

# MODULE : HYDROLOGIE (Cours)

*CELLULE E-LEARNING*



ZOUITA Nadjoua (MAB) @ Université Med Kheider  
de Biskra, faculté des sciences et technologie (Tronc  
commun)

# Table des matières



<b>Objectifs</b>	3
<b>Introduction</b>	4
<b>I - Chapitre I : Le cycle Hydrologique (3 heures)</b>	5
1. 1-Le cycle hydrologique : .....	5
2. 2- Les composants du cycle hydrologique : .....	6
3. 3- Répartition des réservoirs d'eau sur terre : .....	7
4. 4- Les différentes états de l'eau sur le globe terrestre : .....	7
<b>II - Exercice</b>	9
<b>III - Exercice</b>	10
<b>IV - Chapitre II : Le bilan Hydrologique (1h 30)</b>	11
1. 1-Définition : .....	12
2. 2-Relation entre cycle et bilan hydrologique : .....	13
3. 3-Equation du bilan hydrologique : .....	13
4. Exercice : Calcule du bilan hydrologique .....	14
5. Exercice : Répondez par vrais ou faut .....	15
6. Exercice : Répondez par vrais ou Faut .....	15
7. Exercice : Répondez par vrais ou Faut .....	15
<b>V - Cycle et bilan hydrologique</b>	16
<b>Solutions des exercices</b>	18
<b>Webographie</b>	21

# Objectifs

Ce cours *d'Hydrologie* vise à doter les étudiants des *connaissances* et *compétences* requises pour les rendre *capable* de :

- *Comprendre* le phénomène du cycle de l'eau sur terre.
- *Identifier* les composantes du cycle hydrologique.
- *Distinguer* chaque composante du cycle hydrologique.
- *Expliquer* chaque composante du cycle hydrologique.
- *Construire* le bilan du cycle de l'eau sur terre.
- *Donner* la formule du cycle hydrologique.
- *Tester* la formule du bilan hydrologique.
- *Expliquer* chaque composante du cycle hydrologique en prenant comme exemple une partie du globe terrestre.

# Introduction



*L'hydrologie* est la science qui se soucie des problèmes de l'eau et son cycle dans la nature ainsi que son évolution à la surface de la terre et dans le sol ; c'est l'hydrologie continentale.

Comme toutes les sciences l'hydrologie s'appuie sur de nombreuses autres sciences et disciplines, certaines fondamentales tels que les mathématiques (statistique), l'hydraulique, etc. Et d'autres rattachement aux sciences de la terre et au milieu physique, d'une manière générale il s'agit surtout de ; la météorologie et la climatologie, la géomorphologie, la géologie, l'océanographie...etc.

Aujourd'hui le travail de l'hydrologue est indispensable à tous projets d'aménagement hydrologique et hydraulique ou l'aménagement du milieu physique d'une manière générale.

Les deux premiers chapitres n'est qu'une introduction destinée aux étudiants de deuxième année tronc commun science et technologie, un groupe de spécialité hydraulique appartenant à l'université de Biskra.

L'apprenant doit avoir des connaissances en ; climatologie, topographie, statistiques et géographie.

Les deux chapitres sont une introduction à l'hydrologie.

Le premier chapitre est une présentation générale des différents états de l'eau sur le globe terrestre ainsi que sa répartition, sachant que la quantité d'eau sur la terre est la même depuis plus de 3,5 milliards d'années. Cette quantité est décrite dans *le cycle hydrologique*

Dans le deuxième chapitre on va expliquer *le bilan hydrologique*, et par la suite établir une équation générale de ce bilan

# Chapitre I : Le cycle Hydrologique (3 heures)

I

L'eau est très présente sur notre planète. Ainsi, vue de l'espace, la Terre apparaît bleue, les océans recouvrant près des trois quarts de la surface terrestre (70%). Au total, elle représente un volume d'environ 1,4 milliard de km<sup>3</sup>, disponible sous forme liquide, solide ou gazeuse.

Cependant, la majeure partie (97 %) est contenue dans les océans, mais est salée, ce qui la rend inutilisable par l'Homme. L'eau douce restante (3% de l'eau sur terre)

La quantité d'eau sur Terre est inchangée depuis plus de 3,5 milliards d'années. Elle ne se perd pas, ne se crée pas, elle se transforme juste.

Cette quantité d'eau est préservée pendant tout ce temps car elle est dans un cycle qui n'a ni commencement ni fin appelé *le cycle hydrologique*



## 1. 1-Le cycle hydrologique :

*Le cycle de l'eau (ou cycle hydrologique)* est un phénomène naturel qui représente le parcours entre les grands réservoirs d'eau liquide, solide ou de vapeur d'eau sur Terre : les océans, l'atmosphère, les lacs, les cours d'eau, les nappes d'eaux souterraines et les glaciers. *Le « moteur » de ce cycle est l'énergie solaire* qui, en favorisant *l'évaporation* de l'eau, entraîne tous les autres échanges.

La science qui étudie le cycle de l'eau est *l'hydrologie*. Elle peut se décomposer en hydrogéologie, hydrologie de surface, hydraulique urbaine, etc.

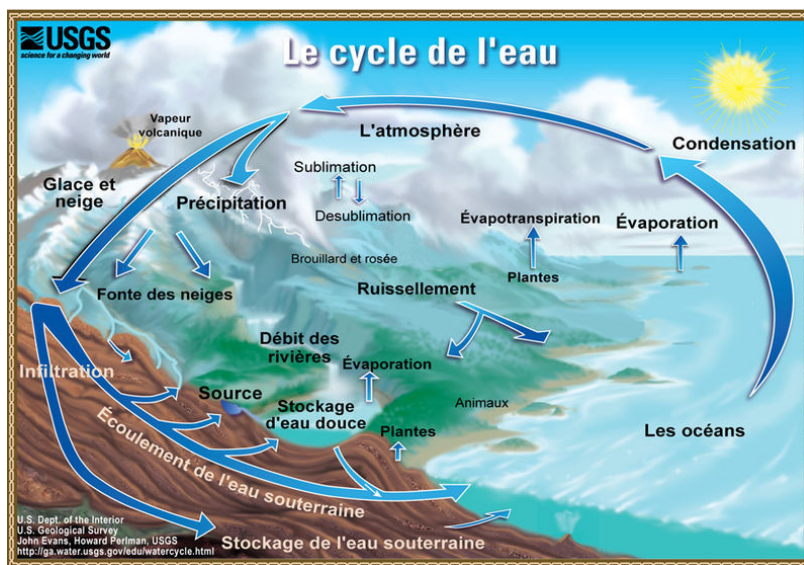
La notion de cycle hydrologique englobe les phénomènes du mouvement et du renouvellement des eaux sur la terre.

Cette définition implique les mécanismes régissant le cycle hydrologique. Surviennent conjointement. Le cycle hydrologique n'a donc ni commencement, ni fin.

Source: <https://youtu.be/66Qr2TIsU18>

Cependant toute l'eau ne participe pas en permanence au cycle : les eaux souterraines ont des temps de résidence très variables, de quelques jours à quelques semaines pour les aquifères des terrains karstiques ou des nappes superficielles en milieu sédimentaire (nappes liées au réseau superficiel) à quelques centaines voire milliers d'années pour les nappes profondes.

## 2. 2- Les composants du cycle hydrologique :



Les composants du cycle hydrologique

Source :: [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Water\\_cycle?uselang=fr](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Water_cycle?uselang=fr)

Les éléments qui composent le cycle de l'eau sont respectivement :

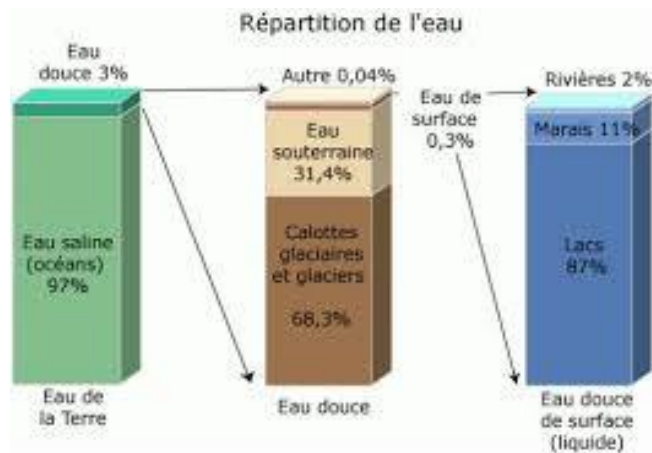
- *Les précipitations* : eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, sous forme liquide (bruine, pluie, averse) et / ou solide (neige, grésil, grêle) ainsi que les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...).
- *L'évaporation* : passage de la phase liquide à la phase vapeur, il s'agit de l'évaporation physique.
- *L'évapotranspiration* : englobe les processus d'évaporation et de transpiration de la végétation
- *L'interception* : processus selon lequel la pluie (ou dans certains cas la neige) est retenue par la végétation, puis redistribuée en une partie qui parvient au sol et une autre qui s'évapore.
- *Le ruissellement* ou écoulement de surface : mouvement de l'eau sur ou dans les premiers horizons du sol (écoulement de sub-surface), consécutif à une précipitation.
- *Le stockage dans les dépressions* : processus au cours duquel l'eau est retenue dans les creux et les dépressions du sol pendant une averse.

- *L'infiltration* : mouvement de l'eau pénétrant dans les couches superficielles du sol.
- *La percolation* : mouvement de l'eau en profondeur dans les sols faisant suite à l'infiltration.

### 3. 3- Répartition des réservoirs d'eau sur terre :

La répartition des eaux peut se faire d'une manière quantitative et qualitative à l'échelle du globe, et par rapport aux différentes composantes du cycle hydrologique.

Répartition des eaux dans le monde



Répartition de l'eau sur terre

Source :: <https://ar.wikipedia.org/wiki/>



#### Complément

La terre apparaît comme une planète recouverte en grande partie d'eau (planète bleue). Mais la répartition de l'eau à la surface de la planète est très inégale.

Les océans occupent une superficie à peu près égale à 70% de la surface du globe et représentent 97% de la masse totale d'eau dans la biosphère. Le reste se trouve sur les continents sous forme de neige, de glace, d'eau courante ou souterraine.

Une infime partie est dans l'atmosphère sous forme de vapeur. Sur cette réserve d'eau douce plus des ¾ sont immobilisées sous forme de glaces polaires.

### 4. 4- Les différents états de l'eau sur le globe terrestre :

L'eau est la source principale et originelle de toute vie. Elle se présente, dans la nature, sous trois états :

- *Solide* : neige et glace.
- *Liquide* : eau chimiquement pure ou chargée en solutés.
- *Gazeux* : à différents degrés de pression et de saturation.

Le changement de phase de l'eau dépend essentiellement de la température et de la pression mais aussi du degré de pollution de l'atmosphère.

L'eau se retrouve, sous ses trois formes dans l'atmosphère terrestre. Les eaux sont en constante circulation sur la terre et subissent des changements d'état.

L'importance de ces modifications fait de l'eau le principal agent de transport d'éléments physiques, chimiques et biologiques. L'ensemble des processus de transformation et de transfert de l'eau forme le cycle hydrologique.

\* \*

\*

Pour conclure sur le cycle hydrologique, on peut dire qu'il est caractérisé par l'interdépendance de ses composantes, par sa stabilité et son équilibre dynamique. Si un processus est perturbé, tous les autres (cycle de l'azote, cycle du phosphore, etc.) s'en ressentent ! En particulier, le cycle hydrologique peut être influencé à des degrés divers par les activités humaines. En effet, l'homme agit directement sur le processus de transformation de l'eau, et cela de plusieurs façons : la construction de réservoirs, le transport de l'eau pour des besoins industriels, le captage des eaux phréatiques, l'irrigation, le drainage, la correction des cours d'eau, l'utilisation agricole des sols, l'urbanisation, les pluies provoquées, etc., sont des exemples de l'intervention humaine.



# Exercice

  
II

Es que la quantité d'eau qui entre dans le cycle hydrologique a changé ?

- Depuis l'existence de la terre et grâce à l'atmosphère c'est toujours la même eau qui réalise son cycle de l'eau
- 

Depuis l'existence de la terre et à cause des changements climatiques, la quantité d'eau du cycle hydrologique a diminué

- 

Depuis l'existence de la terre et grâce au fondement partielle de la glace des 2 pole nord et sud la quantité d'eau a augmenté dans le cycle de l'eau

- La quantité d'eau qui constitue le cycle hydrologique est la meme depuis presque 4 milliards d'années



# Chapitre II : Le bilan Hydrologique (1h 30)

IV



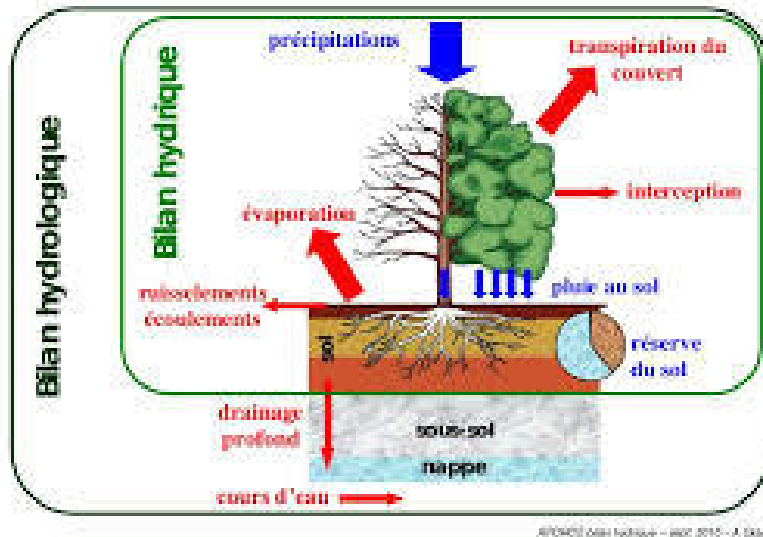
Le bilan hydrologique se situe à l'échelle du bassin versant et concerne une démarche hydrologique, alors que le bilan hydrique se situe à l'échelle de la plante et participe à une démarche agronomique

Simple opération comptable, *le bilan hydrique et hydrologique* visent tout les deux à établir le budget entre les entrées et les Sorties en eau d'une unité hydrologique (*exemple un bassin versant*) définie pendant une période de temps donné.

Tout ce qui tombe (*Précipitation P*) dans un espace hydrologique et dans un laps de temps données soit s'écoule (*Ruissellement R*) soit repart dans l'atmosphère par *évaporation (E)*, soit participe à la recharge des réserves en eau du sol ou du sous-sol.

Les variations de *réserve (S+ΔS)* peuvent être également négative et contribuer aux écoulements et/ou à l'évapotranspiration.

**Bilan hydrique : rappel** (Brada et Babouat)



Source : <https://fr.slideshare.net/RMTAFORCE/s2a-raisonner-calculs-flux-deau-et-bilan-hydrique-a-granier-rmt29sept10>:

**1. 1-Définition :**

*Le bilan hydrique est établi pour un lieu et une période donnés par comparaison entre les apports et les pertes en eau dans ce lieu et pour cette période.*

Il tient aussi compte de la constitution *des réserves* et des prélèvements ultérieurs sur ces réserves.

*Les apports d'eau* sont effectués par *les précipitations*.

*Les pertes* sont essentiellement dues à la combinaison de *l'évaporation* et *la transpiration* des plantes, que l'on désigne sous le terme d'*évapotranspiration*.

Les deux grandeurs sont évaluées en quantité d'eau par unité de surface, mais elles sont généralement traduites en *hauteurs d'eau*, l'unité la plus utilisées étant le millimètre. Ces deux grandeurs étant ainsi physiquement homogènes, on peut les comparer en calculant soit leur différence (Précipitations moins évaporation), soit leur rapport (précipitations sur évaporation.). Le bilan est évidemment positif lorsque la différence est positive ou que le rapport est supérieur à un. On choisit l'un ou l'autre expression en fonction de commodités ou de contraintes diverses.

L'écoulement à partir d'une unité de surface sera compté dans les pertes. L'infiltration est considérée comme une mise en réserve sous forme de nappes souterraines ou d'eau capillaire dans le sol. Les précipitations solides constituent des réserves immédiatement constituées. Elles ont une durée variable, inter-saisonnière dans le cas des tapis neigeux, inter-saisonnière et inter-annuelle dans le cas des glaciers, voire inter-séculaire dans le cas de calottes polaires ou des grandes masses de très hautes montagnes.

## ◆ Rappel

L'étude des bilans hydriques est compliquée par le fait que les deux variables de commandement ne sont pas indépendantes. La quantité évaporée dépend évidemment de la quantité d'eau disponible : elle cesse lorsque le volume d'eau apporté par les précipitations est épuisé. Ceci a conduit à introduire la notion d'évapotranspiration potentielle : la quantité d'eau qui peut passer dans l'atmosphère en fonction du seul état de celle-ci, en supposant que la quantité d'eau disponible ne soit pas un facteur limitant.

## 2. 2-Relation entre cycle et bilan hydrologique :

On peut schématiser le phénomène continu du cycle de l'eau en trois phases :

- *les précipitations.*
- *le ruissellement de surface et l'écoulement souterrain.*
- *l'évaporation.*

Il est intéressant de noter que dans chacune des phases on retrouve respectivement un transport d'eau, un emmagasinement temporaire et parfois un changement d'état.

Il s'ensuit que l'estimation des quantités d'eau passant par chacune des étapes du cycle hydrologique peut se faire à l'aide d'une équation appelée "hydrologique" qui est le bilan des quantités d'eau entrant et sortant d'un système défini dans l'espace et dans le temps.

Le temporel introduit la notion de *l'année hydrologique*. En principe, cette période d'une année est choisie en fonction des conditions climatiques. Ainsi en fonction de la situation météorologique des régions, l'année hydrologique peut débiter à des dates différentes de celle du calendrier ordinaire. Au niveau de l'espace, il est d'usage de travailler à l'échelle d'un bassin versant, mais il est possible de raisonner à un autre niveau (zone administrative, entité régionale, etc.).

## 3. 3-Equation du bilan hydrologique :

Le bilan hydrologique se situe donc à l'échelle du bassin versant (quelle que soit sa taille), considéré comme un système fermé, dont on peut résoudre l'équation de base.

L'équation du bilan hydrique se fonde sur l'équation de continuité et peut s'exprimer comme suit, pour une période et un espace donnés :

$$P + S = R + E + (S + \Delta S) / \text{source : } \text{http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre1/main.html}$$

Avec :

- *P* : *précipitations* (liquide et solide) [mm] ;
- *S* : *ressources* disponible à la fin de la période précédente (eaux souterraines humidité du sol, neige, glace) [mm] ;
- *R* : *ruissellement* de surface et écoulements souterrains [mm] ;
- *E* : *évaporation* (y compris évapotranspiration) [mm] ;
- *S + ΔS* : *ressources accumulées* à la fin de la période étudiée [mm].

**Remarque**

Si  $\Delta S = 0$  (bassin versant naturel relativement imperméable), la différence entre les débits entrant (Les précipitations) et sortant correspond au déficit d'écoulement. Ce déficit d'écoulement représente essentiellement les pertes dues à l'évaporation.

Il peut être estimé à l'aide de mesures (pluies et débits) ou de méthodes de calcul (formules de Turc et Coutagne).

### 4. Exercice : Calcule du bilan hydrologique

#### Exercice

En utilisant le schéma du cycle hydrologie de la planète ;

-Donner l'équation du le bilan hydrologique pour la partie suivante :

$P = 110\,000 \text{ km}^3$

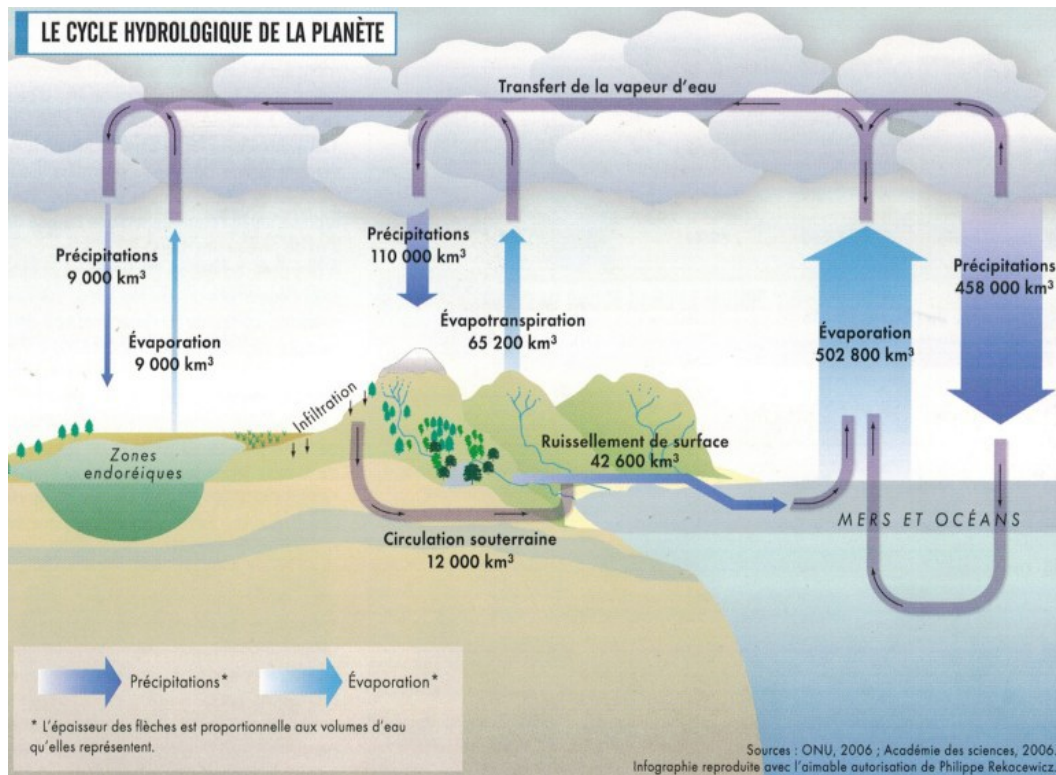
$E = 65\,200 \text{ km}^3$

$R1 = 42\,600 \text{ km}^3$

$R2 = 12\,000 \text{ km}^3$

-Calculer

•S : ressources disponible à la fin de la période précédente



**Solution**

L'équation du bilan hydrologique s'écrit de la manière suivante :

$$P + S = R + E + (S + \Delta S)$$

Application numérique

$$110\,000 + S = (42\,600 + 12\,000) + 65\,200$$

Donc les ressources disponibles à la fin de la période précédente sont :

$$S = 9\,800 \text{ Km}^3$$

### 5. Exercice : Répondez par vrais ou faux

[solution n°3 p.18]

Le bilan hydrologique vise à établir le budget entre les entrées et les sorties en eau d'une unité hydrologique définie pendant une période de temps donnée ; vrais ou faux ?

### 6. Exercice : Répondez par vrais ou Faux

[solution n°4 p.18]

Les différents termes du bilan hydrologique sont facilement mesurables ; vrais ou faux ?

### 7. Exercice : Répondez par vrais ou Faux

[solution n°5 p.19]

Un bilan hydrologique négatif signifie une diminution des réserves, vrais ou faux ?





## Exercice

[solution n°8 p.19]

Pour un bassin versant donné, on a: la surface(  $S$ )= 2 500 km<sup>2</sup> , précipitation annuelle (  $P$ )= 1300 mm et le débit (  $Q$  annuel)=30 m<sup>3</sup>/s :

-Quel est le déficit d'écoulement ?

## Exercice

[solution n°9 p.20]

Un bilan hydrologique :

visé à établir le budget entre les entrées et les sorties en eau d'une unité hydrologique définie pendant une période de temps donné.

est la sommation des composantes du cycle hydrologique

est un cycle de l'eau

# Solutions des exercices



## > Solution n°1

Exercice p. 9

Es que la quantité d'eau qui entre dans le cycle hydrologique a changé ?

Depuis l'existence de la terre et grâce à l'atmosphère c'est toujours la même eau qui réalise son cycle de l'eau

Depuis l'existence de la terre et à cause des changements climatiques, la quantité d'eau du cycle hydrologique a diminué

Depuis l'existence de la terre et grâce au fondement partielle de la glace des 2 pole nord et sud la quantité d'eau a augmenté dans le cycle de l'eau

La quantité d'eau qui constitue le cycle hydrologique est la meme depuis presque 4 milliards d'années

## > Solution n°2

Exercice p. 10

Le cycle de l'eau ...

à l'échelle du globe terrestre tout entier présente un cycle externe et un cycle interne.

a pour moteur principal le soleil.

concerne la circulation continue de l'eau entre l'atmosphère et la Terre et son retour dans l'atmosphère grâce à la condensation, à la précipitation, à l'évaporation et à la transpiration.

ne concerne qu'une faible partie du volume d'eau présent sur Terre.

n'est pas influencé par les activités humaines.

## > Solution n°3

Exercice p. 15

Le bilan hydrologique vise à établir le budget entre les entrées et les sorties en eau d'une unité hydrologique définie pendant une période de temps donné ; vrais ou faut ?

vrais

> **Solution n°4**

Exercice p. 15

Les différents termes du bilan hydrologique sont facilement mesurables ; vrais ou faux ?

faux

> **Solution n°5**

Exercice p. 15

Un bilan hydrologique négatif signifie une diminution des réserves, vrais ou faux ?

vrais

> **Solution n°6**

Exercice p. 16

Est-ce que la quantité d'eau qui entre dans le cycle hydrologique a changé ?

Depuis l'existence de la terre et grâce à l'atmosphère c'est toujours la même eau qui réalise son cycle de l'eau

Depuis l'existence de la terre et à cause des changements climatiques, la quantité d'eau du cycle hydrologique a diminué

Depuis l'existence de la terre et grâce au fondement partiel de la glace des 2 pôles nord et sud la quantité d'eau a augmenté dans le cycle de l'eau

La quantité d'eau qui constitue le cycle hydrologique est la même depuis presque 4 milliards d'années

> **Solution n°7**

Exercice p. 16

Le cycle de l'eau ...

à l'échelle du globe terrestre tout entier présente un cycle externe et un cycle interne.

a pour moteur principal le soleil.

concerne la circulation continue de l'eau entre l'atmosphère et la Terre et son retour dans l'atmosphère grâce à la condensation, à la précipitation, à l'évaporation et à la transpiration.

ne concerne qu'une faible partie du volume d'eau présent sur Terre.

n'est pas influencé par les activités humaines.

> **Solution n°8**

Exercice p. 17

Pour un bassin versant donné, on a : la surface ( $S$ ) = 2 500 km<sup>2</sup>, précipitation annuelle ( $P$ ) = 1300 mm et le débit ( $Q$  annuel) = 30 m<sup>3</sup>/s :



# Webographie



<https://ar.wikipedia.org/wiki/>

[https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Water\\_cycle?uselang=fr](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Water_cycle?uselang=fr)

<http://www.jeunes.coordination-eau.fr/index.php/2016/06/15/la-place-de-leau-dans-notre-environnement/>

<https://youtu.be/66Qr2TIsU18>

