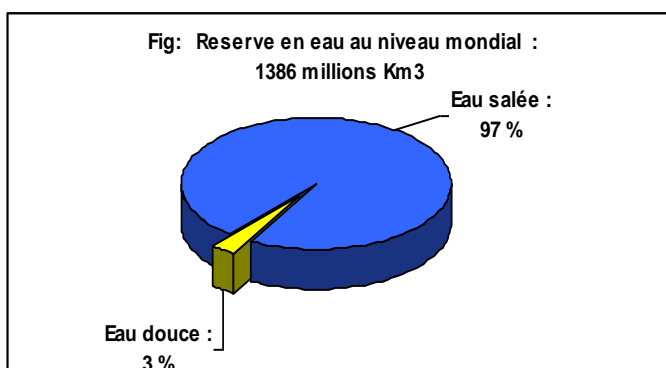
2 : Aperçu sur les ressources en eau au niveau mondial :

L'eau douce, essentielle à la vie, l'environnement et le soutien d'activités économiquement productives n'est pas une ressource infinie elle est inégalement répartie par la nature à la surface de la terre.

La croissance démographique, l'urbanisation rapide et le développement économique pèsent lourdement sur les ressources hydriques, dans les pays en voie de développement l'approvisionnement en eau dépend de larges fluctuations saisonnières (sècheresse et inondation).

Les réserves en eau disponibles à la surface du globe sont de l'ordre de 1386 millions Km³ (Detay, M 1997). Les mers et les océans constitués d'eau salée représentent 97 % du stock d'eau au niveau mondial et les 3 % restant représentent les eaux continentales (eau souterraine, glaciers, rivières et lacs).

Les trois quart (75 %) d'eau douce constituent les glaciers, très peu accessibles et moins de 1 % de l'eau totale forme les eaux souterraines alors que moins de 0.01 % de l'eau forme les eaux de surface



II - LE CYCLE DE L'EAU

Le cycle de l'eau, appelé aussi cycle hydrologique, est l'ensemble des cheminements que peut suivre une particule d'eau. Ces mouvements, accompagnés de changements d'état, peuvent s'effectuer dans l'atmosphère, à la surface du sol et dans le sous-sol. Chaque particule n'effectue qu'une partie de ce cycle et avec des durées très variables

Stocks totaux d'eau sur Terre : 1,4 milliard de km³

Stockage	Pourcentage	Temps approximatif de résidence
océans	97,4 %	Jusqu'à 4000 ans
glaces	1,98 %	Des milliers d'années
eaux souterraines	0,59 %	1500 ans
mers, lacs, rivières	0,015 %	Centaines d'années
humidité du sol	0,005 %	2 semaines à 1 an
eau des cellules vivantes	0,001 %	Quelques heures à 1 semaine
humidité de l'air	0,001 %	8 jours

Le cycle de l'eau est le circuit que suit l'eau dans ses différents états (liquide, gazeux et solide) entre les océans, l'atmosphère et les continents. L'eau existe sur Terre depuis plusieurs milliards d'années et depuis, sa quantité totale n'a pas varié. L'eau ne se crée pas, ne se perd pas mais se transforme au cours de ce cycle. La fréquence, l'intensité et l'endroit géographique où tombent les précipitations sont les seuls paramètres variables. Les ressources en eau sont stockées en proportions variables à différents endroits de la planète

II - 1 : ETATS ET SITUATIONS DE L'EAU

Classiquement, on schématise les états et les situations de l'eau dans le cycle de la façon suivante :

Etats	Principaux stocks	Phénomènes de transport
Vapeur	humidité atmosphérique, nuages, brouillards	Évapotranspiration, évaporation
Liquide	océans, mers, lacs, eaux souterraines	pluie, cours d'eau, nuages, circulations souterraines
Solide	glaciers, manteaux neigeux, Calottes polaires	neige, grêle, écoulement des glaciers

II - 2 : VOLUME ET FLUX

Quelles sont les quantités d'eau correspondant à chacun des termes de ce tableau, et avec quelles vitesses se font les échanges ? Les réponses à ces questions sont très difficiles à donner ; on pourra retenir, pour fixer les ordres de grandeur, les chiffres fournis par G. REMENIERAS :

II. 2. 1 : Volumes

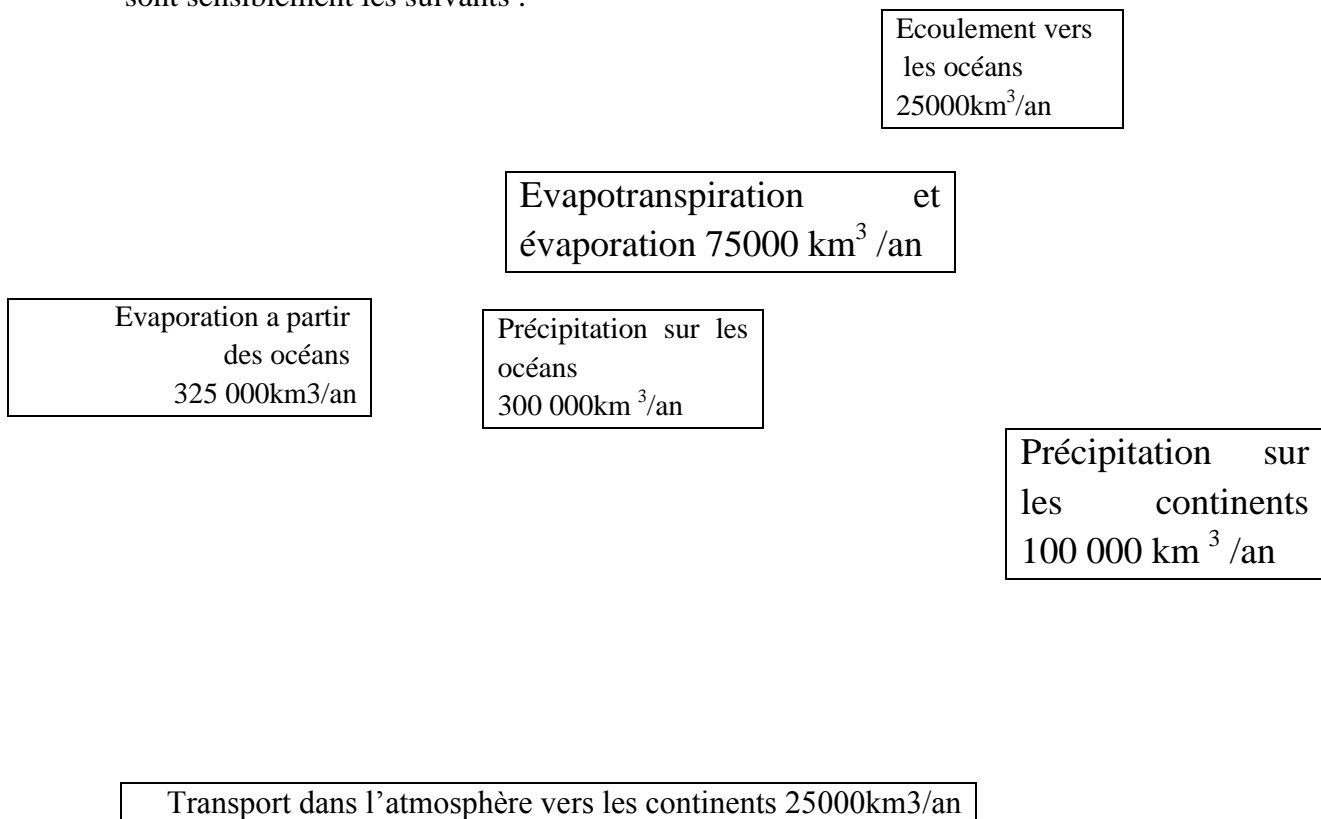
En surface, les terres émergées ne représentent que $146 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ sur une surface totale de la planète de $510 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ (soit sensiblement 1/4). Cette disparité entre océans et terres est beaucoup plus accentuée entre eaux douces et eaux salées.

Le volume total des eaux douces est d'environ $36 \cdot 10^6 \text{ km}^3$, soit 2,8 % des réserves totales en eau.

- Eaux douces liquides (lacs, cours d'eau, eaux souterraines) : $8,12 \cdot 10^6 \text{ km}^3$ dont $0,8 \cdot 10^6 \text{ km}^3$ pour les eaux souterraines.
- Eaux solides (glaciers, calottes polaires) : $28 \cdot 10^6 \text{ km}^3$.
- Vapeurs dans l'atmosphère : $0,013 \cdot 10^6 \text{ km}^3$

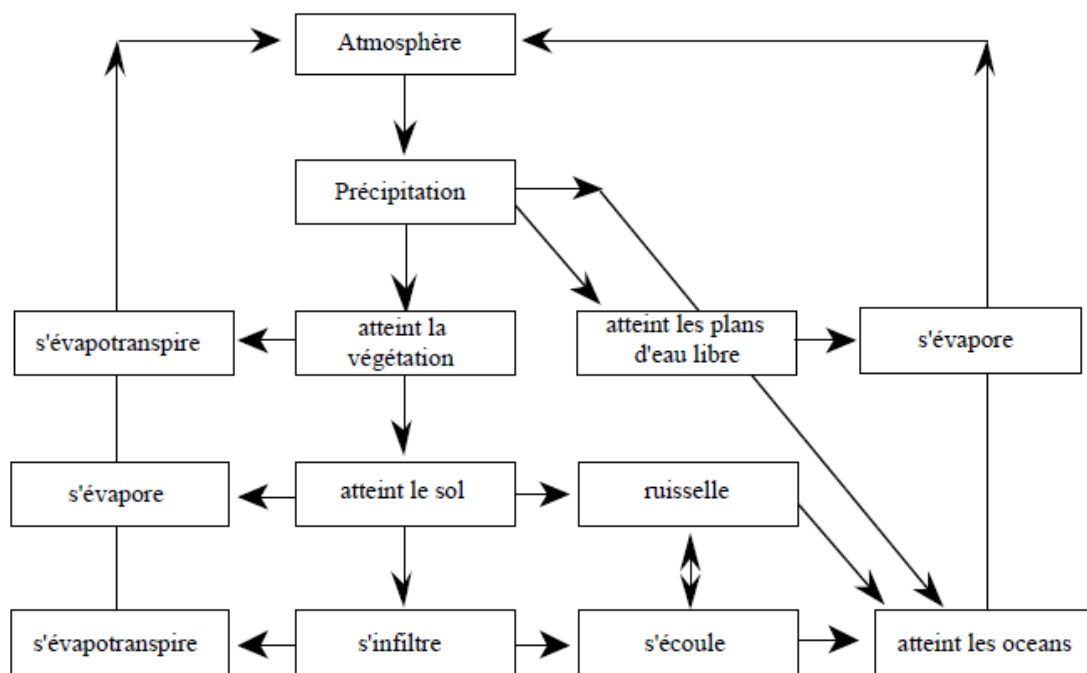
II - 2 - 2 : Flux

La vitesse avec laquelle l'eau circule est très variable ; généralement, on prend l'année comme période de référence. Les flux annuels sous forme liquide et gazeuse (les plus importantes) sont sensiblement les suivants :



II 3 : CYCLE DE L'EAU

: CYCLE DE L'EAU



Cycle hydrologique schématique.

III - LE BASSIN VERSANT

III.1 - NOTION DE "BASSIN VERSANT"

Le bassin versant en une section d'un cours d'eau est défini comme la surface drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de la section. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval.

Selon la nature des terrains, nous serons amenés à considérer deux définitions.

III.1.1 - Bassin versant topographique

Si le sous-sol est imperméable, le cheminement de l'eau ne sera déterminé que par la topographie. Le bassin versant sera alors limité par des lignes de crêtes et des lignes de plus grande pente.

III.1.2 - Bassin versant hydrogéologique

Dans le cas d'une région au sous-sol perméable, il se peut qu'une partie des eaux tombées à l'intérieur du bassin topographique s'infiltre puis sorte souterrainement du bassin (ou qu'à l'inverse des eaux entrent souterrainement dans le bassin).

Dans ce cas, nous serons amenés à ajouter aux considérations topographiques des considérations d'ordre géologique pour déterminer les limites du bassin versant.

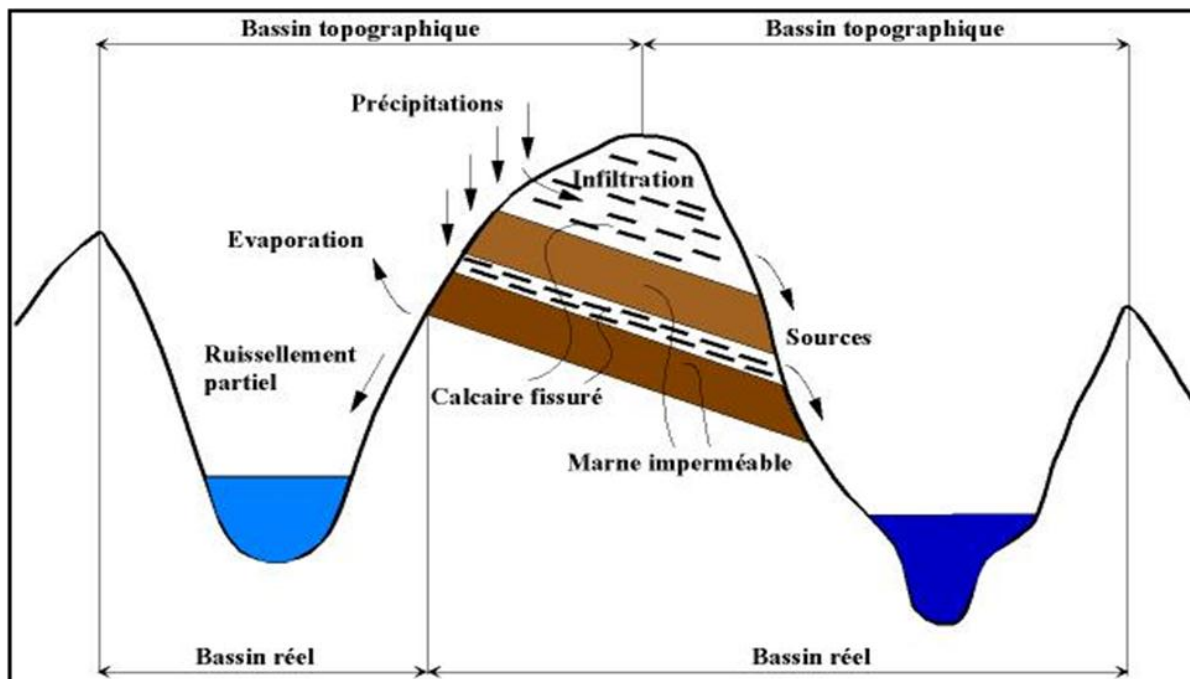


Figure 1 : Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique